

Informationsgeleitete Pflanzenproduktion
mit Precision Farming als zentrale inhaltliche
und technische Voraussetzung für eine nach-
haltige Entwicklung der landwirtschaftlichen
Landnutzung - *pre agro* II

Abschlussbericht



A b s c h l u s s b e r i c h t

Informationsgeleitete Pflanzenproduktion mit Precision Farming als zentrale inhaltliche und technische Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaftlichen Landnutzung – *pre agro II*

Herausgeber: Armin Werner, Frank Dreger, Jürgen Schwarz
(Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg)

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben *pre agro* wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter folgenden Förderkennzeichen gefördert: 0339740/2; 0330657; 0330658; 0330659; 0330660; 0330661; 0330662; 0330663; 0330664; 0330665; 0330666; 0330667; 0330679. Die Verantwortung für die Inhalte der einzelnen Abschnitte liegt bei den Autoren.

Laufzeit: Oktober 2004 – März 2008

Redaktion: Frank Dreger, Armin Werner, Karin Stahl
Layout: Viola Kannemann

© Juli 2008, *pre agro II*, A. Werner

Inhaltsverzeichnis

1	VORWORT	31
2	EINFÜHRUNG IN DAS VERBUNDPROJEKT PRE AGRO II.....	33
2.1	Einleitung	34
2.2	Projektdurchführung	36
2.3	Ergebnisse	39
2.4	Diskussion aus Sicht des Projektverlaufs	57
2.5	Diskussion aus Sicht des Nachhaltigkeitsdiskurses	58
3	GRUNDLAGEN UND VERFAHREN ZUR DATENBEREITSTELLUNG FÜR PRECISION FARMING	63
3.1	Methoden zur integrativen, nicht-invasiven Standortanalyse zur Charakterisierung der pflanzenbaulich relevanten Eigenschaften standortheterogener Ackerflächen	65
3.1.1	Einleitung und Problemstellung	68
3.1.2	Material und Methoden	69
3.1.2.1	Standortauswahl.....	69
3.1.2.2	Bodendaten	72
3.1.2.3	Nicht- und minimal-invasive Verfahren	73
3.1.2.4	Multivariate Analyse von Punktinformationen	80
3.1.2.5	Geostatistische Analyse	80
3.1.3	Ergebnisse.....	81
3.1.3.1	LME Modell	81
3.1.3.2	Fernerkundung.....	84
3.1.3.3	VERIS 3000 „Profiler“	87
3.1.4	Diskussion	89
3.2	Erfassung von Bestandeszuständen durch Fernerkundung zur modellgestützten Analyse aktueller Ertragsziele	93
3.2.1	Einleitung und Problemstellung	95
3.2.2	Material und Methoden	95
3.2.3	Ergebnisse.....	100
3.2.4	Diskussion und Ausblick	119
3.3	Entwicklung und Validierung eines Verfahrens zur interaktiven modellgestützten Generierung von Ertragszielkarten heterogener Ackerschläge	123
3.3.1	Einleitung und Problemstellung	124
3.3.2	Material und Methoden	125
3.3.2.1	Untersuchungsgebiete.....	125
3.3.2.2	Datengrundlage.....	127
3.3.2.3	Methodik.....	130
3.3.3	Ergebnisse und Diskussion.....	149

3.3.3.1	Ertragszielkarte	149
3.3.3.2	Ertragszonenkarte	153
3.4	Methodenentwicklung zur flächenhaften Analyse und Modellierung von Wurzelwachstum unter besonderer Berücksichtigung des Boden- und Pflanzenwasserhaushalts	163
3.4.1	Einleitung und Problemstellung	164
3.4.2	Material und Methoden	166
3.4.2.1	Untersuchungsgebiete	166
3.4.2.2	Wurzeldatenerfassung und -aufbereitung	167
3.4.2.3	Sensitivitätsanalyse mit Schrittweiser Regression	168
3.4.2.4	Dynamische Bodenwassermessung	170
3.4.2.5	Räumliche Modellierung	171
3.4.2.6	Modellierung von Wurzelwachstum	173
3.4.3	Ergebnisse	173
3.4.3.1	Wurzeln	173
3.4.3.2	Sensitivitätsanalyse mit Schrittweiser Regression	175
3.4.3.3	Bodenwasser	178
3.4.3.4	Kalkulation mit CERES-Wheat	181
3.4.3.5	Räumliche Modellierung	182
3.4.3.6	Modellierung von Wurzelwachstum	186
3.4.4	Diskussion	187
3.5	Einsatz von Nahsensorikmethoden zur Erfassung von Bestandeszuständen unter dem Einfluss von Pflanzenkrankheiten	195
3.5.1	Einleitung und Problemstellung	197
3.5.2	Material und Methoden	199
3.5.3	Ergebnisse und Diskussion	201
4	ERWEITERUNG UND VEREINFACHUNG DER ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNG IN DER PFLANZENPRODUKTION BEI EINSATZ VON PRECISION FARMING	221
4.1	Integrierte Bestandesführung in Precision Farming als zentrale Ebene der Informationsgeleiteten Pflanzenproduktion	223
4.1.1	Einleitung und Problemstellung	224
4.1.2	Arbeiten für den Verbund	226
4.1.3	Material und Methode	227
4.1.4	Ergebnisse und Diskussion	232
4.2	Betriebliche On-Farm Experimente im Precision Farming	239
4.2.1	Einleitung und Problemstellung	240
4.2.2	Vorgehensweise	242
4.2.2.1	Durchführung von Praxisversuchen	242
4.2.2.2	Datenauswahl und -aufbereitung	243
4.2.2.3	Geostatistische Datenanalyse	244
4.2.2.4	Praxishandbuch „On-Farm Research“	246
4.2.2.5	Produktionsfunktionen	247

4.2.3	Ergebnisse.....	247
4.2.3.1	Versuchsgestaltung und Arbeitserledigung.....	248
4.2.3.2	Daten- und Ergebnisbewertung.....	250
4.2.3.3	Zeitbezug von Versuchsergebnissen.....	252
4.2.3.4	Produktionsfunktionen in OFR-Versuchen.....	254
4.2.3.5	OFR als Wegbereiter für PF in die Praxis.....	257
4.2.4	Diskussion.....	257
4.3	Grundlagen zum Pflanzenschutz im Precision Farming	261
4.3.1	Problemstellung.....	262
4.3.2	Bearbeitungsgegenstände und verwendete Methoden.....	264
4.3.3	Ergebnisse.....	270
4.3.4	Diskussion.....	286
5	VEREINFACHUNG DER DATENBEREITSTELLUNG UND DES INFORMATIONSMANAGEMENTS IM EINSATZ VON PRECISION FARMING ...	291
5.1	Konzept einer spezialisierten Geodateninfrastruktur zur Unterstützung von Workflows im Precision Farming	293
5.1.1	Einleitung und Problemstellung.....	294
5.1.2	Vorgehensweise.....	296
5.1.3	Ergebnisse.....	298
5.1.3.1	Anwendungsfall Bodenbeprobung.....	298
5.1.3.2	Anwendungsfall N-Düngung.....	301
5.1.3.3	Anwendungsfall Management-Zonen.....	303
5.1.3.4	Datenflüsse.....	305
5.1.4	Diskussion.....	307
5.2	agroXML - ein standardisiertes Datenformat für den Datenverkehr zwischen Akteuren in der Informationsgeleiteten Pflanzenproduktion am Beispiel des Systems Precision Farming	311
5.2.1	Einleitung und Problemstellung.....	312
5.2.2	Material und Methoden.....	313
5.2.2.1	Verwendete Technologien und Vorgehensweise.....	313
5.2.2.2	Organisatorischer Hintergrund.....	316
5.2.2.3	Anwendungsfälle.....	316
5.2.2.4	Internationale Verbreitung.....	317
5.2.3	Ergebnisse.....	318
5.2.3.1	XML Schemas.....	318
5.2.3.2	Internationalisierung.....	320
5.2.4	Diskussion.....	321
5.2.4.1	Integration räumlicher Daten.....	321
5.2.4.2	Ontologie.....	323
5.2.4.3	Internationalisierung.....	323
5.2.4.4	Fazit.....	324
5.3	Integrationen der automatischen Prozessdatenerfassung in die Informationsflüsse in der Landwirtschaft	327
5.3.1	Einleitung und Problemstellung.....	328
5.3.2	Vorgehensweise.....	330
5.3.2.1	Stand des Wissens.....	330
5.3.2.2	Folgerungen aus vergangenen und aktuellen Entwicklungen.....	333

5.3.3	Ergebnisse.....	334
5.3.3.1	Infrastruktur	334
5.3.3.2	Landwirtschaftlicher Prozessdatenservice	335
5.3.4	Diskussion	343
5.3.5	Schlussfolgerungen und Ausblick	345
5.4	Weiterentwicklung des betrieblichen Informationsmanagements bei Anbindung interner und externer Datenbanken	351
5.4.1	Einleitung und Problemstellung	352
5.4.2	Vorgehensweise.....	353
5.4.3	Ergebnisse.....	360
5.4.3.1	Wichtigste wissenschaftlich-technische Ergebnisse, die erreicht wurden	360
5.4.4	Diskussion	362
5.4.5	Anhang	365
5.4.5.1	agroXML: Umsetzung eines komplexen Datentypes.....	365
5.4.5.2	AGRO-SENSE® OpenViewer: Kurzanleitung zur Bedienung	368
5.5	Konzepte und Schnittstellen bei der Standardisierung von Office-Software zur Integration von Prozessdokumentationen bei Precision Farming	379
5.5.1	Einleitung und Problemstellung	380
5.5.1.1	Aus fachwissenschaftlicher Sicht.....	380
5.5.1.2	Aus Sicht des Gesamtprojektes.....	382
5.5.2	Vorgehensweise.....	383
5.5.2.1	Entwicklung einer universellen agroXML Schnittstelle für Farm-Management-Systeme	383
5.5.2.2	Entwicklung und Erprobung einer OGC konformen WFS-Schnittstelle	384
5.5.2.3	Mitarbeit bei der Weiterentwicklung von agroXML	386
5.5.2.4	Erprobung von Schnittstellen für unterschiedliche Anwendungsfälle	386
5.5.3	Ergebnisse.....	390
5.5.3.1	Normierungsstand und Grad der Praxistauglichkeit von agroXML	390
5.5.3.2	Entwicklungsstand der realisierten Schnittstellen und Anwendungsfälle.....	392
5.5.3.3	Schnittstellen für Precision Farming Anwendungen.....	394
5.5.3.4	Integration von agroXML in kommerzielle Anwendungen.....	395
5.5.4	Diskussion	395
6	BEURTEILUNG DER ÖKONOMISCHEN, VOLKSWIRTSCHAFTLICHEN UND ÖKOLOGISCHEN WIRKUNGEN.....	399
6.1	Ökonomische Effekte der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung auf betrieblicher Ebene	401
6.1.1	Einleitung und Problemstellung	402
6.1.1.1	Problemstellung	402
6.1.1.2	Zielsetzung.....	403
6.1.1.3	Literaturübersicht zu einzelnen Technologien des Precision Farming.....	403
6.1.2	Material und Methoden	406
6.1.2.1	Feldversuche	406
6.1.2.2	durchgeführte Umfragen.....	414
6.1.2.3	Ökonomische Betrachtung auf Betriebsebene	415

6.1.3	Ergebnisse.....	417
6.1.3.1	Ergebnisse der Feldversuche.....	417
6.1.3.2	Ergebnisse der Umfragen.....	420
6.1.3.3	Ökonomische Betrachtung auf Betriebsebene	422
6.1.4	Diskussion und Ausblick	429
6.1.5	Anhang	437
6.2	Volkswirtschaftliche Analyse einer flächenweiten Einführung von Precision Farming	439
6.2.1	Einleitung und Problemstellung	440
6.2.2	Methoden, Datengrundlage und Vorgehensweise	441
6.2.3	Ergebnisse.....	443
6.2.3.1	Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming	443
6.2.3.2	Heterogenitätsindikator HEI	451
6.2.3.3	Identifizierung von Precision Farming Potentialflächen.....	454
6.2.3.4	Hochrechnung der Nutzen-Kosten-Analyse	457
6.2.3.5	Agrarpolitische Empfehlung.....	457
6.2.3.6	Schlussfolgerungen.....	459
6.2.4	Diskussion: Auswirkungen von Precision Farming auf Arbeit und Wettbewerbsfähigkeit.....	460
6.2.5	Anhang	465
6.3	Naturschutzfachliche Bedeutung des Precision Farming im Landschaftskontext	485
6.3.1	Einleitung und Problemstellung	486
6.3.2	Naturschutzfachliche Bewertung von Precision Farming.....	487
6.3.2.1	Material und Methoden.....	487
6.3.2.2	Ergebnisse Carabidae.....	489
6.3.2.3	Ergebnisse Vegetation	504
6.3.2.4	Diskussion	508
6.3.3	Entwicklung eines naturschutzorientierten Precision Farming.....	510
6.3.3.1	Material und Methoden.....	510
6.3.3.2	Ergebnisse.....	511
6.3.3.3	Diskussion.....	514
6.3.4	Anhang	518

7 INTEGRATION VON INFORMATIONSFLÜSSEN DES LANDWIRTSCHAFTLICHEN BETRIEBES IN DIE WERTSCHÖPFUNGSKETTE 527

7.1	Anforderungen von Verbrauchern, Lebensmittelhandel, Verarbeitungsindustrie und Landwirten an die Entwicklung von Precision Farming Technologien	529
7.1.1	Einleitung und Problemstellung	530
7.1.2	Vorgehensweise.....	531
7.1.2.1	Fokusgruppen	531
7.1.2.2	Verbraucher-Fokusgruppen: Zusammensetzung und Aufgabenstellung	532
7.1.2.3	Fokusgruppe Landwirtschaft: Aufgabenstellung und Zusammensetzung	534

7.1.3	Ergebnisse.....	535
7.1.3.1	Lebensmittelsicherheit (Qualität, Gesundheit, Rückstandsfreiheit, Kontrolle, Sofortmaßnahmen)	535
7.1.3.2	Transparenz (Rückverfolgbarkeit, Informationsbereitstellung, Inhaltsdeklaration)	535
7.1.3.3	Nachhaltigkeit des Produktionsprozesses: Ökologie, Ökonomie, Soziales (Umweltschutz, Ressourcenschonung, Biodiversität, Landschaftsbild, effiziente Produktion, Erhalt heimischer Landwirtschaft)	536
7.1.3.4	Ergebnisse der Verbraucher-Fokusgruppen.....	537
7.1.3.5	Ergebnisse der Fokusgruppe Landwirte.....	543
7.1.3.6	Ergebnisse aus den Produktpanels	544
7.1.4	Diskussion	545
7.2	Identifikation und Umsetzung nachhaltiger Entwicklung in der Wertschöpfungskette	
	Lebensmittel	553
7.2.1	Einleitung und Problemstellung	554
7.2.2	Vorgehensweise.....	555
7.2.3	Ergebnisse.....	557
7.2.4	Diskussion	568
8	AKZEPTANZ UND HEMMNISSE ZU PRECISION FARMING IN DER PRAXIS UND VERBESSERUNG DES TRANSFERS.....	575
8.1	Precision Farming in Deutschland – bestehende Akzeptanzmuster und zukünftige Perspektiven einer Technologie	577
8.1.1	Einleitung und Problemstellung	578
8.1.2	Vorgehensweise.....	579
8.1.3	Ergebnisse.....	582
8.1.3.1	Umfrageergebnisse aus den Interviews mit den Landwirten (Ergebnisse der Messebefragungen Agritechnica 2001, 2003, 2005, 2007 und DLG-Feldtage 2006)	582
8.1.3.2	Umfrageergebnisse aus den Interviews mit den Landwirten (Ergebnisse der Expertengespräche)	590
8.1.3.3	Ergebnisse der Interviews mit den Lehrern an landwirtschaftlichen Berufs- und Fachschulen	599
8.1.3.4	Ergebnisse der Interviews mit den landwirtschaftlichen Beratern	600
8.1.3.5	Ergebnisse der Interviews mit der Landtechnikindustrie	601
8.1.4	Diskussion	603
8.1.5	Anhang	607
8.2	Förderung der Kenntnisse über Precision Farming in der Praxis durch Transfer und Bildung	611
8.2.1	Einleitung und Problemstellung	612
8.2.1.1	Förderung der Verbreitung von PF durch geeignete Transfermaßnahmen	612
8.2.1.2	Ansatzpunkte für Transfermaßnahmen	613
8.2.1.3	Wissenschaftlich fundiertes Transferkonzept für die Entwicklung und Erprobung von Transfermaßnahmen.....	614
8.2.1.4	Unterstützung des Praxis-Forschungs-Dialogs innerhalb des Forschungsverbunds <i>pre agro</i> ..	614
8.2.2	Vorgehensweise.....	615
8.2.2.1	Situationsanalyse	615
8.2.2.2	Identifikation praxisrelevanter Anwendungstechniken.....	615
8.2.2.3	Erstellung von Informations- und Lehrmaterialien.....	616
8.2.2.4	Erprobung der Fortbildungskonzepte.....	616
8.2.2.5	Entwicklung eines wissenschaftlich fundierten Transferkonzepts.....	616
8.2.2.6	Unterstützung des Praxis-Forschungs-Dialogs	617

8.2.3	Ergebnisse.....	617
8.2.3.1	Situationsanalyse	617
8.2.3.2	Identifikation praxisrelevanter Techniken	627
8.2.3.3	Konzeption, Entwicklung und Erprobung von Informations- und Lehrmaterialien zu PF	628
8.2.3.4	Konzeption, Entwicklung und Erprobung von Fortbildungskonzepten zu PF für verschiedene Zielgruppen	629
8.2.3.5	Ergebnisse der Befragung von Nutzern des KTBL-Informationsangebots.....	631
8.2.3.6	Ergebnisse des Expertenworkshops zur Unterstützung des Praxis-Forschungsdialogs	639
8.2.4	Diskussion	642
8.2.4.1	Transferinhalte.....	642
8.2.4.2	Zielgruppen der Transfermaßnahmen.....	642
8.2.4.3	Empfehlenswerte Transfermaßnahmen.....	643
9	FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG ZU PRECISION FARMING ALS TRANSDISZIPLINÄRER PROZESS.....	647
9.1	Entwicklung von Informationssystemen für das Verbundprojekt und zur Verwendung raumbezogener Informationen	649
9.1.1	Einleitung und Problemstellung	649
9.1.2	Material und Methode / Vorgehensweise	651
9.1.3	Ergebnisse.....	652
9.1.4	Diskussion	656
9.2	Öffentlichkeitsarbeit für das Verbundprojekt <i>pre agro</i>	659
9.2.1	Einleitung	660
9.2.2	Methoden.....	660
9.2.3	Ergebnisse.....	662
9.2.3.1	Internet-Auftritt (http://www.preagro.de)	662
9.2.3.2	Präsenz bei Messen und Feldtagen	665
9.2.3.3	Eigene Veranstaltungen	669
9.2.3.4	Präsenz in allgemeinen Medien	671
9.2.4	Diskussion	675
9.3	Inhaltliche Gesamtkoordination von <i>pre agro II</i> zur Integration der Forschungsarbeiten und -ergebnisse	679
9.3.1	Einleitung	680
9.3.2	Vorgehensweise.....	680
9.3.3	Ergebnisse.....	682
9.3.4	Diskussion	688

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Partner im Verbund <i>pre agro</i> II und Standorte ihrer Einrichtung in Deutschland	36
Abbildung 2: Projektstruktur von <i>pre agro</i> II	37
Abbildung 3: Lage der Untersuchungsflächen und Standorte im Betrieb WIMEX	71
Abbildung 4: Lage der Untersuchungsflächen und Standorte im Betrieb Täger-Farny	72
Abbildung 5: Das EM38 DD Instrument (a) und Messprinzip (b)	74
Abbildung 6: Modelldarstellung der Beziehung zwischen effektivem LAI und der NIR-Reflexion einer grünen (Mitte der Vegetationsperiode) und einer räumlich differenziert abgereiften (seneszenten) Vegetationsdecke gegen Ende der Vegetationsperiode	76
Abbildung 7: Konstruktionsplan und Betriebszustand des VERIS 3000 Profiler	78
Abbildung 8: Durchdringungswiderstand D_w am Beispiel von drei Messprofilen von Böden aus unterschiedlichem Ausgangsmaterial.	79
Abbildung 9: Auswirkung der Homogenisierung von Diskontinuitäten der logarithmierten (\log) EC_a . (a) Karte der \log - EC_a nach der Homogenisierung. (b) Gradient (Veränderung in % über eine Distanz von 5 m) der \log - EC_a vor und (c) nach der Homogenisierung	81
Abbildung 10: Gegenüberstellung der gemessenen und der mit Modell 1 geschätzten EC_a -Werte. Das R^2 entspricht den fixed effects des Modells. Das adjustierte R^2 beträgt 0,56.	84
Abbildung 11: (a) Messwerte und modellierte Beziehungen zwischen effektivem LAI und NIR-Reflexion auf den Untersuchungsschlägen im Betrieb WIMEX (072 und 752: Triticale; 141, 341, 541 und 811: Winterweizen). Das Modell für Schlag 141 ist nicht dargestellt (nahezu identisch mit 341 und 811). (b) Gegenüberstellung des gemessenen und modellierten LAI_e aller Schläge 86	
Abbildung 12: Überblick über die zwei verwendeten Sensoren. Links der flugzeuggetragene Sensor AVIS (Airborne Visible / Infrared Imaging Spectrometer), rechts der satellitengetragene Sensor CHRIS (Compact High Resolution Imaging Spectrometer)	97
Abbildung 13: Überblick über das Strahlungstransfermodell SLC und die benötigten Eingabeparameter. In rot gekennzeichnete Parameter wurden mittels Invertierung ermittelt.	98
Abbildung 14: Schematische Darstellung der Modellkopplung von SLC und PROMET-V (verändert nach VERHOEF & BACH 2003)	100
Abbildung 15: Beispiel für Bilddaten von Groß-Twülpstedt. Die gewählte Farbdarstellung ist Echtfarben. In der Mitte ein Überblick aufgenommen von CHRIS, an den Seiten AVIS-Ausschnitte.	101
Abbildung 16: Beispiel für Bilddaten von WIMEX. Die gewählte Farbdarstellung ist eine Red-Edge-Darstellung. Rot sowie gelb bedeuten aktive Vegetation, Blautöne offenen Boden, reifes Getreide oder versiegelte Fläche. Links dargestellt ein CHRIS-Bild, rechts ein einzelner Testschlag aufgenommen mit AVIS.	102
Abbildung 17: Spektren verschiedener Landnutzungen, wie sie mit dem CHRIS-Sensor an unterschiedlichen Terminen beobachtet wurden	102
Abbildung 18: Relative Vitalität in WIMEX 2005 gerechnet aus AVIS-Daten	103

Abbildung 19: Echtfarbandarstellung und relative Vitalität aus AVIS-Daten auf dem Schlag 631 im Vergleich zwischen 2005 (Winterweizen WW) und 2006 (Winterraps WR)	104
Abbildung 20: Schema des zusammen mit TP 3 entwickelten Heterogenitätsindikators zur Abschätzung der Rentabilität von Precision Farming	106
Abbildung 21: Mit SLC simulierte Reflexion von Weizen bei einem LAI von 3 für 7 verschiedene Beobachtungswinkel und zwei verschiedene Bestandesstrukturen. Links wurde ein mittlerer Blattwinkel von 60° angenommen, rechts von 80°	107
Abbildung 22: Mit SLC simulierte Veränderung der Reflexion mit dem LAI bei 60° mittlerem Blattwinkel (LAI = 3), links im spektralen Verlauf in Nadirblickrichtung, rechts als BRDF-Darstellung bei 780nm.....	108
Abbildung 23: Links: BRDF-Faktoren zum Nadir für verschiedene mittlere Blattwinkel, rechts: gemessene BRDF-Verteilung für unterschiedlich reife Weizenbestände (CHRIS, 19.06.2005) 108	
Abbildung 24: Karte des mittleren Blattwinkels in Getreidebeständen, abgeleitet mit SLC aus CHRIS-Daten vom 19.06.2005 unter Nutzung von fünf Beobachtungswinkeln.....	109
Abbildung 25: Digitalisierung der Blattwinkel, unterteilt in Stängel plus Ähren (pink) und Blätter (gelb) in grünem (links) sowie abgereiftem (rechts) Bestand. Oben Vertikalsicht, unten Senkrechtaufnahme als Vergleich	110
Abbildung 26: Schlag 811 in WIMEX in Red-Edge-Farbkombination, aufgenommen vom Sensor AVIS, links oben am 13.06.06, rechts oben am 03.07.06. Links unten die Hofbodenkarte aus pre agro I aufgeteilt in Bodentypen. Rechts unten die EC _a -Messungen aus pre agro I in [mS/m]	111
Abbildung 27: Relative Vitalität der Schläge 721 (nördlich) und 811 (südlich) über drei Jahre, berechnet aus AVIS-Daten (Winterraps WR, Winterweizen WW, Wintergerste WG)	112
Abbildung 28: Anteil seneszenten Materials auf dem Schlag 811 am 13.06.06 (links) und 03.07.06 (rechts) modelliert mit SLC aus AVIS-Daten.....	112
Abbildung 29: Grüner LAI auf dem Schlag 811 am 13.06.06 (links) und 03.07.06 (rechts) modelliert mit SLC aus AVIS-Daten	113
Abbildung 30: Links EC _a -Messungen vom Schlag 141 aus pre agro I in [mS/m] vom Schlag 141, rechts grüner LAI abgeleitet aus AVIS-Daten vom 21.06.05.....	114
Abbildung 31: Anteil seneszenten Materials auf dem Schlag 141 am 13.06.06 (links) und 03.07.06 (rechts) modelliert mit SLC aus AVIS-Daten.....	114
Abbildung 32: Grüner LAI auf dem Schlag 811 am 13.06.06 (links) und 03.07.06 (rechts) modelliert mit SLC aus AVIS-Daten	115
Abbildung 33: Validierung von modelliertem grünem LAI 2006 mit gemessenem effektiven LAI an allen Monitoringpunkten in fünf verschiedenen Feldern (verschiedene Symbole) in WIMEX . 115	
Abbildung 34: Validierung für den aus AVIS-Daten modellierten Anteil seneszenten Materials am 21.06.05, Schlag 141	117
Abbildung 35: Gemessener und modellierter Ertrag. Einheiten sind [dt/ha]. Links mit dem Mähdröschler gemessener Ertrag am 01.08.05, Mitte modelliert mit Update aus CHRIS über alle fünf Winkel (19.06.05), rechts modelliert mit AVIS-Daten (21.06.05) als Input	118

Abbildung 36: Validierung des modellierten Ertrags über alle 5 Winkel von CHRIS mit dem gemessenen Ertrag durch Handernte (blau) sowie durch den Mähdrescher (pink)	118
Abbildung 37: Lage der Versuchsschläge und der Monitoringpunkte auf dem Betrieb WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH	126
Abbildung 38: Lage der Versuchsschläge und der Monitoringpunkte auf dem Betrieb Träger-Farny	127
Abbildung 39: Verfahrensschritte für die Generierung von Ertragszielkarten.....	131
Abbildung 40: Schema für die Implementierung des Algorithmus für die Abschätzung des standortabhängigen Basisnaturalertrages in SAMT	134
Abbildung 41: Klimatische Wasserbilanz für die Anbauregion des Projektbetriebes WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH (Sachsen-Anhalt) für den Zeitraum 1975 – 2006	138
Abbildung 42: Klimatische Wasserbilanz für die Anbauregion des Projektbetriebes Träger Farny Groß-Twülpstedt für den Zeitraum 1975 – 2006	138
Abbildung 43: Screen-Shot vom SAMT-Fuzzy Tool mit dem Interface zur Inputgrößenklassifizierung (hier: ECa-Input).....	141
Abbildung 44: Screen-shot vom SAMT-Fuzzy Tool mit dem Interface zur Definition der Singleton Outputs für die einzelnen Outputklassen	142
Abbildung 45: Screen-shot vom SAMT-Fuzzy Tool mit dem Interface zur Aufstellung der Fuzzy-Regeln.....	143
Abbildung 46: Screen-shot vom SAMT-Fuzzy Tool mit dem Interface zur Analyse des Regelsatzes.....	144
Abbildung 47: Screen-shot vom SAMT-Fuzzy Tool mit dem Interface zum Fuzzy-Modell Training.....	145
Abbildung 48: Relativierte Ertragszielkarte des Schrages Finkenherd	146
Abbildung 49: Relativierte Ertragszielkarten der Schläge Stangenbreite (links), Trappenberg (Mitte) und Weinberg (rechts)	146
Abbildung 50: Illustration des Workflows zur Umwandlung von Raster- in Polygonkarten für die Ableitung von ertragszielkartenorientierten schlagbezogenen Ertragszonen	148
Abbildung 51: Ertragszonen-Karte für den Schlag Finkenherd, visualisiert unter Nutzung von Google Earth	148
Abbildung 52: Vergleich von Mähdrescher- mit Handernte an den Monitoringpunkten des Schrages Trappenberg in 2006 (Winterweizen).....	150
Abbildung 53: Vergleich von Mähdrescher- mit Handernte an den Monitoringpunkten des Schrages Finkenherd in 2006 (Winterweizen).....	150
Abbildung 54: Drei-Zonen-Karte für den Testschlag Kamp, visualisiert mit Google Earth.....	154
Abbildung 55: Vergleich der für den Schlag Finkenherd durch das Gesamtverfahren erstellten Ertragszonenkarte (links) mit der im Betrieb WIMEX praktizierten 3-Zonenkarte (rechts).....	156
Abbildung 56: Modellierung im TP 16 und Stellung des TP 16 im Verbund.....	165
Abbildung 57: Versuchsschläge mit Monitoringpunkten.....	166
Abbildung 58: Karten der geoelektrischen Leitfähigkeit auf dem Experimentalfeld Rabenberg, Twülpstedt	172

Abbildung 59: Korrelation zwischen den Ergebnissen der Wurzellängendichtebestimmung durch Bildanalyse (Image analysis) und durch Referenzmessung nach Tennant.....	173
Abbildung 60: Max. Wurzellängendichten (WLD) aus den Jahren 2005 und 2006 für die Intensivmesspunkte 1 (a) und 2 (b) des Schlags Rabenberg (Groß Twülpstedt).....	174
Abbildung 61: Max. Wurzellängendichten (WLD) aus den Jahren 2005 und 2006 für die Intensivmesspunkte 1 (a) und 2 (b) des Schlags Finkenherd (Wulfen).....	174
Abbildung 62: QQ-Plot der Wurzellängendichteverteilung auf dem Finkenherd vor (a) und nach der Logarithmierung (b)	176
Abbildung 63: Streudiagramme der Untersuchungsdaten von Wulfen (a) und Twülpstedt (b).....	177
Abbildung 64: Volumetrischer Wassergehalt an den Intensivmesspunkten der Schläge Finkenherd (a) und Rabenberg (b) über die Vegetationsperiode 2006	178
Abbildung 65: Saugspannung an den Intensivmesspunkten der Schläge Finkenherd (a) und Rabenberg (b) über die Vegetationsperiode 2006.....	179
Abbildung 66: Unter Feldbedingungen gemessene pF-WG-Beziehungen für einen schluffig lehmigen Sand (a), einen schwach tonigen Sand (b), einen schwach lehmigen Sand (c) und einen schwach schluffigen Sand (d).....	180
Abbildung 67: Korrelation zwischen simuliertem (calculated) und gemessenem (measured) Bodenwassergehalt (g kg^{-1}) für den Schlag Finkenherd in Wulfen	181
Abbildung 68: Bodenwassergehalt in unterschiedlichen Bodentiefen (Intensivmesspunkt 1, Finkenherd, Wulfen).....	182
Abbildung 69: Bodenwassergehalt in unterschiedlichen Bodentiefen (Intensivmesspunkt 2, Finkenherd, Wulfen).....	182
Abbildung 70: Beobachtete Leitfähigkeiten an einem Transekt durch das Untersuchungsgebiet	183
Abbildung 71: Belief der Signaturen a und b.....	184
Abbildung 72: Regression zwischen korrigierten Wurzeltiefgängen (R_{dc}) und gemessenen Tiefgängen (R_{dm}).....	185
Abbildung 73: Karte der Durchwurzelungstiefe für den Versuchsschlag Rabenberg (Groß Twülpstedt)	186
Abbildung 74: Korrelation zwischen simulierten (calculated) und gemessenen (measured) Wurzellängendichten für den Schlag Finkenherd, Wulfen.....	187
Abbildung 75: Lage der Prüfglieder und Bonitурpunkte im Schlag „Hinter Pilsenhöhe“ (Schlagausschnitt nach WOLLNY & DAMMER, siehe 4.3, Abbildung 105)	200
Abbildung 76: Änderung des Reflexionswertes b^* bei der Sorte Monopol in den Wellenlängenbereichen 516-540 nm (a) und 540-600 nm (b) infiziert mit Mehltau. Signifikante Unterschiede mit $\alpha = 0.05$ werden angezeigt	202
Abbildung 77: Zeitliche Entwicklung von Mehltau Pusteln/ cm^2 auf den gemessenen Blättern bei der Sorte Monopol	202
Abbildung 78: Korrelation zwischen Infektionsgrad und der Änderung des b^* -Parameters für die Wellenlängenbereiche 516-540 nm (a) und 540-600 nm (b) bei der Sorte Monopol.....	203

Abbildung 79: Bestandesreflexion der Sorte Monopol unter Mehлтаubefall für die Inokulationsstufen Kontrolle, 50 % und 100 % gemessen mit dem Field Spec® Hand Held, 4 Tage (a) und 58 Tage (b) nach der Inokulation. Unterschiede zwischen den Inokulationsstufen werden durch unterschiedliche Buchstaben angezeigt.	205
Abbildung 80: Bestandesreflexion der Sorte Empire unter Mehлтаubefall für die Inokulationsstufen Kontrolle, 50 % und 100 % gemessen mit dem Field Spec® Hand Held 4 Tage (a) und 58 Tage (b) nach der Inokulation. Unterschiede zwischen den Inokulationsstufen werden durch unterschiedliche Buchstaben angezeigt.	206
Abbildung 81: Bestandesreflexion der Sorte Monopol unter Septoriabefall für die Inokulationsstufen Kontrolle, 50 % und 100 % gemessen mit dem Field Spec® Hand Held 4 Tage (a), 22 Tage (b) und 58 Tage (c) nach der Inokulation. Unterschiede zwischen den Inokulationsstufen werden durch unterschiedliche Buchstaben angezeigt.	207
Abbildung 82: Bestandesreflexion der Sorte Empire unter Septoriabefall für die Inokulationsstufen Kontrolle, 50 % und 100 % gemessen mit dem Field Spec® Hand Held 4 Tage (a), 22 Tage (b) und 58 Tage (c) nach der Inokulation. Unterschiede zwischen den Inokulationsstufen werden durch unterschiedliche Buchstaben angezeigt.	208
Abbildung 83: Bestandesreflexion der Sorte Monopol unter Halmbruchbefall für die Inokulationsstufen Kontrolle, 50 % und 100 % gemessen mit dem Field Spec® Hand Held 37 Wochen (a), 40 Wochen (b) und 41 Wochen (c) nach der Inokulation. Unterschiede zwischen den Inokulationsstufen werden durch unterschiedliche Buchstaben angezeigt.	210
Abbildung 84: Bestandesreflexion gemessen mit dem Yara N-Sensor in dem Wellenlängenbereich 450-850 nm für die Fungizidstufen 0 %, 50 % und 100 % in den Wachstumsstadien BBCH 70 und BBCH 85	211
Abbildung 85: Analyse der Ertragsvariabilität basierend auf unterschiedlichen Faktoren (nach BATCHELOR et al. 2002)	215
Abbildung 86: Schema zur Ableitung von Produktionsfunktionen als Aufwands-Ertragsrelationen bei unterschiedlicher Standortgüte (Quelle: TOMPKINS et al. 1991, modifiziert)	225
Abbildung 87: Ertragszielkarte (dt/ha) und Versuchsdesign zur N-Düngung (Konstant/Teilfläche) des Versuchsschlages „Auf dem Mittelberg“, Betrieb Träger-Farny	226
Abbildung 88: Verteilung der Ertragszonen auf dem Schlag 231 (Pfungstbreite).....	228
Abbildung 89: Erntetechnik für die Kleinparzellenversuche	229
Abbildung 90: Beispielhaftes Design eines Stickstoffversuchs mit Einbettung der Großparzellen (G1 ... G7) und Kleinparzellen (schwarze Flächen)	230
Abbildung 91: Design der Kleinparzellen der Jahre 2005 (links), 2006 (Mitte) und 2007 (rechts)....	231
Abbildung 92: Reaktion des Ertrages auf steigendes Stickstoffangebot, Schlag 231, Jahr 2005, Großparzellen	233
Abbildung 93: Reaktion des Ertrages auf steigendes Stickstoffangebot, Schlag 231, Jahr 2005, Großparzellen, unter Berücksichtigung der Ertragszonen (Zone 1 = niedrige Ertragerwartung)	233
Abbildung 94: Reaktion des Ertrages auf steigendes Stickstoffangebot, Schlag 231, Jahr 2005, Kleinparzellen.....	234

Abbildung 95: Reaktion des Ertrages auf steigendes Stickstoffangebot, Schlag 231, Jahr 2005, Kleinparzellen, unter Berücksichtigung der Ertragszonen (Zone 1 = typischerweise niedrige Erträge)	235
Abbildung 96: Ertragskartierung roh, Lübbersruh 411-2007	249
Abbildung 97: ECa (EM38-Messung). Lübbersruh 411_2007	249
Abbildung 98: Ertragskartierung roh (Ausschnitt) WIMEX 741_2007	250
Abbildung 99: Ertragskartierung roh (Ausschnitt) Hellingen 5121_2007	250
Abbildung 100: N-Monitoring (Versuchsglied „konstant“)	253
Abbildung 101: N-Monitoring (Versuchsglied „variabel“)	254
Abbildung 102: Versuchsanlage und bereinigte Ertragskartierung	255
Abbildung 103: Faktorzonen zur Funktionsanpassung	256
Abbildung 104: Funktionen in verschiedenen Faktorzonen (schematisch)	256
Abbildung 105: Lage der Prüfglieder und Anordnung der Boniturstellen in den Ertragswartungszonen am Beispiel des Schlages „Hinter Pilsenhöhe“ (Schlagausschnitt)	265
Abbildung 106: Lage der Prüfglieder und Anordnung der Boniturstellen in den drei Ertragswartungszonen am Beispiel des Schlages „Bruch oben“ (Schlagausschnitt)	270
Abbildung 107, links: Mittlere Befallsstärke (<i>Septoria tritici</i> und <i>Drechslera tritici-repentis</i>) bzw. rechts: mittlere Seneszenzstärke des Fahnenblattes an den Boniturstellen in den 3 Prüfgliedern und 3 Managementzonen im Jahr 2005 („Hinter Pilsenhöhe“, nach WOLLNY et al. 2007)	272
Abbildung 108, links: Mittlere Befallsstärke (<i>Septoria tritici</i> und <i>Drechslera tritici-repentis</i>) bzw. rechts: mittlere Seneszenzstärke des Fahnenblattes an den Boniturstellen in den 3 Prüfgliedern und 3 Managementzonen im Jahr 2006 („Hinter Pilsenhöhe“)	273
Abbildung 109: Blattseneszenz (Zeitraum von ersten sichtbaren Symptomen bis zum völligen Absterben) der oberen 3 Blatttagen (F, F-1, F-2) und Niederschlagsverteilung in den Jahren 2005 (oben) und 2006 (unten), Feld: „Hinter Pilsenhöhe“	274
Abbildung 110: Box-Plots der lokalen Ertragsdifferenzen zwischen den Prüfgliedern „Unbehandelt“ (UK) – „Einheitlich“ (BV) bzw. „Einheitlich“ – „Teilflächenspezifisch“ (TF) des Schlages „Hinter Pilsenhöhe“ in den Jahren 2005 und 2006 (N= Anzahl Wertepaare, MW = Mittelwert (dt·ha ⁻¹), * signifikant, zweiseitiger t-Test, $\alpha = 5\%$)	275
Abbildung 111, links: Mittlere Befallsstärke (<i>Septoria tritici</i>) bzw. rechts: mittlere Seneszenzstärke des Fahnenblattes an Boniturstellen mit unterschiedlichen Bestandesdichten im Jahr 2006 („Vor Pilsenhöhe“)	275
Abbildung 112, links: Mittlere Befallsstärke (<i>Septoria tritici</i> und <i>Drechslera tritici-repentis</i>) bzw. rechts: mittlere Seneszenzstärke des Fahnenblattes an den Boniturstellen in den 3 Prüfgliedern und 3 Managementzonen im Jahr 2005 („Lehmberg“, nach WOLLNY et al. 2006)	277
Abbildung 113: Box-Plots der lokalen Ertragsdifferenzen zwischen den Prüfgliedern „Unbehandelt“ (UK) – „Einheitlich“ (BV) bzw. „Einheitlich“ – „Teilflächenspezifisch“ (TF) der Schläge „Lehmberg“ 2005 und „Rohrbreite“ 2006 (N= Anzahl Wertepaare, MW = Mittelwert (dt·ha ⁻¹), * signifikant, zweiseitiger t-Test, $\alpha = 5\%$)	278

Abbildung 114: Eingabemaske teilflächenspezifische Informationen im Prototyp expert.precise (nach WOLLNY et al. 2006)	279
Abbildung 115: XML-Output (Ausschnitt) der „Spritzkarte“ aus proPlant „expert.precise“ mit den zonenspezifischen Aufwandmengen (Einheit in ml, Versuchsfläche „Königsfeld“ 2006)	280
Abbildung 116: Applikationsalgorithmus für drei Managementzonen („Königsfeld“, 2006)	281
Abbildung 117: Applikation in den Managementzonen entlang einer Fahrspur („Königsfeld“, 2006, nach WOLLNY et al. 2007)	282
Abbildung 118: Mittlere Befallsstärke (<i>Septoria tritici</i>) des Fahnenblattes an den Boniturpunkten in den 4 Prüfgliedern und 3 Managementzonen im Jahr 2007, Feld „Bruch oben“	284
Abbildung 119: Box-Whisker-Plots der Befallsstärken (<i>Septoria tritici</i> , <i>Puccinia recondita</i>) des Fahnenblattes (N=30) an den Boniturpunkten mit unterschiedlichem LAI (2007 „Gölsdorfer Mühle“).....	285
Abbildung 120: Box-Whisker-Plots der lokalen Ertragsdifferenzen zwischen den Prüfgliedern „Unbehandelt“ (UK) – „Hybrides System“ (HY), „Hybrides System“ – „CROP-Meter“ (CM) bzw. „CROP-Meter“ – „Einheitlich“ (BV) der Versuchsflächen 2007 (N = Anzahl Wertepaare; MW = Mittelwert (dt·ha ⁻¹); * signifikant, zweiseitiger t-Test, $\alpha = 5\%$).....	285
Abbildung 121: Vereinfachtes Aktivitätsdiagramm einer Bodenuntersuchung.....	299
Abbildung 122: Vereinfachtes Sequenzdiagramm der Datenflüsse einer Bodenuntersuchung mit OGC-Schnittstellen und agroXML.....	299
Abbildung 123: Konfiguration von deegree2 für die Nutzung eines „Community Schema“ wie agroXML – für ein Community Schema müssen zusätzliche Filter als XSLT definiert werden	300
Abbildung 124: Vereinfachtes Aktivitätsdiagramm des Anwendungsfalles „N-Düngung“	301
Abbildung 125: Vereinfachtes Sequenzdiagramm der Implementierung der Kalkulation der N-Angabe als verteilte OGC-konforme Web-Dienste	302
Abbildung 126: Vereinfachtes Aktivitätsdiagramm des Clustering-Verfahrens.....	303
Abbildung 127: Vereinfachtes Sequenzdiagramm der Generierung von Managementzonen mit Eingabedaten von WCS-Diensten und Datenverarbeitung mittels verteilte WPS-Dienste	304
Abbildung 128: Gesamtmodell aller Datenflüsse während der Arbeit auf den Anwendungsschlägen	305
Abbildung 129: Datenstrom für den Ergebnisdatensatz „Rentabilität“	306
Abbildung 130: Datenstrom vom Eingabedatensatz „N-Sensordaten“	306
Abbildung 131: Grafische Repräsentation der hierarchischen Struktur des Elementes <Pesticide> Figure 131: Graphical representation of the hierarchical structure of the element <Pesticide>.	319
Abbildung 132: Schematische Darstellung der Datenstrukturen zur Repräsentation mehrerer Ebenen von Prozessdaten	320
Abbildung 133: System zur automatischen Prozessdatenerfassung (AUERNHAMMER et al. 2000)....	332
Abbildung 134: Vernetzung verteilter Logik und Daten durch eine standardisierte Schnittstelle	335
Abbildung 135: Komponenten und Datenfluss eines landwirtschaftlichen Prozessdatenservice	336

Abbildung 136: Prototyp eines ISOBUS-TaskControllers mit CPU und Darstellung auf einem Virtual Terminal.....	337
Abbildung 137: Daten des ISOBUS-TaskControllers visualisiert mit Hilfe eines GIS	337
Abbildung 138: Datenfluss und Zusammenspiel der Softwarekomponenten	339
Abbildung 139: Webportal mit tabellarischer Übersicht von Maßnahmen.....	341
Abbildung 140: WebGis zur georeferenzierten Darstellung von Maßnahmen	341
Abbildung 141: Visualisierung von Prozessdaten in GoogleEarth	342
Abbildung 142: Visualisierung von Prozessdaten in der Schlagkartei agroNET NG nach download über Webservice-Schnittstelle	343
Abbildung 143: Data Warehouse Architektur angepasst für Prozessdaten	346
Abbildung 144: Performancetest: Datenbankabfragen	354
Abbildung 145: Darstellung neuer Programm-Architekturen	355
Abbildung 146: Schema zur Erfassung und Verarbeitung der Maschinendaten in Wulfen.....	359
Abbildung 147: AGRO-NET mit Prozessdaten vom APDS des TP 8.....	385
Abbildung 148: Export Menü in AGRO-NET2agroXML	387
Abbildung 149: Import Menü in AGRO-NET2agroXML	387
Abbildung 150: agroXML Aktualisierung und Zuordnungsmenü in AGRO-NET2agroXML.....	387
Abbildung 151: Hilfemenü in AGRO-NET2agroXML	388
Abbildung 152: Übertragungsschema und Datenfelder für einen landwirtschaftlichen Dienstleistungsauftrag.....	389
Abbildung 153: Per agroXML angemeldete Flächen bei der Hagelversicherung.....	390
Abbildung 154: Abgleichdialog für Düngemittelarten.....	391
Abbildung 155: Versuchsdesign des Feldversuches 330_2006	408
Abbildung 156: Schematische Darstellung der Modellanpassung	409
Abbildung 157: Ergebnisse der Bodenbeprobung auf den beiden Schlägen „Vor dem Bruche“ und „Krügarten“ auf dem Betrieb Groß-Twülpstedt mit Beganglinien der Bodenprobennahme.....	412
Abbildung 158: Ergebnisse der Umfrage unter Landwirten zu den Leistungen des Precision Farming, geordnet nach Häufigkeit der Nennung (Anzahl in Klammer).....	421
Abbildung 159: Verlauf der jährlichen Kosten der Grundnährstoffbeprobung und Applikation in Abhängigkeit vom jährlichen Einsatzumfang	424
Abbildung 160: Verlauf der jährlichen Kosten der differenzierten Stickstoffdüngung in Abhängigkeit des jährlichen Einsatzumfanges.....	426
Abbildung 161: Kumulative Wahrscheinlichkeit der einzelnen teilflächenspezifischen Düngestrategien für das zweite Preisszenario.....	427
Abbildung 162: Der Nettonutzen in Abhängigkeit vom HEI.....	454

Abbildung 163: Ertragsschätzung Winterweizen, Ostdeutschland, Stand 1990, nach KINDLER (1992) und MIRSCHEL (2006)	455
Abbildung 164: HEI in Ostdeutschland auf Gemeindeebene, 2007.....	455
Abbildung 165: Precision Farming Potentialflächen, HEI von ≥ 5 % to ≥ 25 %, Ostdeutschland, 2007	456
Abbildung 166: Verteilung der Barberfallen- und Vegetationsaufnahmestandorte	488
Abbildung 167: Anzahl Arten je Bewirtschaftungsvariante und Jahr (2006_1, 2007_0, 2007_1 = normalverteilt; 2006: $p = 0,699 > 0,05$; 2007: $p = 0,000 < 0,001$ ***)	490
Abbildung 168: Anzahl Individuen je Bewirtschaftungsvariante und Jahr (2006_0, 2006_1, 2007_1 = normalverteilt)	490
Abbildung 169: Anzahl Arten je Ertragszone und Jahr (Oneway ANOVA, ° = Normalverteilung) ..	491
Abbildung 170: Anzahl Individuen je Ertragszone und Jahr (Mann-Whitney-U-Test)	492
Abbildung 171: Artenspektrum mit Dominanz [%] der einheitlich bewirtschafteten Ackerfläche 2006 (2006_0; Arten mit Dominanz > 1 %, Klassifikation nach ENGELMANN 1978)	493
Abbildung 172: Artenspektrum mit Dominanz [%] der teilflächenspezifisch differenziert bewirtschafteten Ackerfläche 2006 (2006_1; Arten > 1 % Dominanz, Klassifikation nach ENGELMANN 1978)	493
Abbildung 173: Artenspektrum mit Dominanz [%] der einheitlich bewirtschafteten Ackerfläche 2007 (2007_0; Arten > 1 % Dominanz, Klassifikation nach ENGELMANN 1978)	494
Abbildung 174: Artenspektrum mit Dominanz [%] der teilflächenspezifisch differenziert bewirtschafteten Ackerfläche 2007 (2007_1; Arten > 1 % Dominanz, Klassifikation nach ENGELMANN 1978)	494
Abbildung 175: Verteilung der Anzahl Individuen nach der Feuchtepräferenz der Arten je Bewirtschaftungsvariante und Jahr (vereinfacht, ökologische Typen nach BARNDT et al. 1991)	495
Abbildung 176: Verteilung der Anzahl Individuen nach der Feuchtepräferenz der Arten je Ertragszone und Jahr (vereinfacht, ökologische Typen nach BARNDT et al. 1991)	496
Abbildung 177: Bestandesdichte, dargestellt durch den grünen LAI (=GLA) bzw. LAI je Ertragszone je Ackerfläche und Jahr	497
Abbildung 178: Verteilung der Individuen nach Größenklassen der Arten je Bewirtschaftungsvariante und Jahr (Klasseneinteilung nach BARNDT et al. 1991)	498
Abbildung 179: Verteilung der Individuen nach Größenklassen je Ertragszone und Jahr (Klasseneinteilung nach BARNDT et al. 1991)	499
Abbildung 180: DCA-Ordination; Biplot von Standorten und Umweltvariablen 2006.....	500
Abbildung 181: DCA-Ordination; Biplot von Standorten und Umweltvariablen 2007.....	503
Abbildung 182: Anzahl Arten je Bewirtschaftungsvariante und Jahr (2006_0, 2006_1 und 2007_1 = normalverteilt)	504
Abbildung 183: DCA-Ordination; Biplot von Standorten und Umweltvariablen 2006.....	506

Abbildung 184: DCA-Ordination; Biplot von Standorten und Umweltvariablen 2007.....	507
Abbildung 185: Untersuchungsfläche und Anlage der Defektflächen.....	510
Abbildung 186: Vegetationshöhe der Kulturpflanzen (cm) während der Brutsaison der Feldlerchen von April bis Juli	512
Abbildung 187: Bodenbedeckung während der Brutsaison von April bis Juli	512
Abbildung 188: Anzahl der singenden Männchen auf Teilflächen mit und ohne Defektflächen (DF) in den Jahren 2005 bis 2007	513
Abbildung 189: Organisation von Produkt- und Prozessqualität	559
Abbildung 190: Betriebliches Nachhaltigkeitsprofil.....	565
Abbildung 191: Datenübertragung für die Nachhaltigkeitsanalyse	567
Abbildung 192: Nachhaltigkeit in der Betriebsführung	569
Abbildung 193: Zertifizierung.....	570
Abbildung 194: PF-Methoden, welche von den PF-Nutzern angewendet werden (Angabe in %)	588
Abbildung 195: Aufteilung der interviewten Landwirte nach Betriebsgrößenklassen (Angabe in absoluten Zahlen)	591
Abbildung 196: Anwendung der verschiedenen PF-Technik bei den interviewten Landwirten (Angabe in absoluten Zahlen)	592
Abbildung 197: Zielsetzung bei der Einführung von PF-Technologien (Angabe in absoluten Zahlen/ Mehrfachnennungen).....	594
Abbildung 198: Werkzeug zur Koordinatentransformation.....	653
Abbildung 199: Web-Frontend und Ergebnisliste zur Geodatenrecherche.....	654
Abbildung 200: pre agro Internet-GIS.....	654
Abbildung 201: Schema zu Verwendung von Positionsinformationen im Web.....	656
Abbildung 202: Deutschsprachige Startseite der Homepage http://www.preagro.de (Ende Februar 2008, nach der Abschlusskonferenz).....	663
Abbildung 203: Anzahl Besucher und Besuche der pre agro-Homepage von Mai 2005 bis Mai 2008	664
Abbildung 204: Screenshot einer Google™ -Suche zum Begriff „Precision Agriculture“ im Februar 2008	665
Abbildung 205: Stand des Forschungsverbundes pre agro auf der Agritechnica 2005	666
Abbildung 206: Gemeinschaftsstand der Verbundprojekte PIROL und pre agro auf den DLG- Feldtagen 2006	668
Abbildung 207: Eindruck vom Forum "Entscheidungsregeln für Precision Farming" auf der Agritechnica 2007.....	669
Abbildung 208: Herkunft der Teilnehmer nach Zielgruppen bei der Konferenz „Precision Farming kommt!“.....	670
Abbildung 209: Eindruck von der Frühjahrsvollversammlung 2006 in Frankfurt/Main	683

Abbildungsverzeichnis (Anhänge)

Anhang, Abbildung 1: Feldversuchsdesigns der durchgeführten Aussaatversuche.....	437
Anhang, Abbildung 2: Probennahmeraster (obere Darstellung) und Ergebnis der Bodenbeprobung für die Grundnährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium sowie pH-Wert für den Feldversuch 882_2005	438
Anhang, Abbildung 3: Unterteilung der Interviewten Landwirte in die verschiedenen Befragungsgruppen.....	607
Anhang, Abbildung 4: Räumliche Verteilung der PF-Nutzer, aufaddiert nach den Umfragen 2001 – 2007	609
Anhang, Abbildung 5: Räumliche Verteilung der PF-Nutzer (2001 – 2007) und der interviewten Berater (nur Berater mit vollständiger PLZ).....	610

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Projektbereiche, Teilprojekte, Institutionen und Leiter der Teilprojekte	38
Tabelle 2: Fachliche Gliederung des Abschlussberichtes	39
Tabelle 3: Zentrale in <i>pre agro</i> II erreichte Ergebnisse.....	40
Tabelle 4: Liste der analysierten Bodeneigenschaften	70
Tabelle 5: Liste der analysierten Bodenparameter	73
Tabelle 6: Statistische Kernwerte der abhängigen Variable ECa und der im finalen LME Modell als Prediktoren verwendeten numerischen Variablen	82
Tabelle 7: Koeffizienten der “fixed effects” im finalen LME Modell für die ECa-Schätzung	83
Tabelle 8: Statistische Kennwerte der gemessenen Bestandesparameter auf den Versuchsflächen im Betrieb WIMEX im Juni / Juli 2006.....	85
Tabelle 9: Parameter des semi-physikalischen Reflexionsmodells, Regressions- und Korrelationskoeffizienten für die Versuchsflächen im Betrieb WIMEX	86
Tabelle 10: Koeffizienten, Bestimmtheitsmaße und standardisierte Koeffizienten der multiplen Regressionsanalyse zur Schätzung des Durchdringungswiderstands Dw für die Kategorien „sandige Standorte“ und „andere“	88
Tabelle 11: Koeffizienten, Bestimmtheitsmaße und standardisierte Koeffizienten der multiplen Regressionsanalyse zur Schätzung der normierten Biomasse für die Kategorien „sandige Standorte“ und „andere“	89
Tabelle 12: Übersicht über die Aufnahmetermine von AVIS	96
Tabelle 13: Übersicht über die Aufnahmetermine von CHRIS.....	96
Tabelle 14: Überblick über die in SLC verwendete Weizenparametrisierung	99
Tabelle 15: Zusammenfassung der nach ihren Bestandesparametern ausgewerteten Winterweizentestschläge in <i>pre agro</i> II, Grundlage AVIS-Daten; eine Auswertung der Testschläge unter Wolkenschatten war nicht möglich, daher konnten teilweise nicht alle Schläge an einem Termin ausgewertet werden	116
Tabelle 16: Basis-Naturalertrag (NE, dt ha ⁻¹) für Winterweizen (WW) und Triticale (TR) in Abhängigkeit von MMK-Standorttypen (StT) (nach KINDLER 1992, modifiziert und erweitert)	132
Tabelle 17: KFA-Werte für Getreidefruchtarten für die Länder Brandenburg, Sachsen und Sachsen- Anhalt	133
Tabelle 18: Vergleich zwischen in der Praxis mit dem Mähdrescher gemessenen und mit dem Modell YIELDSTAT geschätzten Winterweizenerträgen für Einzelschläge des Projektbetriebes WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH (Sachsen-Anhalt) im Zeitraum 2000 – 2005.....	136
Tabelle 19: Relativierte Wirkung der Vorfrucht auf den Nachfruchtertrag für wichtige Ackerkulturen	136

Tabelle 20: Schlagspezifischer Vergleich der Mährescherertragskarte mit der Ertragszielkarte, zum einen generiert mit dem untrainierten Fuzzy-Modell und zum anderen generiert mit dem trainierten Fuzzy-Modell (WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH).....	151
Tabelle 21: Relative Ertragsspannen (in % zum Ertragsmittel des Gesamtschlages) bei Winterweizen für vier Beispielsschläge der WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH.....	152
Tabelle 22: Schlagspezifischer Vergleich der Mährescherertragskarte mit der Ertragszielkarte, zum einen generiert mit dem untrainierten Fuzzy-Modell und zum anderen generiert mit dem trainierten Fuzzy-Modell (Betrieb Täger Farny Groß Twülpstedt)	152
Tabelle 23: Relative Ertragsspannen (in % zum Ertragsmittel des Gesamtschlages) bei Winterweizen für vier Beispielsschläge des Betriebes Täger Farny Groß Twülpstedt.....	153
Tabelle 24: Mittlere Winterweizen-Erträge für den Testschlag Kamp, bezogen sowohl auf den Gesamtschlag als auch auf die einzelnen Ertragszonen der Drei-Zonen-Karte in einem 5jährigen Vergleich	154
Tabelle 25: Berechnete relative Stickstoffaufnahme bei Winterweizen auf dem Testschlag Kamp in den einzelnen Ertragszonen und Jahren.....	155
Tabelle 26: Flächenanteil und Zonertrag für die durch das Verfahren erstellte Ertragszonenkarte (oben) und für die WIMEX-Zonenkarte (unten), dargestellt am Schlag Finkenherd (Winterweizen, 2006)	156
Tabelle 27: Prozentuale Anteile der Wurzeln im Ober- und Unterboden der Versuchsschläge Rabenberg (Groß Twülpstedt) und Finkenherd (Wulfen)	175
Tabelle 28: Abschätzung von Wasserbilanzen und Berechnung der Korrekturfaktoren für Wurzeltiefgänge.....	185
Tabelle 29: Versuchsschläge auf dem Betrieb WIMEX und deren Nutzung	229
Tabelle 30: Stickstoffmenge (kg N/ha) und Aufteilung auf die einzelnen Gaben	231
Tabelle 31: Parameterschätzung und Signifikanz (rohe/bereinigte Ertragsdaten)	249
Tabelle 32: unterschiedlich signifikante Faktoren in ausgewählten Feldversuchen	251
Tabelle 33: N-Düngung im Versuchsverlauf	252
Tabelle 34: Parameterschätzung und Signifikanztests	255
Tabelle 35: Ausgewählte Anbaudaten (Winterweizen) und Fungizidmaßnahmen auf den Versuchsflächen 2005 und 2006 (WW = Winterweizen, WG = Wintergerste)	266
Tabelle 36: Ausgewählte Anbaudaten (Winterweizen) und Fungizidmaßnahmen auf den Versuchsflächen 2007 (WW = Winterweizen, WG = Wintergerste)	269
Tabelle 37: Anzahl und prozentualer Anteil der Durchflusswerte je Ertragerwartungszone und Prüfglied in den Versuchsschlägen 2007.....	269
Tabelle 38: Blattflächenindex (Minimum, Maximum und Spannweite Sw) an den jeweiligen Terminen der Versuchsjahre 2005 und 2006 („Hinter Pilsenhöhe“)	271
Tabelle 39: Blattflächenindex (Minimum, Maximum und Spannweite Sw) an den jeweiligen Terminen (2005: „Lehmberg“, 2006: „Rohrbreite“).....	276

Tabelle 40: Minimale und maximale Applikationsmenge (Prüfglied „Hybrides System“) und Fungizideinsparungen (im Vergleich zum Prüfglied „Einheitlich“) in den 3 Managementzonen der Versuchsschläge 2007	283
Tabelle 41: Normen und Standards als Basis einer Geodateninfrastruktur für Precision Farming.....	297
Tabelle 42: Open Source Softwarekomponenten und ihre Verwendung	338
Tabelle 43: Ergebnis des best angepassten Modells des Feldversuches 330_2006.....	410
Tabelle 44: Eigenschaften der Feldversuchsstreifen in Bezug auf den historischen Ertrag und die Leitfähigkeit.....	410
Tabelle 45: Aufstellung der durchgeführten Feldversuche zur teilflächenspezifischen Aussaat	411
Tabelle 46: Übersicht der drei Feldversuche zur Bestimmung der differenzierten Grundnährstoffversorgung mit den Fruchtfolgen während der Projektlaufzeit.....	412
Tabelle 47: Zusammenstellung der während der Projektlaufzeit durchgeführten Feldversuche zur Stickstoffdüngung.....	413
Tabelle 48: Aufstellung der genutzten teilflächenspezifischen Stickstoffdüngestrategien	413
Tabelle 49: Übersicht der Einstellungen für die Monte Carlo Simulation	416
Tabelle 50: Ergebnisse der Feldversuche zur differenzierten Aussaat von Winterweizen und -raps aus zwei Jahren	417
Tabelle 51: Differenz des Nährstoffbedarfs bei teilflächenspezifischer Applikation im Vergleich zur flächeneinheitlichen Beprobung und Applikation	418
Tabelle 52: Ergebnisse des Ertragsmonitorings nach der Grundnährstoffapplikation auf dem Feldversuch 882_2005 über zwei Jahre.....	419
Tabelle 53: Ergebnisse der differenzierten Stickstoffdüngung zu Winterweizen und -raps	419
Tabelle 54: Detaillierte Ergebnisse der drei differenzierten N-Düngungsstrategien zu Winterweizen; jeweils im Vergleich zur flächeneinheitlichen Düngung (Δ NKfL in €/ha, „+“ Gewinn; „-“ Verlust	420
Tabelle 55: Arbeitszeitbedarf für die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung.....	422
Tabelle 56: Arbeitszeiteinsparung durch Parallelfahrssysteme, ermittelt in einer Umfrage unter Anwendern.....	422
Tabelle 57: Jährliche Kosten der differenzierten Bodenbeprobung und Grundnährstoffapplikation bei einem vierjährigen Planungszeitraum.....	424
Tabelle 58: Aufstellung der jährlichen Kosten für drei Strategien zur differenzierten Stickstoffdüngung	425
Tabelle 59: Ergebnisse der Simulationsläufe für die beiden Preisszenarien	426
Tabelle 60: Wahrscheinlichkeiten für ausgewählte jährliche Einsatzumfänge des Erreichens der Break-Even Schwellen (in Prozent)	428
Tabelle 61: Zusätzliche Kosten der einzelnen Technologien Aussaat, Grund- und Stickstoffdüngung in Abhängigkeit des jährlichen Einsatzumfanges bei gleichzeitiger Nutzung von mehreren Technologien	429

Tabelle 62: Bewertung der direkten Wirkungen des Precision Farming.....	446
Tabelle 63: Quantifizierung der indirekten Wirkungen des Precision Farming.....	447
Tabelle 64: Intangibles des Precision Farming	449
Tabelle 65: Gegenüberstellung der Nutzen und Kosten des Precision Farming	450
Tabelle 66: Ergebnisse der Berechnung zum schlaginternen Heterogenitätsindikator HEI.....	453
Tabelle 67: Hochrechnung der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming	457
Tabelle 68: Untersuchungsperioden und -termine der Laufkäfer- und Spinnenfauna sowie der Segetalvegetation.....	488
Tabelle 69: Anzahl Arten und Individuen je Ackerfläche und Jahr	489
Tabelle 70: Korrelationsmatrix der ausgewählten Umweltvariablen 2006	500
Tabelle 71: Statistik der CCA-Berechnung (inter-sample distance, Hill's scaling).....	501
Tabelle 72: Interset-Korrelationen mit Achsen, Signifikanzniveau, Lambda1 und Lambda A der Variablen	501
Tabelle 73: Korrelationsmatrix der ausgewählten Umweltvariablen 2007	502
Tabelle 74: Statistik der CCA-Berechnung (inter-sample distance, Hill's scaling).....	502
Tabelle 75: Interset-Korrelationen mit Achsen, Signifikanzniveau, Lambda1 und Lambda A der Variablen	502
Tabelle 76: Arten der Roten Liste mit ihrer Dominanz je Ackerfläche (Kategorien Rote Liste: 1 = vom Aussterben bedroht, 2 = stark gefährdet, 3 = gefährdet, R = extrem selten, G = Gefährdung anzunehmen, V = Vorwarnliste).....	503
Tabelle 77: Anzahl Arten je Ackerfläche und Jahr	504
Tabelle 78: Korrelationsmatrix der ausgewählten Umweltvariablen 2006	505
Tabelle 79: Statistik der CCA-Berechnung (inter-sample distance, Hill's scaling).....	506
Tabelle 80: Interset-Korrelationen mit Achsen, Signifikanzniveau, Lambda1 und Lambda A der Variablen	507
Tabelle 81: Korrelationsmatrix der ausgewählten Umweltvariablen.....	508
Tabelle 82: Statistik der CCA-Berechnung (inter-sample distance, Hill's scaling).....	508
Tabelle 83: Interset-Korrelationen mit Achsen, Signifikanzniveau, Lambda1 und Lambda A der Variablen	508
Tabelle 84: Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test): Anzahl besetzter Reviere auf Teilflächen mit und ohne Defektflächen je Brutperiode und Jahr	514
Tabelle 85: Merkmale der Stichprobe	533
Tabelle 86: Unterschiede der Einkaufstypen.....	539
Tabelle 87: Verbraucheranforderungen an die Akteure in der Wertschöpfungskette	540
Tabelle 88: Bewertung von Precision Farming in Bezug auf die Schlüsselkriterien	542

Tabelle 89: Zentrale Aspekte der Schlüsselkriterien aus Sicht der verschiedenen Akteursgruppen entlang der Wertschöpfungskette	547
Tabelle 90: Gesetze und Verordnungen landwirtschaftlicher Produktion.....	557
Tabelle 91: Vorschriften für die landwirtschaftliche Produktion – Beispiele	558
Tabelle 92: Ziele und Maßnahmen zu Qualitätssicherung und nachhaltiger Landwirtschaft	559
Tabelle 93: Nutzenerwartungen potenzieller Anwender	561
Tabelle 94: Nachhaltigkeitsziele	562
Tabelle 95: Indikatoren und Analysebereiche.....	563
Tabelle 96: Ergebnis Nachhaltigkeitsanalyse (Auszug).....	564
Tabelle 97: Automatische Datenerfassung mit Precision Farming – Parameter	566
Tabelle 98: Aufteilung der interviewten Landwirte auf die verschiedenen Befragungsgruppen, aufgeteilt nach den Umfragejahren.....	583
Tabelle 99: Durchschnittliche Betriebsgröße (ha, Median) in den verschiedenen Befragungsgruppen	583
Tabelle 100: Informationsquellen, welche die PF-Nutzer und Potentiellen PF-Nutzer verwenden um sich über PF zu informieren (mehr als eine Antwortmöglichkeit)	586
Tabelle 101: Motivationsfaktoren für die Einführung von PF (mehr als eine Antwortmöglichkeit) ..	587
Tabelle 102: Probleme bei der Anwendung von PF (mehr als eine Antwortmöglichkeit)	589
Tabelle 103: Ursache, warum viele potentielle PF-Nutzer mit der Einführung von PF noch abwarten (mehr als eine Antwortmöglichkeit).....	590
Tabelle 104: Hauptvoraussetzung der potentiellen PF-Nutzer für die Einführung von PF (mehr als eine Antwortmöglichkeit)	590
Tabelle 105: Berücksichtigung von Precision Farming in der Lehre im Agrarstudiengang an Universitäten, Stand 2005.....	618
Tabelle 106: Berücksichtigung von Precision Farming in der Lehre im Agrarstudiengang an Fachhochschulen, Stand 2005	619
Tabelle 107: Spezielle Module im Agrarstudiengang zu Precision Farming an Universitäten, Stand 2005	620
Tabelle 108: Spezielle Module im Agrarstudiengang zu Precision Farming an Fachhochschulen, Stand 2005	621
Tabelle 109: Übersicht über die aktuelle Bedeutung von PF im Unterricht an den Berufs- und Fachschulen in den einzelnen Bundesländern, Stand 2005	623
Tabelle 110: Berücksichtigung von PF in der Fortbildung der Officialberater.....	626
Tabelle 111: Berücksichtigung der als praxisrelevant identifizierten Bausteine von PF in den verschiedenen Transfermaßnahmen	628
Tabelle 112: Im Rahmen des Transferprojekts erstellte Lehrmaterialien zu PF	629
Tabelle 113: Durchgeführte Veranstaltungen zum Transfer von Precision Farming.....	630

Tabelle 114: Deskriptive Statistiken und Interkorrelationen der Untersuchungsvariablen, Teilstichprobe Landwirte.....	633
Tabelle 115: Deskriptive Statistiken und Interkorrelationen der Untersuchungsvariablen zu den befragten Experten ohne eigene Landwirtschaft	637
Tabelle 116: Ergebnisse der Diskussion einzelner Themenbereiche im KTBL-Fachgespräch „Stand und Zukunft von Precision Farming“ Berlin, 03. – 04.12.2007	640
Tabelle 117: Vereinbarte Ziele, Akteure und erste Schritte in den einzelnen Themenbereichen als Ergebnis des KTBL-Fachgesprächs „Stand und Zukunft von Precision Farming“ Berlin, 03. – 04.12.2007	641
Tabelle 118: Übersicht über Veranstaltungen des Verbundprojektes <i>pre agro</i>	682

Tabellenverzeichnis (Anhänge)

Anhang, Tabelle 1: Expertenbewertung 2005-2006.....	465
Anhang, Tabelle 2: Katalog und Definition der Naturschutzqualitätsziele (NQZ) speziell auf Ackerflächen.....	467
Anhang, Tabelle 3: Indirekte Bewertung 2005-2006.....	470
Anhang, Tabelle 4: Indirekte Bewertung 2007.....	476
Anhang, Tabelle 5: Sensitivität der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming, hoch***.....	481
Anhang, Tabelle 6: Sensitivität der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming, mittel***.....	482
Anhang, Tabelle 7: Sensitivität der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming, gering***.....	483
Anhang, Tabelle 8: Dominanztabelle der Arten (Einteilung nach ENGELMANN 1978) auf Ackerfläche 2006_0 und Klassifikation nach ökologischen Typen und Rote-Liste-Status (Kategorien Rote Liste: 1 = vom Aussterben bedroht, 2 = stark gefährdet, 3 = gefährdet, R = extrem selten, G = Gefährdung anzunehmen, V = Vorwarnliste).....	518
Anhang, Tabelle 9: Dominanztabelle der Arten (Einteilung nach ENGELMANN (1978)) auf Ackerfläche 2006_1 und Klassifikation nach ökologischen Typen und Rote-Liste-Status (Kategorien Rote Liste: 1 = vom Aussterben bedroht, 2 = stark gefährdet, 3 = gefährdet, R = extrem selten, G = Gefährdung anzunehmen, V = Vorwarnliste).....	519
Anhang, Tabelle 10: Dominanztabelle der Arten (Einteilung nach ENGELMANN (1978)) auf Ackerfläche 2007_0 und Klassifikation nach ökologischen Typen und Rote-Liste-Status (Kategorien Rote Liste: 1 = vom Aussterben bedroht, 2 = stark gefährdet, 3 = gefährdet, R = extrem selten, G = Gefährdung anzunehmen, V = Vorwarnliste).....	520
Anhang, Tabelle 11: Dominanztabelle der Arten (Einteilung nach ENGELMANN (1978)) auf Ackerfläche 2007_1 und Klassifikation nach ökologischen Typen und Rote-Liste-Status (Kategorien Rote Liste: 1 = vom Aussterben bedroht, 2 = stark gefährdet, 3 = gefährdet, R = extrem selten, G = Gefährdung anzunehmen, V = Vorwarnliste).....	522
Anhang, Tabelle 12: Arten auf Ackerfläche 2006_0 und Bewertung als Problemunkraut (x = Problemunkräuter nach HOFMEISTER & GARVE (1998)).....	523
Anhang, Tabelle 13: Arten auf Ackerfläche 2006_1 und Bewertung als Problemunkraut (x = Problemunkräuter nach HOFMEISTER & GARVE (1998)).....	523
Anhang, Tabelle 14: Arten auf Ackerfläche 2007_0 und Bewertung als Problemunkraut (x = Problemunkräuter nach HOFMEISTER & GARVE (1998); + = Problemunkräuter nach eigener Beobachtung und Einschätzung der Landwirte).....	524
Anhang, Tabelle 15: Arten auf Ackerfläche 2007_1 und Bewertung als Problemunkraut (x = Problemunkräuter nach HOFMEISTER & GARVE (1998); + = Problemunkräuter nach eigener Beobachtung und Einschätzung der Landwirte).....	524
Anhang, Tabelle 16: Standort- und Bewirtschaftungsdaten 2006.....	525
Anhang, Tabelle 17: Standort- und Bewirtschaftungsdaten 2007.....	526

Anhang, Tabelle 18: Altersstruktur der Interviewpartner (alle Landwirte, potentielle PF-Nutzer, PF-Nutzer 607

1 Vorwort

Das Projekt *pre agro* II¹ wurde von Oktober 2004 bis März 2008 als inter- und transdisziplinäres Forschungsverbundprojekt zu *Precision Farming* durchgeführt und dazu in erheblichem Umfang durch das Bundesministerium für Forschung und Bildung (BMBF, Bonn) gefördert. Das Projekt war angesiedelt im Programm *Forschung für die Nachhaltigkeit* des BMBF und erarbeitete und untersuchte neue technische Lösungen für die produktionsintegrierte Erarbeitung von Aspekten nachhaltiger Entwicklung für die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion.

Mit dem vorliegenden Bericht findet das Verbundprojekt seinen Abschluss. Vieles wurde im Projekt erreicht und die Arbeit vieler Menschen und Arbeitsgruppen hat wichtige Ergebnisse aber auch manche neue Fragen erbracht. Darüber informiert das vorliegende Werk.

In diesem Abschlussbericht können nur ausgewählte und begrenzte Einblicke in die während eines solchen großen Forschungsverbundes durchgeführte Arbeit gegeben werden. Durch Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften und in praxisnahen Medien sowie durch viele Vorträge und umfangreiche Öffentlichkeitsarbeit wurden weiterführende Ergebnisse und Informationen aus dem Projekt mitgeteilt. Auch wenn das Projekt ein formales Ende erreicht hat, werden dennoch einige Arbeitsgruppen an ihrem bisherigen oder einem abgewandeltem Forschungsthema weiterarbeiten und manche Ergebnisse ihrer Tätigkeiten in *pre agro* II in neuen Projekten nutzen. Von *pre agro* wird noch gelegentlich zu hören und zu lesen sein.

Wir hoffen, es ist aus dem Bericht neben guten und wichtigen Ergebnissen ebenso das umfassende Engagement aber auch das große Interesse erkennbar, mit dem alle Beteiligten an naturwissenschaftlichen und technischen Inhalten sowie sozialen und ökonomischen Aspekten des *Precision Farming* gearbeitet haben. Die im Projekt erreichte enge und offene Zusammenarbeit aller Beteiligten, das gemeinsame Ringen um neue Erkenntnisse, funktionsfähige Systeme sowie anwendbare Konzepte für die Praxis kann ein solcher Bericht kaum wiedergeben.

Allen Autoren der Beiträge dieses Berichtes sowie allen weiteren Projektbeteiligten danken wir sehr für ihre offene und kooperative Zusammenarbeit sowie die engagierte Unterstützung bei der Abfassung des Berichtes und der Projektdurchführung. Für die konstruktive Begleitung des Projektes bedanken wir uns herzlich bei den Mitgliedern des wissenschaftlichen Beirats von *pre agro*. Unser Dank gilt auch den zahlreichen guten Geistern die außerhalb des Projektes in den beiden landwirtschaftlichen Betrieben, den beteiligten Firmen, Instituten und Verwaltungen sich um vielfältige Unterstützung des Projektes bemüht haben. Besonders bedanken wir uns bei den Vertretern des fördernden Ministeriums BMBF und des Projektträgers PTJ², die in sehr umsichtiger und äußerst kompetenter Form das Projekt unterstützt und begleitet haben. Spezieller Dank gilt Herrn Dr. Dreger für sein Engagement bei der Erstellung dieses Berichtes, die Erreichung eines konsistenten Überblicks zum Projekt und seiner Geduld mit den vielen Autoren.

Rostock, Hohenheim, Frankfurt/M, Müncheberg im März 2008

R. Bill, S. Graeff-Hönninger, L. Hövelmann, M. Sommer, A. Werner

Vorstand des Forschungsverbundprojektes *pre agro* II

¹ Im Weiteren gelegentlich auch nur als *pre agro* bezeichnet, um die kontinuierliche Weiterführung des Grundkonzeptes des mit dem ersten Projekt *pre agro* (1999 – 2003) initiierten Forschungsansatzes zu verdeutlichen.

² PTJ - Projektträger des BMBF (Forschungszentrum Jülich)

2 Einführung in das Verbundprojekt *pre agro II*

Introduction to the collaborative research project *pre agro II*

Armin Werner, Frank Dreger und Jürgen Schwarz

Zusammenfassung

Aufgabe des Forschungsverbundprojektes *pre agro II* war es, für den Einsatz von Precision Farming (PF) in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion spezielle Lösungen zu wichtigen Problemen der Standort- und Bestandesanalyse und dem Informationsmanagement im Betrieb zu liefern sowie Voraussetzungen für eine Verbesserung der Praxiseinführung von PF zu ermitteln.

Von 26 Instituten oder Arbeitsgruppen aus 22 Einrichtungen wurden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in 22 Teilprojekten im Wesentlichen durchgeführt zu:

- Entwicklung diverser Methoden zur Analyse von Standorteigenschaften und Bestandeszuständen.
- Analyse der Wirtschaftlichkeit im Betrieb, von naturschutzfachlichen Effekten des PF aber auch der volkswirtschaftlichen Bedeutung von Gestaltungspfaden dieser Technologie.
- Entwicklung flexibler, teilweise automatischer Systeme und Tools zur Erfassung, Verwaltung und Austausch von Daten und Informationen im Betrieb. Entwicklung des Teils PF in agroXML.
- Erarbeitung von Indikatoren bzw. Referenzgrößen für die Bewertung von Prozessqualität der Produktion mit Akteuren der Wertschöpfungskette Lebensmittel aus Sicht von ‚Nachhaltigkeit‘.
- Ermittlung der Akzeptanz zu PF bei Landwirten und des Bedarfs an Informationen sowie an Aus- und Weiterbildung für PF. Erarbeitung von Lehrmaterialien und Ausbildungskonzepten.

Aus den Arbeiten von *pre agro II* sowie den Entwicklungen in der Praxis wird immer deutlicher, dass Precision Farming nicht eine spezielle, in sich geschlossene Technik bzw. ein explizit definiertes Managementsystem ist, sondern Precision Farming stellt eine Vielfalt von Pfaden und Optionen in der Analyse, Entscheidungsfindung und Gestaltung von pflanzenbaulichen Maßnahmen im Ackerbau dar.

Summary

The collaborative research project *pre agro II* was intended to provide solutions for relevant problems for the analysis of spatial characteristics of sites and canopies, for the information management of farms as well as for improving the introduction of precision farming (PF) into practical farming.

Conducted by 22 partners from 26 institutions in research and development for agriculture the project operated in 22 subprojects and dealt with topics from:

- Development of methods to analyse conditions and characteristics of sites and crop stands.
- Analysis of farm economy with PF, aspects of biodiversity with PF as well as aspects of the national economy from possible pathways of PF.

- Development of flexible, partly automated systems and tools to collect, manage and exchange data and information within farms with PF. Development of PF-subparts in agroXML.
- Indicators and criteria for evaluating the process quality of crop production within the scope of sustainability by involving relevant stakeholders from the value added chain of food production.
- Determining the acceptance of PF by farmers and the demand for information as well as education and training. Providing training material as well as curricula for teaching PF.

The results of the research in *pre agro II* as well as the development of PF in practical farming increasingly show that precision farming is not one single technique or an explicitly defined management system. Precision farming provides a multitude of options in the analysis, the information management and the decision making as well as operating the measures in modern crop production.

2.1 Einleitung

Precision Agriculture³ steht weltweit immer mehr im Fokus wissenschaftlicher Arbeiten zur Landnutzung (Precision Farming, Precision Livestock Farming, Precision Viticulture, Precision Horticulture, Precision Irrigation ...). Nicht zuletzt durch äußere Einflüsse, wie z. B. steigende Rohstoffpreise, zunehmende Notwendigkeit präziser Dokumentation der durchgeführten Arbeitsschritte, neuen Herausforderungen an die Landnutzung durch den globalen Klimawandel, Verknappung der Ressourcen und steigender Nachfrage nach Lebensmitteln findet Precision Agriculture weltweit zunehmend Eingang in die landwirtschaftliche Praxis.

Dabei wird immer deutlicher erkennbar, dass in der Pflanzenproduktion Precision Farming⁴ (PF) nicht nur eine Technik, nicht eine spezielle Technologie bzw. ein explizit definiertes Managementsystem ist, sondern eine Vielfalt von Pfaden und Optionen in der Analyse, Entscheidungsfindung und Gestaltung pflanzenbaulicher Maßnahmen in der Fläche darstellt, die für verschiedenste Betriebsstrukturen geeignete Lösungen bietet. Precision Farming stellt in zunehmenden Maße Instrumente sowohl für den Integrierten als auch für den Ökologischen Landbau (DUSSELDORP & RÖSCH 2004) zur Verfügung. Einen nicht unerheblichen Anteil in der aktuellen und zukünftigen Nutzung der Techniken des Precision Farming hat dabei die zunehmend umfassendere Bereitstellung von Informationen über Standorteigenschaften, Boden- und Bestandeszustände sowie die Dokumentation von Bewirtschaftungsmaßnahmen. Diese Informationen dienen einerseits immer häufiger zur Verbesserung der Voraussetzungen in der Entscheidungsfindung für den Pflanzenproduzenten und andererseits zur Kommunikation des Landwirts mit Dritten, z. B. der aufnehmenden Hand und der nachfolgenden Stufen der Lebensmittelherzeugung, bis hin zum Verbraucher. Nationale und internationale Entwicklungen zur Standardisierung von Datenformaten und Schnittstellen erleichtern die Bereitstellung von umfangreichen (Geo)Daten für die Landwirtschaft und befördern die Einführung des Precision Farming.

Zu Beginn der Förderung von Forschungsarbeiten im Bereich Precision Farming durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung hatte der Forschungsverbund *pre agro I*⁵ zunächst in den Jahren 1999 – 2003 erfolgreich Grundlagen für die teilflächenspezifische Pflanzenproduktion in Deutschland geschaffen (WERNER 2004). Die Arbeiten von *pre agro I* waren dabei jedoch vorrangig auf eine

³ Precision Agriculture wird in diesem Bericht verstanden als Gesamtheit der ‚Precision‘-Technologien in der Landwirtschaft.

⁴ Precision Farming wird in diesem Bericht verstanden als Gesamtheit der Erkenntnisse, Methoden und technischen Entwicklungen, die die ackerbauliche Pflanzenproduktion als ‚Teilflächenbewirtschaftung‘ unterstützen.

⁵ Managementsystem für satellitengestützten ortsspezifischen Pflanzenbau zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Landwirtschaft und zur Förderung ihrer Umweltleistungen, Laufzeit 1999-2003, Fö.-Kz. 0339740.

Fruchtart (Winterweizen) auf wechselnden Schlägen der landwirtschaftlichen Betriebe begrenzt. Aus der Analyse des Forschungsbedarfes nach Abschluss des Verbundprojektes *pre agro* I wurden die vorrangigen Ziele der zweiten Stufe der Forschungsarbeiten für den Verbund *pre agro* II⁶ abgeleitet.

Precision Farming war bereits am Ende von *pre agro* I keinesfalls ausschließlich mehr als räumlich differenzierende Produktionstechnik des Pflanzenbaus zu verstehen. Diese Technologie steht ebenfalls für eine neue Qualität der Datenerhebung, Informationsbereitstellung, Informationsverarbeitung und Entscheidungsfindung sowie der Dokumentation aller Maßnahmen, Zustände und Prozesse in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion. Beim Start von *pre agro* II⁷ wurde ebenfalls immer deutlicher, dass diese Technologie es aufgrund der einfachen Möglichkeiten zur Berücksichtigung bzw. Integration von Produkt- und Umweltqualitätszielen in der Pflanzenproduktion gestattet, weite Teile des Konzeptes einer ‚nachhaltigen Entwicklung‘ in der Landnutzung zu implementieren. Folgerichtig wurde *pre agro* II im Rahmen des BMBF-Programms „Forschung für Nachhaltigkeit“ gefördert (BMBF 2006). Die wachsende Bedeutung und die Wahrnehmung der Potentiale des Precision Farming war 2006 auch Gegenstand von Projekten des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (DUSSELDORP & RÖSCH 2004, DEUTSCHER BUNDESTAG 2006).

Eine zentrale Aufgabe der Projektphase von *pre agro* II war es, Aspekte des Precision Farming auf die Situation des Gesamtbetriebes zu erweitern. Dies beinhaltet einerseits eine Zunahme der Komplexität pflanzenbaulicher Entscheidungsfindung (Fruchtfolgeaspekte, Betriebsabläufe, Datenmanagement etc.). Die Bereitstellung von Informationen zu Standort und Bestand derselben Fläche über mehrere Jahre war methodisch gezielt zu entwickeln. Zusätzlich wurde vom Forschungsverbund ein deutlicher Impuls in Richtung Praxiseinführung von Precision Farming in Deutschland erwartet. Die prinzipielle Rolle, die das Precision Farming für die Unterstützung einer nachhaltigen Entwicklung der agrarischen Landnutzung im ländlichen Raum übernehmen kann, war, wie erwähnt, am Ende der ersten Projektphase erkannt. Ein weiteres Ziel von *pre agro* II war es daher, das Nachhaltigkeitskonzept auf betrieblicher Ebene zu operationalisieren.

Zusammengefasst sollten von *pre agro* II Beiträge zu folgenden Themen geleistet werden:

1. Ermittlung von Entscheidungsprinzipien für Precision Farming sowie Bereitstellung von alternativen Konzepten in der Nutzung von Precision Farming Techniken,
2. Erarbeitung von Konzepten und Verfahren zur einfachen und kontinuierlichen Bereitstellung der für das lokale, betriebsspezifische Precision Farming relevanten Daten und Informationen auf betrieblicher Ebene,
3. Vereinfachung der Datenbereitstellung und des Informationsmanagements verschiedener Datenquellen und Informationsgrundlagen, des Informationsaustausches innerbetrieblich und extern sowie Automatisierungsschritte zur Dokumentation der Prozessqualität,
4. Erweiterung und Vereinfachung der Entscheidungsunterstützung zur pflanzenbaulichen Maßnahmengestaltung bei Precision Farming,
5. Bereitstellung von integrierenden Methoden zur Beurteilung möglicher und durchgeführter Maßnahmen im Precision Farming von u. a. betriebswirtschaftlichen und ökologischen Ansprüchen sowie solchen aus der Wertschöpfungskette Lebensmittelerzeugung,

⁶ Informationsgeleitete Pflanzenproduktion mit Precision Farming als zentrale inhaltliche und technische Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaftlichen Landnutzung, Laufzeit 10/2004-3/2008; Fö-Kz. 0339740/2.

⁷ In diesem Bericht wird nicht durchgängig zwischen *pre agro* I und *pre agro* II unterschieden. Erfolgt keine Differenzierung zwischen den beiden Projektphasen, so beziehen sich in diesem Bericht Aussagen zu *pre agro* stets auf *pre agro* II.

6. Beurteilung der ökonomischen, volkswirtschaftlichen und ökologischen Wirkungen von flächenhaft umfangreicher Pflanzenproduktion mit Precision Farming auf betrieblicher, regionaler bzw. überregionaler Ebene,
7. Integration ausgewählter Informationsflüsse des landwirtschaftlichen Betriebes in die Wertschöpfungskette Lebensmittel zu Bewertungs- und Dokumentationszwecken.

2.2 Projektdurchführung

Das Verbundvorhaben *pre agro II* setzte sich aus 22 Teilprojekten zusammen, an denen insgesamt 26 Institute oder Arbeitsgruppen von 22 Einrichtungen beteiligt waren. Die Teilprojekte wurden von Partnern aus universitärer, außeruniversitärer und industrieller Forschung sowie von wissenschaftlich ausgerichteten Institutionen aus dem landwirtschaftlichen Sektor bearbeitet, die den Transfer aus Forschung und Entwicklung in die Praxis unterstützten. Zwei Partnerbetriebe (WIMEX, Baasdorf, Sachsen-Anhalt und Betrieb Täger-Farny, Volkmarisdorf, Niedersachsen) dienten als Experimentalbetriebe, auf deren Betriebsfläche einerseits pflanzenbauliche Versuche durchgeführt wurden, andererseits aber auch die anfallenden Echtdaten der Produktion zur Abbildung von Daten- und Informationsflüssen genutzt wurden.



Abbildung 1: Partner im Verbund *pre agro II* und Standorte ihrer Einrichtung in Deutschland

Figure 1: Partners within *pre agro II* and the sites of their institutions in Germany

Die in der Einleitung genannten Projektziele wiesen in der Projektdurchführung naturgemäß in hohem Maße mehrfache Überlappungen und Vernetzungen auf. Eine eindeutige Begrenzung der Aktivitäten

und ihrer Bedeutung bzw. Verwendung der Ergebnisse im Verbund konnte auf den Arbeitsebenen und den damit beschäftigten Teilprojekten des Verbundes nicht gezogen werden. Die fachlichen Schwerpunkte des Verbundprojektes wurden dennoch, vorwiegend aus Gründen der organisatorischen Übersichtlichkeit, zu Projektbeginn formal in vier inhaltliche Projektbereiche (PB) zusammengefasst (siehe Abbildung 2):

- PB 1: Integrationsebene Wertschöpfungskette
- PB 2: Informationsmanagement
- PB 3: Bestandes- und Standortcharakterisierung
- PB 4: Bestandesführung.

Innerhalb dieser Projektbereiche waren jeweils mehrere Teilprojekte angesiedelt, die fachspezifische Fragestellungen bearbeiteten oder spezielle Aufgaben im Projekt wahrnehmen. Vier Querschnittsprojekte (*Wirtschaftlichkeit*, *Transfer und Bildung*, *Projektkoordination* sowie *Projektinformationssystem*) bildeten Klammern zwischen den Projektbereichen.

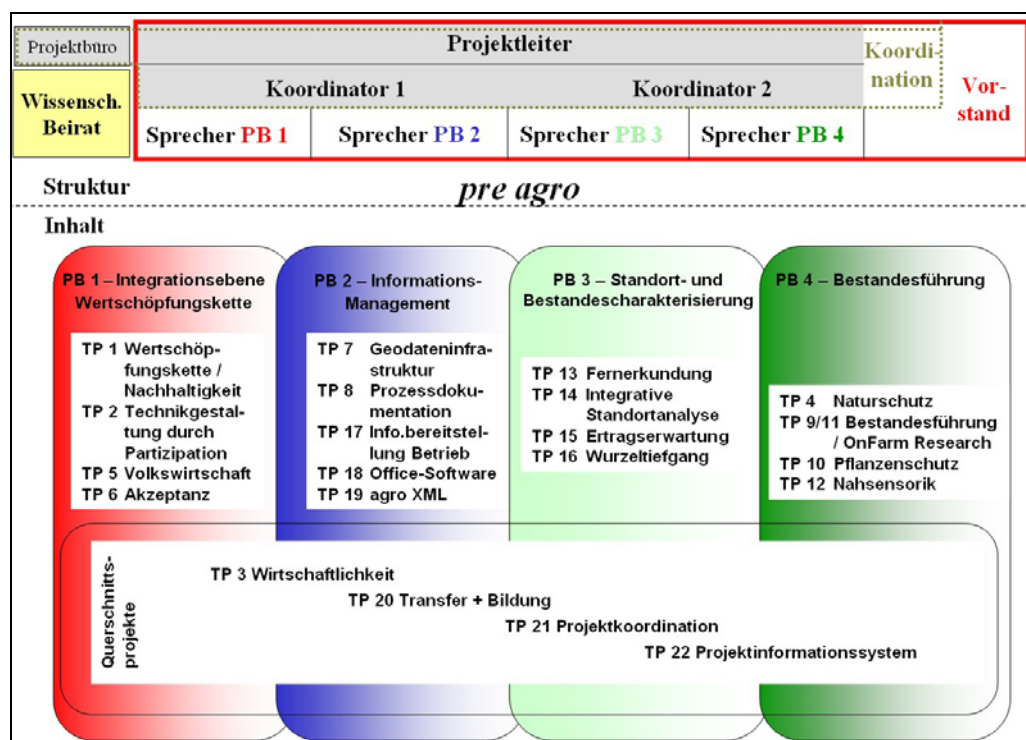


Abbildung 2: Projektstruktur von pre agro II

Figure 2: Project structure of pre agro II

Die Teilprojekte waren innerhalb der Projektbereiche inhaltlich und organisatorisch vernetzt und arbeiteten hier eng zusammen, kein Projektbereich war isoliert von den übrigen Bereichen bearbeitbar. Darüber hinaus existierten umfangreiche bilaterale Beziehungen zwischen den Teilprojekten zur Bearbeitung spezifischer Fachfragen. Diese starke Vernetzung wird in den Einzelbeiträgen in diesem Bericht häufig sichtbar.

Tabelle 1 gibt einen detaillierten Überblick über die Projektpartner im Verbund *pre agro II*. Zusätzlich werden Querverweise auf die Berichte der Teilprojekte und Querschnittsaufgaben dargestellt.

Tabelle 1: Projektbereiche, Teilprojekte, Institutionen und Leiter der Teilprojekte

Table 1: Project domains, subprojects, institutions and heads of subprojects

Projektbereich/Teilprojekt/Querschnittsprojekt		Institutionen	TP-Leiter	Kap.
PB 1: Integrationsebene Wertschöpfungskette				
TP 1	Nachhaltige Wertschöpfungskette Lebensmittel	DLG, Frankfurt/Main	L. Hövelmann	7.2
TP 2	Technikgestaltung durch Partizipation aus der Wertschöpfungskette	IÖW, Berlin	J. Hirschfeld	7.1
TP 5	Volkswirtschaftliche Analyse des Precision Farming	ZALF-SO, Müncheberg	K. Müller	6.2
TP 6	Akzeptanz des Precision Farming	Ruhr-Universität Bochum	C. Jürgens	8.1
PB 2: Informationsmanagement				
TP 7	Geodateninfrastruktur für Precision Farming	Univ. Rostock	R. Bill	5.1
TP 8	Integration automatischer Prozessdokumentation	TUM, Weihenstephan	H. Auernhammer	5.3
TP 17	Informationsverarbeitung im Betrieb	Agro-Sat	U. Wagner	5.4
TP 18	Standardisierung Office-Software	AGROCOM	K. Oetzel	5.5
TP 19	agroXML - standardisiertes Datenbeschreibungsformat für Precision Farming	KTBL, Darmstadt	F. Kloepfer	5.2
PB 3: Standort- und Bestandescharakterisierung				
TP 13	Modellunterstützte Analysen mit Fernerkundung	Vista GmbH, München	H. Bach	3.2
TP 14	Integrative Standortanalyse	ZALF-BF, Müncheberg	M. Sommer	3.1
TP 15	Modellgestützte Generierung von Ertragserwartungskarten	ZALF-LSA, Müncheberg	K.-O. Wenkel	3.3
TP 16	Potenzieller Wurzeltiefgang	Humboldt-Univ. Berlin	R. Herbst	3.4
PB 4: Bestandesführung				
TP 4	Naturschutzfachliche Bedeutung des Precision Farming	ZALF-LS, Müncheberg	G. Berger	6.3
TP 9	Integrierte Bestandesführung in Precision Farming; Betreuung der Projektexperimente (Querschnittsaufgabe)	ZALF-LS, Müncheberg, Versuchsbetriebe	A. Werner	4.1
TP 10	Teilflächen-Pflanzenschutz	ATB, Potsdam; ProPlant, Münster	K.-H. Dammer	4.3
TP 11	Betriebliche On-Farm Experimente im Precision Farming	Agricon	P. Leithold	4.2
TP 12	Nahsensorikmethoden bei Pflanzenkrankheiten	Univ. Hohenheim	S. Graeff-Hönninger	3.5
Querschnittsprojekte und Querschnittsaufgaben				
TP 3	Wirtschaftlichkeit des Precision Farming im Gesamtbetrieb	MLU Halle	P. Wagner	6.1
TP 20	Transfer und Ausbildung für Precision Farming	KTBL, Darmstadt	U. Klöble	8.2
TP 21	Inhaltliche Gesamtkoordination	ZALF-LS, Müncheberg	A. Werner	9.3
	Öffentlichkeitsarbeit	ZALF-LS, Müncheberg; Diva Enterprises; IÖW Berlin	Projekt-Koordination	9.2
TP 22	Projektinformationssystem	Univ. Rostock	P. Korduan	9.1

Die inhaltliche Zusammenarbeit innerhalb der Projektbereiche war zwischen den beteiligten Teilprojekten je nach fachlicher Notwendigkeit unterschiedlich intensiv. Dieser Bericht gliedert sich daher nicht nach den wissenschaftlich-methodisch definierten Projektbereichen, sondern stellt die anwendungsorientierten, inhaltlich-lenkenden Aspekte der Arbeiten in den Vordergrund. Zentrale Ergebnisse der Arbeiten der Teilprojekte werden im Anschluss in Kapitel 2.3 vorgestellt. Die fachliche Gliederung dieses Abschlussberichtes wird in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Fachliche Gliederung des Abschlussberichtes

Table 2: Technical outline of report's content

Kapitel	Teilprojekte	ab Seite
Grundlagen und Verfahren zur Datenbereitstellung für Precision Farming	12, 13, 14, 15 und 16	63
Erweiterung und Vereinfachung der Entscheidungsunterstützung in der Pflanzenproduktion bei Einsatz von Precision Farming	9, 10 und 11	221
Vereinfachung der Datenbereitstellung und des Informationsmanagements im Einsatz von Precision Farming	7, 8, 17, 18 und 19	291
Beurteilung der ökonomischen, volkswirtschaftlichen und ökologischen Wirkungen	3, 4 und 5	399
Integration von Informationsflüssen des landwirtschaftlichen Betriebes in die Wertschöpfungskette	1 und 2	527
Akzeptanz, Hemmnisse zu Precision Farming in der Praxis und Verbesserung des Transfers	6 und 20	575
Forschung und Entwicklung zu Precision Farming als transdisziplinärer Prozess	21 und 22	647

2.3 Ergebnisse

Die durch *pre agro II* erzielten wesentlichen Ergebnisse werden in diesem Abschnitt auf zwei Arten vorgestellt:

Für einen schnellen Überblick werden in Tabelle 3 die zentralen Ergebnisse in knapper Form aufgeführt (Abschnitt A). Diese Tabellendarstellung orientiert sich an der Gesamtstrukturierung des Berichts (siehe Tabelle 2) und ermöglicht (i) eine schnelle Orientierung über die wichtigsten Ergebnisse aus *pre agro II* bei gleichzeitig (ii) leichtem Auffinden spezifischer Informationen.

Im Anschluss an Tabelle 3 werden unter Abschnitt B die erreichten Ziele des Verbundprojektes *pre agro II* den angestrebten Ergebnissen aus dem Projektantrag detaillierter gegenüber gestellt.

A) Übersicht zentraler Ergebnisse von *pre agro* II in knapper Form

Tabelle 3: Zentrale in *pre agro* II erreichte ErgebnisseTable 3: Main results of *pre agro* II

Wichtigste Ergebnisse von <i>pre agro</i> II	TP	Ergebnisteil Kap. Nr.
GRUNDLAGEN UND VERFAHREN ZUR DATENBEREITSTELLUNG FÜR PRECISION FARMING		
Das räumliche Muster der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit des Bodens wird nicht nur durch teilflächenspezifische Körnungsunterschiede verursacht, sondern wird ebenso durch Landschaftsfaktoren wie Geologie (Kalk, Humus) und Relief sowie vom Landschafts-Stoffhaushalt gesteuert.	TP 14	3.1
Satelliten- und Befliegungsdaten schaffen Überblick, lassen Muster erkennen und Heterogenität von Standorten und Pflanzenbeständen abschätzen. Mit Hilfe von detaillierten Modellen lässt sich der aktuelle Bestandeszustand abbilden und eine Ertragsvorhersage modellieren. So kann Fernerkundung zur Maßnahmenentscheidung in Precision Farming beitragen.	TP 13	3.2
Als Grundlage für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung heterogener Ackerschläge wurde ein flexibles, für den Praktiker leicht beherrschbares Verfahren zur Ableitung teilflächenspezifischer Bewirtschaftungszonen und zur modellgestützten Ertragszielplanung entwickelt, welches Klima- und Standortparameter sowie Expertenwissen vor Ort über Fuzzy-Logic innovativ zusammenführt.	TP 15	3.3
Wurzeln haben vielfältige Aufgaben für die Sicherung des Pflanzenwachstums. Es wurden neue Methoden für die flächenhafte Abschätzung dieser verborgenen Organe von Nutzpflanzen entwickelt.	TP 16	3.4
Pflanzenkrankheiten können mittels geeigneter Sensorik in definierten Wellenlängenbereichen identifiziert werden. Für die technische Umsetzung in die Praxis ist insbesondere bei niedrigen Befallsituationen die räumliche Auflösung der Sensortechnologie entscheidend.	TP 12	3.5
ERWEITERUNG UND VEREINFACHUNG DER ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNG IN DER PFLANZENPRODUKTION BEI EINSATZ VON PRECISION FARMING		
Die Böden der Betriebe zeigen aufgrund hoher Bodenfruchtbarkeit geringe Reaktion auf die Höhe der Stickstoffdüngung, dies insbesondere unter Trockenheitsbedingungen während der Ertragsbildungsphase. Dementsprechend kann die Stickstoffdüngung von Getreide für Teilflächen in solchen Situationen nach Entzug erfolgen. Großparzellen mit betriebseigener Technik für On-Farm-Experimente liefern gleiche Ergebnismuster wie Exaktparzellenversuche.	TP 9	4.1
Es wurde ein konzeptionell-methodisches Regelwerk zur Planung, Durchführung und Auswertung von OFR-Versuchen (On-Farm-Research) erarbeitet und bei entsprechenden Versuchen in Praxisbetrieben zur Anwendung gebracht. Auf dieser Grundlage entstand ein Leitfaden, der in Form eines Praxishandbuchs potenziellen Versuchsanstellern in der betrieblichen Praxis zur Verfügung gestellt werden kann.	TP 11	4.2
Durch die Kombination von Informationen über das Infektionsgeschehen von Pilzkrankheiten (Prototyp: proPlant „expert.precise“) und über die von der Spritzbrühe zu benetzende aktuelle Pflanzenoberfläche (CROP-Meter-Sensor) konnte die Fungizidapplikation in Winterweizen ökonomisch und ökologisch weiter optimiert werden.	TP 10	4.3
VEREINFACHUNG DER DATENBEREITSTELLUNG UND DES INFORMATIONSMANAGEMENTS IM EINSATZ VON PRECISION FARMING		
Mit Hilfe von drei beispielhaften Anwendungsfällen wurde untersucht, welche Einsatzmöglichkeiten für Web-Services, insbesondere Normen und Standards des Open Geospatial Consortiums (OGC) aus dem Geoinformationsbereich zusammen mit Branchenstandards wie agroXML aus dem Agrarbereich, für die Automatisierung der Datenflüsse bzw. Datenverarbeitungsworkflows identifiziert werden können. Zusätzlich wurde die Arbeit der <i>pre agro</i> -Teilprojektes auf den Anwendungsschlägen und deren Datenflüsse modelliert, um die Basis eines allgemeinen Modells der Datenverarbeitung für PF zu erstellen.	TP 7	5.1

Wichtigste Ergebnisse von <i>pre agro II</i>	TP	Ergebnisteil Kap. Nr.
agroXML als standardisierte Sprache zum Austausch landwirtschaftlicher Daten über das Internet legt für Computer verständliche Datenstrukturen – sozusagen Vokabeln und Grammatik – fest. Durch <i>pre agro II</i> können jetzt Daten des Precision Farming in agroXML problemlos und automatisierbar zwischen verschiedenen Softwareprodukten und dabei auch Systemen verschiedener Hersteller ausgetauscht werden.	TP 19	5.2
Für die Informationsgewinnung aus der Arbeitserledigung mit Maschinen wurden Methoden entwickelt und technische Lösungen erprobt. Damit sind Prozessdaten als eine wichtige Datenquelle erschlossen und über die erarbeitete IT-Infrastruktur in Managementprozesse integrierbar.	TP 8	5.3
Es wurden Voraussetzungen für einen WebServices auf Seiten des Dienstleisters geschaffen, der den Landwirt in die Lage versetzt, Daten/Informationen von Dienstleistern zu nutzen. Das Agro-Sense® .NET Tool wurde entwickelt, das als neue Generation eines Farmmanagementsystems Verbindungsmöglichkeiten bei den Client-Server-Lösungen ermöglicht, um höheren Anforderungen an Inhalte (z. B. Verwendung XML) gerecht zu werden. Außerdem wurde ein Agro-Sense® OpenViewer zur Darstellung von geografischen Daten entwickelt.	TP 17	5.4
Im Rahmen von <i>pre agro</i> wurde eine universelle agroXML Schnittstelle geschaffen, die an jedes beliebige Farm-Management-System angekoppelt werden kann. Diese Schnittstelle ermöglicht den Austausch von Daten zwischen dem Landwirt und seinen unterschiedlichen Geschäftspartnern insbesondere unter dem Aspekt des Precision Farming. Exemplarisch wurde u. a. die Auftragsabwicklung mit landwirtschaftlichen Lohnunternehmern und die Flächenmeldung bei der Hagelversicherung realisiert.	TP 18	5.5
BEURTEILUNG DER ÖKONOMISCHEN, VOLKSWIRTSCHAFTLICHEN UND ÖKOLOGISCHEN WIRKUNGEN		
Precision Farming rechnet sich. Die teilflächenspezifische Feldbewirtschaftung ist ein bedeutender Schritt hin zu einer effizienteren Wirtschaftsweise. Werden auf den einzelnen Betrieb abgestimmte Methoden angewendet, ist ein Gewinn für alle, Betrieb, Umwelt und Gesellschaft erzielbar: so kann mit weniger Dünger und Pflanzenschutz ein höherer Ertrag erzielt werden.	TP 3	6.1
Auf den untersuchten Flächen macht die Einführung von PF aus volkswirtschaftlicher Sicht ab einem Schwellenwert des Indikators für die schlaginterne Heterogenität von 17 % Sinn. Unter der Annahme, dass die schlaginterne Heterogenität in Deutschland ähnlich der Heterogenität in den untersuchten Flächen ist, ergibt die Hochrechnung einen volkswirtschaftlichen Nettutzen der Einführung des PF auf allen Getreideflächen Deutschlands (ca. 6,7 Mio ha) zwischen 0,2 Mrd. € p.a. (Minimalwert) und 2,9 Mrd. € (Maximalwert), d.h. durchschnittlich ca. 200 €/ha p.a.	TP 5	6.2
Im Sinne des Schutzes von Ackerwildkräutern und Laufkäfern konnten keine positiven Auswirkungen durch die Anwendung betriebsüblicher Precision Farming Technologie nachgewiesen werden. Zielgerichtet angewendet (d.h. Standortpotenziale für Arten nutzen, Homogenität z. B. von Pflanzenbeständen aufbrechen, auf Anwesenheit von Individuen operativ reagieren), ist sie jedoch prinzipiell geeignet, mit geringem Aufwand wichtige Lebensräume für einzelne charakteristische Arten der Agrarräume schaffen zu können.	TP 4	6.3
INTEGRATION VON INFORMATIONSFÜSSEN DES LANDWIRTSCHAFTLICHEN BETRIEBES IN DIE WERTSCHÖPFUNGSKETTE		
Precision Farming weckt bei Verbrauchern, Handel und der Verarbeitungsindustrie überwiegend positive Erwartungen. Aus der Perspektive der Wertschöpfungskette „Lebensmittel“ werden der neuen Technik positive Potenziale insbesondere im Hinblick auf Lebensmittelsicherheit, Transparenz des Herstellungsprozesses sowie auf die Umwelt zugeschrieben. Kritisch betrachtet werden eine mögliche Beschleunigung des Strukturwandels sowie die noch fragliche Rentabilität für kleine und mittlere Betriebe.	TP 2	7.1
Der DLG-Nachhaltigkeitsstandard „Nachhaltige Landwirtschaft - zukunftsfähig“ wurde für landwirtschaftliche Betriebe entwickelt und dabei speziell für die Situationen und Datenbereitstellung mit Precision Farming angepasst. Damit lässt sich Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft messen, wird im Management operationalisierbar und über ein Zertifikat kommunizierbar. Kern des Standards ist ein Indikatorensystem, das die Nachhaltigkeit der Produktionssysteme bewertet, ein Nachhaltigkeitsprofil des Betriebes ermittelt und Optimierungspotenziale in der Produktion kenntlich macht. Die (semi-)automatische Bereitstellung von Daten für diese Indikatoren mit Techniken des Precision Farming wurde entwickelt und erprobt.	TP 1	7.2

Wichtigste Ergebnisse von <i>pre agro II</i>	TP	Ergebnisteil Kap. Nr.
AKZEPTANZ, HEMMNISSE ZU PRECISION FARMING IN DER PRAXIS UND VERBESSERUNG DES TRANSFERS		
Landwirte, die Precision Farming anwenden sind nach der Einstiegsphase zum überwiegenden Teil zufrieden und wollen weitere PF-Technik auf zusätzlichen Flächen anwenden. Eine bessere Ausbildung insbesondere junger Landwirte ergänzt durch eine intensivere Beratung, könnte bestehende Akzeptanzhemmnisse verringern und den Einstieg in Precision Farming Technologien erleichtern.	TP 6	8.1
Precision Farming besitzt in der Aus-, Weiterbildung und Beratung eine abgestufte Bedeutung. An Universitäten und Fachhochschulen ist es integraler Bestandteil der Lehre, während es an Fachschulen in deutlich geringerem Umfang und an Berufsschulen nur in Einzelfällen unterrichtet wird. Es wurden erste Materialien entwickelt und Fortbildungsveranstaltungen durchgeführt, um das bzgl. Precision Farming bestehende Informationsdefizit zu verringern.	TP 20	8.2
FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG ZU PRECISION FARMING ALS TRANSDISZIPLINÄRER PROZESS		
Unter Anwendungen der Erfahrungen und Ergebnisse aus dem Vorläuferprojekt wurde eine web-basierte Plattform bereitgestellt und fortlaufend dem Bedarf angepasst. Besonderer Wert wurde auf Geobasis- und Geofachdaten gelegt, da sie für viele Verbundpartner die Datenbasis stellten. In Zusammenarbeit mit Verbundpartnern konnten verschiedene Datenbestände durch den einheitlichen Gebrauch von Schnittstellen inhaltlich zusammengeführt und somit redundante und ggf. veraltete Daten vermieden werden. Die Untersuchung von Möglichkeiten zur mobilen Nutzung von Web-GIS und anderen standortbezogenen Informationssystemen lieferten Hinweise über zukünftige Formen mobiler Informationssysteme.	TP 22	9.1
Wichtige Projektergebnisse wurden kontinuierlich an die Fachöffentlichkeit und eine erweiterte Öffentlichkeit kommuniziert. <i>pre agro</i> war auf Messen und Feldtagen vertreten und richtete eigene Veranstaltungen aus. Die Projekthomepage war Drehscheibe der Kommunikation und wurde zunehmend angenommen. Ab 2007 wurde <i>pre agro</i> verstärkt in allgemeinen Medien (insbesondere Printbereich, aber auch Hörfunk und Fernsehen) wahrgenommen.	TP 21 /ÖA	9.2
Die inhaltliche Struktur des Verbundprojektes <i>pre agro II</i> ist deutlich vernetzt angelegt. Um dabei die Arbeiten der einzelnen Teilprojekte zu unterstützen, war es besonders erforderlich Reibungsverluste durch z. B. unzureichende fachliche Abstimmung, Doppelarbeit oder Terminverschiebungen zu verhindern. Als wesentliche Instrumente zur Lenkung, Koordination und Überprüfung des Arbeitsstandes innerhalb des Verbundprojektes dienten erfolgreich die Arbeiten in problemorientierten Arbeitsgruppen und auf Projektworkshops, sowie die regelmäßige Erstellung von Projektstatusberichten. Die inhaltliche und administrative Umsetzung der Koordination und Leitung des Verbundprojektes wurde durch ein Projektbüro im ZALF in Müncheberg wirksam unterstützt. Ein zusammenführendes, integratives Element der fachlichen Arbeit aller Teilprojekte war die Erprobung ihrer Erkenntnisse, Produkte und Services an ‚Anwendungsschlägen‘ im letzten Projektjahr. Die Entwicklung und Steuerung dieses Prozesses erfolgte partizipativ mit den Projektpartnern sowie den Betrieben und erfolgte unter Federführung der Projektkoordination.	TP 21	9.3

B) Detaillierte Darstellung zentraler Ergebnisse von *pre agro II*

Im Weiteren wird in kompakter Form dargestellt, welche Ergebnisse vom Forschungsverbund *pre agro II* laut Projektantrag angestrebt wurden und wie diese in der Projektarbeit dann tatsächlich erreicht wurden. Hierzu werden im weiteren jeweils die relevanten Textpassagen aus dem Projektantrag zitiert (kenntlich gemacht durch einen grauen Hintergrund) und die bezüglich diesem Ziel erreichten Ergebnisse dargelegt (dargestellt in normaler Schriftart).

Für detaillierte Darstellungen der Ergebnisse aus der Arbeit von *pre agro II* sind die ausführlichen Berichte der Teilprojekte heranzuziehen. Hierzu wird von den erreichten Ergebnissen auf die Fachbeiträge verwiesen.

1) Wissenschaftliche Methoden, analytische Modelle und erprobte Softwareprodukte für eine Verbesserung des Informationsmanagements im landwirtschaftlichen Betrieb zur Unterstützung bzw. Vereinfachung der Planung und Durchführung von Precision Farming

1a) Methoden und Software zum einfachen, ggf. automatisierten internetbasierten Informations-Retrieval aus heterogen strukturierten Datenbanken bzw. Informationssystemen (diverse Geo-Datenbasen (Standortdaten, Fernerkundung, div. geokodierte thematische Datenbanken etc.), betriebseigene Datenbanken, Datenbanken von Service-Anbietern, Datenbanken des Handels ...) sowie fachliche Interpretation (Verknüpfung, Transferfunktionen etc.) der Informationen und Daten zur Nutzung in Entscheidungssituationen bzw. Maßnahmengestaltung von Precision Farming.

- Lösungen für eine verbesserte Datenübertragung zwischen Komponenten, die für das innerbetriebliche Datenmanagement für Precision Farming (PF) und für den Datenaustausch zwischen den beteiligten Akteuren in PF erforderlich sind, wurden im TP 7 erarbeitet. Die Arbeit ist zweiteilig; einerseits wurden drei beispielhafte Anwendungsfälle ((i) Bodenbeprobung als Beispiel eines raumbezogenen Geschäftsprozesses, (ii) Kalkulation der Gesamt-N-Angabe für einen Schlag auf Basis der Vorjahrsertragsdaten und ggf. Bodendaten (Nmin-Werte) und (iii) die Erstellung prototypischer Managementzonen auf Basis beliebiger Eingabedaten wie Ertrag, Fernerkundung, ECa, usw.) untersucht, um Einsatzmöglichkeiten für Web-Services, insbesondere die Normen und Standards des Open Geospatial Consortiums (OGC) aus dem Geoinformationsbereich zusammen mit Branchenstandards wie agroXML aus dem Agrarbereich, für die Automatisierung der Datenflüsse bzw. Datenverarbeitungsworkflows zu identifizieren. Andererseits wurde die konkrete Arbeit der *pre agro*-Teilprojekte auf den Anwendungsschlägen und deren Datenflüsse modelliert, um die Basis eines allgemeinen Modells der Datenverarbeitung für PF zu erstellen (Kapitel 5.1).
- An der Universität Rostock (TP 7, TP 22) wurde für den Anwendungsfall „Bodenbeprobung“ ergänzend eine Mobilkomponente entwickelt, die die Koordinierung und Datenaufnahme auf den Schlägen vereinfacht. Durch ein in das Mobilgerät integriertes GPS lässt sich der Probenahmepunkt einfach auffinden. Eine Karte visualisiert die aktuelle Position, die Probenahmepunkte und die Umgebung. Die Probenahmestellen werden über die Web Feature Service-Schnittstelle direkt vom Server des Unternehmens angefordert. Sie können am Mobilgerät mit Attributdaten, z B. einer ID-Nummer, versehen werden, die direkt in den originären Datenbestand eingehen (Kapitel 5.1, Kapitel 9.1).
- Als Fortführung der Software für den mobilen Anwendungsfall wurde untersucht, inwieweit sich ein Web-GIS mobil nutzen lässt. Der Fokus dieser Untersuchung lag auf der Verwertung des Standortbezugs in Web-Anwendungen. Aufbauend auf vorhandenen Konzepten wurde ein für standortbezogene Web-Anwendungen geeignetes Modell erarbeitet. Ein erster Prototyp wurde auf dem Symposium für Angewandte Geoinformatik präsentiert. Es handelt sich um einen adaptierten Web-Browser, der Mechanismen zur Positionsermittlung enthält und die so gewonnenen Daten in die Kommunikation einbetten kann. Die Weiterführung dieser Entwicklung kann die Attraktivität von Web-GIS als standortbezogenes Informationsmedium für die mobile Verwendungen steigern (Kapitel 9.1).

1b) Methoden, konzeptionelle Modelle, Standards und Software zum Informations-Management zu Precision Farming im Gesamtbetrieb inkl. Metainformationssystem, Standardisierung von Merkmalen und Datenqualitäten sowie Methoden und Software für die Informationsverarbeitung zur Dokumentation von Prozessqualität und der erforderlichen Kommunikation mit externen Informationssystemen (Handel, Vertragspartner, öffentliche Administration ...)

- Im Rahmen von *pre agro* wurden mit Hilfe von agroXML, das einen Industriestandard auf Basis anerkannter Internettechnologien des W3 Consortiums darstellt, Lösungen entwickelt, um Belange des Precision Farming als Instrument einer informationsgeleiteten Pflanzenproduktion zu berücksichtigen. Dies beinhaltete zunächst die Schaffung einer Möglichkeit, raumbezogene Daten in entsprechenden Datentypen mit Bezug auf ein Koordinatenreferenzsystem darzustellen. Hierbei wurde auf die Geography Markup Language des OpenGIS Consortiums zurückgegriffen. Außerdem wurden im Rahmen der Anwendungsfälle die Bezüge zwischen nicht raumbezogenen Objekten und raumbezogenen Objekten und deren Eigenschaften hergestellt und in XML Schema abgebildet (Kapitel 5.2).
- Durch die Erarbeitung von agroXML-Schnittstellen für das Precision Farming wurden übergreifende Auswertungen, z. B. zur Nachhaltigkeit der Produktion, möglich (Kapitel 5.2, Kapitel 5.5, Kapitel 7.2).
- Ein wichtiger Aspekt war das Vorantreiben der Standardisierung von agroXML – insbesondere die Internationalisierung. Um eine Kommunikationsgrundlage im internationalen Umfeld zu haben, wurden die bislang in der deutschen Sprache vorgehaltenen agroXML-Element- und Datentypennamen in den Schemadateien ins Englische übertragen. 2007 wurde ein internationaler Workshop veranstaltet, auf dem Netzwerke zwischen Akteuren im Bereich des landwirtschaftlichen Datenaustausches geknüpft und weitere Schritte auf dem Weg zu einem internationalen Standard festgelegt werden konnten (Kapitel 5.2, Kapitel 5.2.2.4).
- Eine wichtige Rolle zur Generierung aussagekräftiger Informationen spielen Prozessdaten, die bei der Arbeitserledigung mit Maschinen gewonnen werden können und kostengünstige, ergiebige Datenquellen darstellen. Für die Verarbeitung dieser Daten und ihre Integration in die inner- und überbetrieblichen Informationsflüsse bieten Webservices die besten Voraussetzungen. Deshalb wurde im TP 8 ein landwirtschaftlicher Prozessdatenservice entwickelt und implementiert. Anhand der Teilprojekt-übergreifenden Anwendungsfälle wurde die vorgeschlagene Infrastruktur für das Datenmanagement getestet (Kapitel 5.3).
- Maschinendaten werden automatisiert und georeferenziert erfasst und zu einem Server übertragen. Dort werden sie verarbeitet und analysiert. In einem Datenverarbeitungsprozess werden aus den Rohdaten logische Maßnahmen, d.h. zusammengehörende Arbeitsvorgänge gebildet. Dazu wurden geeignete Algorithmen zur Datenverarbeitung entwickelt. Der Zugriff erfolgt zum einen über eine Webseite, die auch einen Download im standardisierten Datenformat agroXML oder die Visualisierung in einem WebGIS bzw. in Google Earth zulässt. Zum anderen existiert eine Webserviceschnittstelle. Das Abrufen der Daten über einen entsprechenden Client wurde durch das TP 18 realisiert. Ein Prototyp der agrocom-Schlagkartei AGRO-NET NG kann so Daten von Maßnahmen abrufen. Sie werden in der Weise, wie es der Landwirt von der Schlagkartei gewohnt ist, angezeigt und weiterverarbeitet (Kapitel 5.3).
- Die vorgeschlagene Infrastruktur konnte prototypisch implementiert und mit mehreren Anwendungsfällen getestet werden. Sie nutzt das heute in der Informationstechnik forcierte Konzept der Service Orientierten Architektur (SOA). Mit dem landwirtschaftlichen Prozessdatenservice kann eine wichtige Datenquelle erschlossen werden und die resultierende Information in die betrieblichen Informationsflüsse integriert werden (Kapitel 5.3).

- Bei ISO 11783 beschreibt Teil 10 den ‚Task Controller‘ als Schnittstelle zwischen Maschine und Betriebsmanagement, der unter anderem automatische Auftragsbearbeitung und Dokumentation von Prozessdaten erlaubt. Durch die Entwicklung eines prototypischen ‚Task Controllers‘ im TP 8 erfolgte im Rahmen von *pre agro* eine der ersten Implementierungen von ISO 11783 Teil 10. Im Gegensatz zu anderen Prototypen erfolgt die Datenerfassung durch diesen Task Controller automatisch und kontinuierlich (und nicht erst durch seine zusätzliche Aktivierung). Durch die praktische Entwicklung im TP 8 gab es Rückkopplungen auf den Normierungsprozess. So wurde z. B. die Erfassung von Daten zur Zugkraft auf Antrag der TU München durch das Normungsgremium diskutiert, ist aber bisher (Stand 22.4.2008) noch nicht im Standard enthalten (Kapitel 5.3).
- Für Software-Programme von Landwirtschaftsbetrieben wurden Konzepte und Schnittstellen als Teil eines Informationssystems für eine nachhaltige Landwirtschaft entwickelt (Kapitel 5.5).
- Für die Ackerschlagkartei AGRO-NET wurden Importschnittstellen für verschiedene agroXML-Dokumente entwickelt und implementiert. Diese dienen als erste Beispiele für einen auf ISO 11783 basierenden Transfer von Prozessdaten von einem Server in eine Ackerschlagkartei (Kapitel 5.5).
- Für Belange des Precision Farming wurden räumliche Daten in verschiedenen Ebenen der agroXML-Dokumente integriert und die Verbindung zu bestehenden räumlichen Daten in Ackerschlagkarteien optimiert (Kapitel 5.5).
- Um eine Implementierung von agroXML-Dokumente in verschiedene Ackerschlagkarteien zu ermöglichen, wurde eine allgemein verwendbare Bibliothek mit Serialisierungsklassen für Elemente in agroXML-Dokumenten konzipiert und implementiert. Diese kann in jeder Software verwendet werden, die Microsoft.NET verwenden kann (Kapitel 5.5. Kapitel 5.5.3.2).
- Die Bibliothek konnte erfolgreich eingesetzt werden, um beispielhaft verschiedene Anwendungsfälle zu implementieren (Kapitel 5.5. Kapitel 5.5.2.4):
 - Anwendungsfall REPRO – Bestimmung ökologischer Nachhaltigkeitsindikatoren (in Zusammenarbeit mit TP 1)
 - Anwendungsfall Flächenanmeldung Hagelversicherung
 - Anwendungsfall Erstellung Applikationskarte
 - Anwendungsfall Auftragsplanung und –dokumentation.

2) Wissenschaftliche Methoden, Modelle und erprobte Softwareprodukte zur Unterstützung von Entscheidungsfindungen in der Planung, Durchführung und ökonomisch-ökologischen Beurteilung von Precision Farming

2a) Methoden, Modelle und Software zur Ableitung von räumlich abgrenzbaren Bewirtschaftungseinheiten - die für vorgegebene Zielvariablen als homolog eingestuft werden können - anhand von verfügbaren bzw. ausgewählten Daten und Informationen zum Schlag und für vorzuziehende Bewirtschaftungsansätze bzw. pflanzenbauliche Maßnahmen / Maßnahmenbündel

- Für konkrete Teilflächen innerhalb von landwirtschaftlichen Schlägen wurden realistische Ertragsziele für die nächste Vegetationsperiode bestimmt (TP 15). Die Methode zur Generierung von Ertragszielkarten, bei der auf das Spatial Analysis and Modeling Tool (SAMT), einer im Institut für Landschaftssystemanalyse des ZALF in Müncheberg entwickelten Open-Source-Software zurückgegriffen wird, lässt sich in drei Stufen unterteilen. Im ersten Schritt wird der durchschnittliche standortabhängige Ertrag des gesamten Schlages ermittelt. Im zweiten Schritt erfolgt eine Korrektur des ermittelten durchschnittlichen Gesamtschlagertrages, um Vorfrucht- und Sorteneffekte berücksichtigen zu können. Im dritten Schritt wird dann der teilflächenspezifische Ertrag bestimmt. Hierfür wird die räumliche Ausprägung von Parametern, die die teilflächenspezifische Ertragsbildung beeinflussen, ermittelt (Kapitel 3.3).
- Eine fein gerasterte Ertragszielkarte lässt sich in der landwirtschaftlichen Praxis jedoch kaum einsetzen. Hier sind zonierte Karten, die an die betriebsspezifische Arbeitsbreite angepasst sind, sehr viel einfacher einzusetzen. Deshalb wurde in Zusammenarbeit mit Teilprojekt 7 eine Methode entwickelt, die es erlaubt, die in der fein gerasterten Ertragszielkarte enthaltenen Informationen zu aggregieren und dem Nutzer als zonierte Ertragszielkarte im Vektorformat zur Verfügung zu stellen. Das entwickelte Verfahren wurde in zwei landwirtschaftlichen Betrieben (WIMEX Agrarprodukte GmbH, Sachsen-Anhalt und Täger-Farny, Groß Twülpstedt, Niedersachsen) erprobt und mit anderen Verfahren verglichen. Dabei konnte die generelle Anwendbarkeit des entwickelten Verfahrens nachgewiesen werden. Weitere Arbeiten sind jedoch erforderlich, um eine breite Praxisanwendbarkeit und Übertragbarkeit in unterschiedlichen Anbauregionen zu sichern (Kapitel 3.3, Kapitel 5.1).
- In einem weiteren Anwendungsfall des TP 7 wurde gezeigt, wie unterschiedliche Datenarten und -quellen in einer GDI-PF (Geodateninfrastruktur für Precision Farming) eingebunden werden können, um den Einstieg in die teilschlagspezifische Landwirtschaft zu erleichtern. Management-Zonen können erstellt werden, um Flächen mit ähnlichen Eigenschaften zu identifizieren und danach für eine oder mehrere Applikationen gleich zu behandeln. Ein Beispiel hierfür ist das 3-Zonen-Modell, wobei die Zonen auf Basis des Ertrages erstellt werden (Kapitel 5.1.3.3).
- Weitere, bereits vorhandene und ggf. von externen Dienstleistern angebotene Daten, wie z. B. Fernerkundungsdaten, Bodendaten und digitale Geländemodelle können ebenfalls eingesetzt werden, auch noch bevor ein Landwirt eine Ertragskartierung oder weitere PF-Methoden nutzt (Kapitel 5.1.3.3).
- Es wird davon ausgegangen, dass nur prototypische Zonen automatisch generiert werden können. Der Landwirt muss danach seine Kenntnisse nutzen oder vor Ort bestimmen, ob die resultierenden Zonen sinnvoll sind und ggf. die Zonengrenzen verschieben oder Zonen zusammenlegen (Kapitel 5.1.3.3).
- Die einzelnen Schritte zur Generierung der Management-Zonen sind als WPS-Dienste (WPS = Web Processing Service, ein OGC Standard) implementiert. Um die Nutzung der Dienste zu demonstrieren, wurde eine Internet-basierte Clientanwendung entwickelt (Kapitel 5.1.3.3).

2b) Methoden, Konzepte, Modelle und Software zur Ableitung von pflanzenbaulichen Bewirtschaftungsprinzipien (Integrierte Bestandesführung) für verschiedene Ausgestaltungspfade von Precision Farming bei Einbeziehung jeweils im Ausgestaltungspfad verfügbarer ergänzender Informationen [mehrere relevante Fruchtarten, Fruchtfolgeberücksichtigung und gesamtbetriebliche Betrachtung]

- Um teilflächenspezifischen Reaktionsfunktionen für die Wirkung unterschiedlicher Stickstoffgaben zu erarbeiten, wurden umfangreiche Feldexperimente mit systematisch variierten Stickstoffgaben angelegt. In jedem Versuchsjahr wurden unter anderem Großparzellen (ca. 3.600 m² bis zu 4.800 m²) und Kleinparzellen (Druschfläche 30 m²) etabliert. Diese Versuchsanlagen basierten jeweils auf sieben Stickstoffstufen – von 30 bis 210 kg N/ha –, die seitens der Faktorstufen orthogonal auf den Ertragszonen (Managementzonen) des Betriebes angelegt wurden. Die Ergebnisse dieser Kombinationen waren in allen Jahren sehr einheitlich: die Erträge nahmen nur wenig bei steigendem Stickstoffangebot zu. Bei den höheren N-Gaben sanken sogar teilweise die Erträge. Diese Reaktionsmuster wurden sowohl bei den Klein-, als auch bei den Großparzellen gefunden. Das Niveau der Erträge variierte entsprechend der Ertragszonen (abgeleitet mit der Methodik aus dem pre agro I Projekt). Die ertragsbegrenzende Wasserversorgung der Region, modifiziert durch die Wasserspeicherfähigkeit der Standorte (Ertragszonen) der Ackerflächen dieses Betriebes spiegelt sich dadurch deutlich wieder. Eine Wechselwirkung zwischen dem Faktor ‚Niveau der Ertragszone‘ und dem Faktor ‚N-Düngung‘ kann aber in den Untersuchungsjahren nicht nachgewiesen werden. Aus pflanzenbaulicher Sicht ist es deshalb ‚richtig‘, eine entzugsorientierte N-Düngermenge der Teilflächen anzustreben, die sich an der Ertragshöhe ausrichtet. Die Kenntnis der Lage und Güte der Ertragszonen dienen somit als sehr wichtige Informationen für die Entscheidungsfindung im Pflanzenbau dieser Standorte (optimale N-Düngermenge) und bringen dabei sowohl einen ökonomischen, als auch ökologischen Nutzen (Kapitel 4.1).
- Zur Reduzierung der Fungizidapplikationen wurde im TP 10 ein hybrides Applikationssystem entwickelt (siehe unten). Ziel war eine zusätzliche Einsparung an Fungiziden sowie eine zeitliche Optimierung des Bekämpfungstermins. Durch den Einsatz des hybriden Systems im Vergleich zur schlageinheitlichen Fungizidapplikation konnten Einsparungen von bis zu 32,6 % erreicht werden. Demgegenüber ergab die CROP-Meter-Variante eine Verminderung der Applikationsmenge bis zu 20,3 %. In allen Feldversuchen konnte kein stärkeres Krankheitsauftreten in den Prüfgliedern der zwei teilflächenspezifischen Verfahren gegenüber den einheitlich behandelten beobachtet werden. Die Ertragsauswertung ergab keine eindeutige Ertragsüberlegenheit eines der getesteten Verfahren (Kapitel 4.3).

2c) Methoden, Konzepte, Modelle und Software zur Beschaffung der notwendigen Daten und die Ableitung von Produktionsfunktionen (oder Borderlines, oder Grenzbereiche ...) als Grundlage für die ökonomisch-ökologisch optimale Maßnahmengestaltung in Abhängigkeit von Standorteigenschaften (Potentiale, Risiken) in der Planung und Durchführung von Precision Farming [Methoden und Software zum Informationsretrieval aus betrieblichen und externen Informationssystemen, On-Farm Experimenten, Data-Mining etc.]

- Für die Visualisierung von geografischen Daten wurde der frei verfügbare Agro-Sense® Open-Viewer als Anwendungstool für einen landwirtschaftlichen Betrieb entwickelt. Der Viewer bietet neben der Anzeige vorhandener lokaler Daten die Möglichkeit durch die Nutzung von Open Geospatial Consortium (OGC)-Services (WMS = Web Map Service, WFS = Web Feature Service) vorhandene Geofachdaten (Schlaggrenzen, Applikationskarten, Luftbilder usw.) sowohl innerhalb der vorhandenen Software (FarmManagementSystem) als auch in Kombination mit anderen Anbietern/Projekten zu nutzen. Webservice wie Yahoo-Maps und Microsoft Virtual Earth können ebenfalls genutzt werden (Kapitel 5.4, Kapitel 5.4.3.1).

- Das Abspeichern ausgewählter Daten als Sessions ermöglicht einen schnellen und effizienten erneuten Zugriff, eine sachbezogene Organisierung der Informationen ist leicht möglich. Ein Ordnungsprinzip kann beispielsweise Geltungsdauer von Informationen sein:
 - allgemeingültig (z. B. topographische Karten),
 - längerfristig (z. B. Management-Unit-Karten),
 - jahresbezogen (z. B. Schlaggrenzen, Ertragskarten),
 - saisonal / fachlich (Bodenuntersuchungspunkte, Satellitenbilder, Karten von applizierten Düngermengen) (Kapitel 5.4.3.1).
- Als Entscheidungsgrundlage für den betrieblichen und überbetrieblichen Einsatz, aber auch zur Abschätzung des volkswirtschaftlichen Nettonutzens ist die schlagspezifische Heterogenität eine wichtige Einflussgröße, anhand derer eingeschätzt werden kann, ob sich der Einsatz der Precision Farming Technologie auf einem bestimmten Standort (Feld, Schlag) lohnt oder nicht. In der deutschen Literatur ist bisher kein allgemein gültiger und in der Praxis der Landwirtschaft verbreiteter „Standard“ auszumachen, der die Heterogenität im Schlag („schlaginterne Heterogenität“) auch in ökonomischer Hinsicht beschreibt. Um den Nettonutzen einer Einführung von Precision Farming in Beziehung zu seiner schlaginternen Heterogenität bringen zu können und daraus Aussagen ableiten zu können, wurde in TP 5 ein schlagspezifischer und ökonomisch verknüpfter Heterogenitätsindikator (HEI) entworfen (Kapitel 6.2, Kapitel 6.2.3.2).
- Auf Basis des Heterogenitätsindikators HEI und dessen exemplarischen Schwellenwerten für einen volkswirtschaftlich lohnenswerten Einsatz von Precision Farming im Landbau konnten in einem weiterführenden Ansatz Precision Farming-Potentialflächen für Ostdeutschland abgeschätzt werden. Grundlage der regionalen Schätzung ist die einfache Übertragbarkeit des HEI. Mit Hilfe des Ertragsschätzungsmodells (KINDLER 1992, MIRSCHEL et al. 2006), welches auf der Mittelmaßstäbigen Standortkartierung (SCHMIDT & DIEMANN 1991) für Ostdeutschland basiert, konnten die geschätzten Erträge auf regionaler Skala (Ostdeutschland) ermittelt werden. In einem zweiten Schritt ist dann diese Ertragsschätzung mit Verwaltungskarten für Ostdeutschland (Daten von 2001) verknüpft worden, so dass der Variationskoeffizient der Erträge (HEI) für jede Gemeinde errechnet werden konnte (Kapitel 6.2, Kapitel 6.2.3.3).

2d) Methoden, Konzepte und Erkenntnisse in der Planung, Anlage und Durchführung von On-Farm-Datenerhebungen bzw. Experimenten im Precision Farming-Betrieb zur kontinuierlichen Gewinnung von Daten- und Informationsgrundlagen für die Erzeugung der Produktionsfunktionen (bzw. Boderlines, Grenzwerte etc.); Aufbau von betrieblichen und regionalen Datenbanken zur Bereitstellung von Produktionsfunktionen (...) bzw. deren Grunddaten [u. a. Integration in ISIP⁸]

- Im Teilprojekt „Betriebliche On-Farm Experimente im Precision Farming“ (TP 11) wurde ein konzeptionell-methodisches Regelwerk zur Planung, Durchführung und Auswertung von On Farm Research (OFR)-Versuchen erarbeitet und bei entsprechenden Versuchen in Praxisbetrieben zur Anwendung gebracht. Auf dieser Grundlage entstand ein Leitfaden, der in Form eines Praxishandbuchs potenziellen Versuchsanstellern in der betrieblichen Praxis zur Verfügung gestellt werden kann. Zudem wurde herausgearbeitet, in welcher Weise OFR-Versuche zur Bestimmung und praktischen Nutzung von verbesserten Produktionsfunktionen im Ackerbau füh-

⁸ ISIP – Informationssystem integrierte Pflanzenproduktion; Informations- und Entscheidungsunterstützungsplattform von Landwirtschaftskammern und LW-Landesministerien (www.ISIP.de)

ren können. Dabei muss neben der räumlichen auch die zeitliche Varianz der Versuchs- und Restfaktoren hinreichend berücksichtigt werden. OFR und Precision Farming bilden eine gemeinsame Grundlage für eine dynamische Optimierung der ackerbaulichen Produktionsfunktionen, die sich aus einer sowohl kleinräumigen als auch sachgemäß zeitnahen Anpassung an die Eigenschaften von Standort und Pflanzenbestand ergibt (Kapitel 4.2).

2e) Konzepte, Informationsmodelle und Standardvorgaben für (semi-)automatisierte Erfassung von Standort-, Bestandeszuständen und Produktqualitäten sowie Methoden zur Analyse dieser Monitoringdaten für innerbetriebliche Verwendung (Wirkungsuntersuchung Maßnahmengestaltung; innerbetriebliches Qualitätsmanagement) sowie zur Erfüllung externer Anforderungen (Dokumentation von Prozessqualität der Produktion im Bereich Vertragsanbau, Nachweis ‚Guter fachlicher Praxis‘, Rückverfolgbarkeit etc.)

- Wie bereits oben erläutert, stellen Prozessdaten, die beim Einsatz von Precision Farming Technologien zunehmend gewonnen werden können, eine ergiebige Datenquelle dar. Deshalb wurde im TP 8 ein landwirtschaftlicher Prozessdatenservice entwickelt und implementiert. Anhand der Teilprojekt-übergreifenden Anwendungsfälle wurde die entwickelte Infrastruktur für das Datenmanagement getestet. Maschinendaten werden automatisiert und georeferenziert erfasst und zu einem Server übertragen. Dort werden sie verarbeitet und analysiert. In einem Datenverarbeitungsprozess werden aus den Rohdaten logische Maßnahmen, d.h. zusammengehörende Arbeitsvorgänge gebildet. Dazu wurden geeignete Algorithmen zur Datenverarbeitung entwickelt. Der Zugriff erfolgt zum einen über eine Webseite, die auch einen Download im standardisierten Datenformat agroXML oder die Visualisierung in einem WebGIS bzw. in Google Earth zulässt. Zum anderen existiert eine Webserviceschnittstelle. Das Abrufen der Daten über einen entsprechenden Client wurde durch das TP 18 realisiert. Ein Prototyp der AGROCOM-Schlagkartei AGRO-NET NG kann so Daten von Maßnahmen abrufen. Sie werden in der Weise, wie es der Landwirt von der Schlagkartei gewohnt ist, angezeigt und weiterverarbeitet. Maschinendaten erfassen z. B. die ausgebrachten Dünger- oder Pflanzenschutzmittel, darüber hinaus können über Sensoren auch Daten zur Biomasse (Sensoren, Pendel) über den Prozessdatenserver erfasst und verarbeitet werden (Kapitel 5.3).
- Für die inhaltliche Entwicklung des Instruments der Nachhaltigkeitsanalyse ist effiziente Erhebung von Nachhaltigkeitsindikatoren im Betrieb von Bedeutung. Dazu werden die Potenziale von Precision Farming im Hinblick auf die automatische Erfassung von Bewirtschaftungsinformationen (u. a. Prozessdaten) für die Berechnung von ökologischen Indikatoren genutzt. Mit der Erweiterung des agroXML Schemas in Zusammenarbeit mit weiteren Teilprojekten in *pre agro* wurde ein standardisiertes Datenaustauschformat für die Übertragung von Nachhaltigkeitsinformationen entwickelt. Mit agroXML können nun für die Nachhaltigkeitsanalyse relevante Informationen und Ergebnisse der Nachhaltigkeitsanalyse zwischen dezentralen Datenverarbeitern ausgetauscht werden (Kapitel 7.2).
- Für die Betriebsführung wurde in Teilprojekt 1 Nachhaltigkeit anhand ökologischer, ökonomischer und sozialer Indikatoren operationalisiert. Grundlage für die Indikatorenauswahl ist die Nachfrage nach Nachhaltigkeitsinformationen in der Wertschöpfungskette Lebensmittel und der Relevanz der Informationen für die betriebliche Nachhaltigkeitsanalyse. Die Indikatoren analysieren die Nachhaltigkeit von Landwirtschaftsbetrieben in den Bereichen Ressourcennutzung und -effizienz, Einfluss auf die Biodiversität, Klimaschutz, Arbeitsbedingungen von Angestellten, gesellschaftlichen Leistungen, Qualitätssicherung der Rohstoffe sowie Liquidität, Rentabilität und Stabilität der Produktion. Mit den Indikatoren wird das Nachhaltigkeitsprofil des Betrie-

bes erhoben. Die Indikatorauswertungen geben Hinweise über Stärken und Schwächen des Betriebes und sind die Grundlage für Produktionsoptimierungen. Sie können außerdem eine wichtige Kommunikationsebene mit der Wertschöpfungskette Lebensmittel und anderen Stakeholdern bilden. Darüber hinaus sind die Indikatoranalysen die Basis für die Nachhaltigkeitszertifizierung von Landwirtschaftsbetrieben (Kapitel 7.2, Kapitel 7.2.3).

- Von den befragten Akteuren entlang der Wertschöpfungskette Lebensmittel werden durch Precision Farming positive Nachhaltigkeitseffekte erwartet, und außerdem die Möglichkeit gesehen, Informationen über den Prozess der landwirtschaftlichen Produktion in größerer Menge und Qualität bereitstellen zu können (Kapitel 7.1).
- Bei Verbrauchern stellen die Schlüsselkriterien Lebensmittelsicherheit, Transparenz und Nachhaltigkeit dabei relevante Bezugspunkte dar. Aus Sicht der befragten Verbraucher kann Precision Farming zur Umsetzung von mehr Transparenz beitragen, auch zu mehr Lebensmittelsicherheit. Der mögliche Beitrag zum Umweltschutz wird nachrangig eingestuft. Spezifische Anforderungen formulieren die Verbraucher vor allem mit Blick auf die Erzeuger und Verarbeiter der Lebensmittel (im Hinblick auf die Produktqualität) sowie bezogen auf staatliche Akteure (im Hinblick auf die Lebensmittelsicherheit) (Kapitel 7.1, Kapitel 7.1.3).
- Bei der Durchführung von auf eine bestimmte Produktgruppe fokussierten Produktpanels konnten Akteure aus allen Stufen der Wertschöpfungsketten an einen Tisch gebracht werden. Dies ermöglichte die Erörterung kettenübergreifender Fragestellungen und die eingehende Diskussion der Schnittstellenproblematik im Bezug auf die Weitergabe von Produkt- und Prozessinformationen. Dabei wurden neue, in der bisherigen Literatur noch nicht behandelte Probleme identifiziert – wie beispielsweise die Rolle der Lagerhaltung im Zusammenspiel mit Erntetechnik und Prozessdatendokumentation. Zur Lösung dieser Probleme bietet Precision Farming vielversprechende Ansätze, es müssen aber bei der weiteren Technikentwicklung jeweils die ganz spezifischen, kritischen Anforderungen der einzelnen Akteure entlang der Wertschöpfungskette berücksichtigt werden, um beispielsweise ein Abreißen des Dokumentationsflusses zu vermeiden und die Potenziale für die Qualitätssicherung voll auszuschöpfen (Kapitel 7.1, Kapitel 7.1.3.6).

3) Grundlagenerkenntnisse, Methoden, Daten und Modelle für die praktische Anwendung von Precision Farming

3a) Methoden zur flächenhaften Ermittlung wesentlicher Standort- und Bestandeseigenschaften als Voraussetzung zur Identifikation von Bewirtschaftungseinheiten und zu Ableitung von Ertragspotentialen bzw. Bewirtschaftungsrisiken (insbes. Merkmale: pot. Wurzeltiefgang, lateraler Wasserhaushalt im Gelände, Bestandesdichte)

Flächenhafte Ermittlung von Standorteigenschaften

- Die Auswertung von räumlich interpolierten EC_a -Karten konnte bislang nur schlagbezogen vorgenommen werden. Über ein neu entwickeltes geostatistisches Verfahren können nun die messtechnischen Diskontinuitäten an Schlaggrenzen (bedingt durch veränderte Bedingungen bei Messungen an verschiedenen Terminen) soweit reduziert werden, dass sich EC_a -Karten benachbarter Schläge (und deren Nachbarn) zusammenführen und gemeinsam interpretieren lassen – mit dem Effekt einer deutlichen Aufwands- und Kostenreduktion (Kapitel 3.1, Kapitel 3.1.2.5).
- Das integrierende Signal der EC_a ist ein Summenparameter, der von unterschiedlichen Standortparametern beeinflusst wird. Eine Auswertung von 75 WIMEX-Standorten unter Verwendung der multivariaten Regressionsanalyse („linear mixed-effects“ Modell) zeigte überraschenderweise einen signifikanten und dominanten Einfluss der organischen Substanz auf das EC_a -Signal, gefolgt vom Karbonat- und erst dann dem Tongehalt. In einer weiteren Modellvariante können drei von sechs geologischen Einheiten mit signifikantem Einfluss identifiziert werden. Beide Modelle erbringen keinen Nachweis für die Wirkung von Reliefparametern auf das EC_a -Signal. Die Präsenz von Horizonten mit hydromorphen Merkmalen als kategoriale Variable führt zu erhöhten EC_a -Werten (Kapitel 3.1.3.1).
- Im Verlauf einer Vegetationsperiode spiegelt sich die zeitlich integrierende Wirkung von Standortsheterogenität (bodenbedingte Wasser- und Nährstoffversorgung) in der Bestandesentwicklung wider. Mit Hilfe hochauflösender, multispektraler Fernerkundungsdaten kann der Standortindikator „Pflanze“ über Modellrechnungen quantitativ erfasst und flächenscharf abgebildet werden. Für sechs Getreideschläge (Winterweizen und Triticale) wurden der effective LAI (LAI_e) über ein semi-physikalisches Modell und, aus dem LAI_e abgeleitet, die trockene Biomasse flächenhaft modelliert. Die Berechnung der trockenen Biomasse erfolgte über die statistische Beziehung zum modellierten LAI_e . Mit den LAI_e -Modellierungen auf Basis von Fernerkundungsdaten konnte somit die oberirdische Biomasse flächenhaft abgebildet werden (Kapitel 3.1).
- Bodenverdichtungen, besonders im Bereich der Pflugtiefe, können ertragsmindernd wirken. Mit dem VERIS 3000 Profiler wurden Messungen des Durchdringungswiderstandes (D_w) an Standorten mit detaillierten Bodeninformationen und Messungen der oberirdischen Biomasse in beiden Betrieben durchgeführt. Auf Standorten aus sandigem Ausgangsmaterial kann ein positiver Zusammenhang zwischen D_w und Sandgehalten sowie der Lagerungsdichte festgestellt werden. Negative Beziehungen bestehen zum Ton- und Schluffgehalt. Das Ergebnis der multiplen Regressionsanalyse weist die Faktoren Mittelsand, Lagerungsdichte und Gehalt an organischer Substanz als dominante Einflußgrößen auf D_w aus. Auf den schluffigen und tonigen Standorten konnten keine signifikanten Zusammenhänge festgestellt werden (Kapitel 3.1, Kapitel 3.1.3.3).
- Für die Untersuchung der Einflussfaktoren auf das Pflanzenwachstum wurden die gewichteten Mittelwerte der Sand-, Schluff- und Tongehalte bis in 90 cm Tiefe mit den D_w -Werten in der Krumbasis kombiniert. Die integrative Auswertung liefert nur für die sandigen Substrate ei-

nen signifikant positiven Zusammenhang zwischen normierter Biomasse und den Bodenparametern Tongehalt, Gehalt an organischer Substanz und Dw (Kapitel 3.1, Kapitel 3.1.3.3).

Flächenhafte Ermittlung von Bestandeseigenschaften:

- Auf der Basis von Fernerkundungsdaten (spektrale Messungen) wurden die Bestandesparameter grüner Blattflächenindex, Anteil seneszenten Materials und Blattwinkelverteilung erfolgreich abgeleitet. Dazu wurde eine Inversion des Strahlungstransfermodells SLC, das die Reflexion eines Pflanzenbestandes simuliert, eingesetzt. Durch schrittweise Anpassung der Bestandesparameter wurden dabei die modellierten Reflexionswerte für jedes Pixel an die gemessenen angepasst und damit eine kalibrierte räumliche Verteilung der Bestandesparameter ermittelt (Kapitel 3.2).
- Diese modellgestützte Analyse ermöglicht eine quantitative Auswertung, die unabhängig von Indizes und Regressionen ist, und damit auch eine regionale Übertragbarkeit der Ergebnisse (Kapitel 3.2).
- Im zweiten modellgestützten Schritt wurde eine Assimilation der gewonnenen Bestandesinformationen in das Wachstumsmodell PROMET-V durchgeführt. In diesem Modell wird der tägliche Anstieg der Biomasse unter Berücksichtigung der meteorologischen Verhältnisse und der Bodenbedingungen simuliert. An den Zeitpunkten der Fernerkundungsaufnahmen können dabei die abgeleiteten Bestandesparameter als aktuelles Update verwendet werden. Hierdurch finden auch Prozesse Beachtung, die in der Modellierung ohne zusätzliche Information über den Bestand sonst nicht berücksichtigt werden könnten. Das Ergebnis dieser Modellierung sind aktuelle Ertragsziele, die als Entscheidungsgrundlage in der Maßnahmengestaltung bei Precision Farming verwendet werden können (Kapitel 3.2).

Wurzelwachstum:

- Wurzelwachstum bestimmt in hohem Maße, wie Pflanzen Bodenressourcen in Wachstum umwandeln. Ziel des Teilprojektes 16 war, ein weithin genutztes Pflanzenmodell zur Simulation von Wurzelwachstum (CERES-Wheat) im Kontext von Precision Farming zu validieren, in dem die Variabilität der Faktoren Bodenwasser- und Stickstoffverfügbarkeit bekannt ist. Verschiedene Daten (u. a. Wurzel-Längen-Dichte, Bodenwasserdaten, Biomasseentwicklung, Ertrag u. a.) dienten als Grundlage für die Validation. Weiterhin wurde ein GIS-gestütztes Raummodell für die hochauflösende Bereitstellung von Bodenparametern und -funktionen entwickelt, die als Eingangsdaten für Pflanzenwachstumsmodelle notwendig sind. CERES-Wheat war zwar in der Lage, die zeitlichen Änderungen des Bodenwassergehaltes und deren Effekte auf die Wurzellängendichte ungefähr abzubilden, die Vorhersage der absoluten Werte war jedoch nicht zufriedenstellend. Diese schwache Simulationsqualität auf Punktebene war für eine hochqualitative Extrapolation in die Fläche unter den Richtkriterien, die für eine Anwendung im Precision Farming erfüllt werden müssen, nicht ausreichend. Hierfür ist sowohl weitere grundlagen- als auch anwendungsorientierte Forschung nötig (Kapitel 3.4).

3b) Methoden, Erkenntnisse und Modelle zur Analyse der Befallssituation bzw. -erwartung der Pflanzenbestände mit relevanten Schaderregern (phytopathogene Pilze) sowie Methoden, Prinzipien und Konzepte zu deren Regulation

Innerhalb der Bestandesführung stellt der Pflanzenschutz einen Kostenfaktor mit hohem Optimierungspotenzial dar. Eine Reduktion der Aufwendungen bei Pflanzenschutzmittelapplikationen bringt ökonomische und ökologische Vorteile. Bei der Befallssituation von Pflanzenbeständen mit relevanten phytopathogenen Pilzen, wurde in *pre agro* sowohl ein grundlagenorientierter Ansatz zur frühzeitigen Erfassung von Schaderregern als auch ein anwendungsorientierter Ansatz zum optimierten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln verfolgt. Beide Ansätze verfolgen das Ziel, die Mengen applizierter Pflanzenschutzmittel deutlich zu reduzieren.

Grundlagenorientierter Ansatz:

- Aktuelle Entwicklungen im Bereich optische Sensoren zeigen, dass Blattkrankheiten unter Feldbedingungen erkannt werden können. Ziel des TP 12 war es, in einem ersten Schritt die für eine sensorgestützte Identifizierung von Pflanzenkrankheiten notwendigen Grundlagen zu entwickeln, Wellenlängenbereiche zu identifizieren in denen eine eindeutige Detektion unterschiedlicher Erreger möglich ist und darauf aufbauend mögliche Kalibrierungen für die Realisierung einer praxistauglichen Onlinetechnik zu erstellen. Hierzu wurde in Gewächshaus- und Feldversuchen der Einfluss der Krankheiten *Erysiphe graminis* (Mehltau), *Septoria tritici* (Blattdürre) und *Pseudocercospora herpotrichoides* (Halmbruch) auf die Reflexion von Winterweizen untersucht (Kapitel 3.5)
- Die Ergebnisse aus den Gewächshausversuchen zeigten, dass für die Krankheit Mehltau die Wellenlängenbereiche 516-540 nm und 540-600 nm zur frühen Identifizierung geeignet sind. Dabei war der sichtbare Wellenlängenbereich besser geeignet als der Infrarotbereich. Für diese Bereiche konnte eine enge Beziehung zwischen Befall und Reflexionsänderung erzielt werden, die eine Quantifizierung des Mehлтаubefalls ermöglichte (Kapitel 3.5.3).
- Für die Krankheiten Septoria und Halmbruch hingegen konnten in den Gewächshausversuchen keine Wellenlängenbereiche identifiziert werden, da hier eine Mischinfektion bzw. ein zu geringer Befall vorlag, um Reflexionsänderungen eindeutig den Krankheiten zuzuordnen (Kapitel 3.5.3).
- In den Feldversuchen konnte zusammenfassend festgestellt werden, dass eine Identifikation von Mehltau unter Feldbedingungen mit der digitalen LEICA S1 Pro Kamera und dem Field Spec® Hand Held ab einem Befall > 5 % möglich ist. Die Reflexion änderte sich im sichtbaren und im infraroten Wellenlängenbereich. Die Ergebnisse der Feldversuche deckten sich damit mit denen der Gewächshausversuche (Kapitel 3.5, Kapitel 3.5.3).
- Des Weiteren ließ sich feststellen, dass Reflexionsänderungen unter Septoriabefall vor allem im infraroten Bereich auftraten. Wie auch in anderen Versuchen bestätigt, ließ sich Septoria in einem frühen Infektionsstadium bei einem Befall > 3 % erkennen (Kapitel 3.5).

Anwendungsorientierter Ansatz

- Ziel der Arbeiten im TP 10 war, das Expertensystem proPlant „expert.classic“ so zu modifizieren, dass es Fungizidmengenempfehlungen für vorher festgelegte Managementzonen erstellt und in Form einer teilflächenbasierten Applikationskarte exportiert. Durch die Kombination des neu entwickelten Prototyps proPlant „expert.precise“ mit dem online-Sensor CROP-Meter wur-

de die technische Lösung eines hybriden Applikationssystems für die teilflächenspezifische Fungizidapplikation in Winterweizen geschaffen. Ziel war eine zusätzliche Einsparung an Fungiziden sowie eine zeitliche Optimierung des Bekämpfungstermins. Der Testphase mit umfassenden Funktions- sowie Schwachstellenanalysen im Jahr 2006 folgten im Versuchsjahr 2007 Streifenversuche auf drei Praxisflächen. Dabei konnten durch Einsatz des hybriden Systems im Vergleich zur schlageinheitlichen Fungizidapplikation Einsparungen von bis zu 32,6 % erreicht werden. Demgegenüber ergab die CROP-Meter-Variante eine Verminderung der Applikationsmenge bis zu 20,3 %. In allen Feldversuchen konnte kein stärkeres Krankheitsauftreten in den Prüfgliedern der zwei teilflächenspezifischen Verfahren gegenüber den einheitlich behandelten beobachtet werden. Die Ertragsauswertung ergab keine eindeutige Ertragsüberlegenheit eines der getesteten Verfahren (Kapitel 4.3).

4) Wirkungsanalyse und Transfer bei umfangreichem Einsatz von Precision Farming

4a) Methoden, Modelle und Ergebnisse in Analyse der Wirkung von Precision Farming auf:

1. *Wirtschaftlichkeit der Pflanzenproduktion (Gesamtbetriebsmaßstab)*
2. *Volkswirtschaftliche Bedeutung von Precision Farming bei flächenumfangreichem Einsatz*
3. *Regionale Naturschutzqualitätsziele von Precision Farming*

Wirtschaftlichkeit der Pflanzenproduktion

- Die Kosten des Precision Farming ergeben sich aus dem verwendeten Ansatz sowie der jährlichen Flächenauslastung. Dabei gilt, dass je mehr teilschlagspezifische Technologien in einem Betrieb Anwendung finden, die Kosten für die einzelne Technologie durch die gemeinsame Nutzung von beispielsweise räumlich hoch aufgelösten Informationen sinken (Kapitel 6.1).
- Break-Even Betrachtungen wurden einzeln für die teilflächenspezifische Grund- und Stickstoffdüngung sowie für eine Kombination von teilflächenspezifischer Aussaat, Grund- und Stickstoffdüngung durchgeführt (Kapitel 6.1).
- Bei einer Grunddüngung auf 300 Hektar pro Jahr müsste der jährliche Mehrertrag nach einer Bodenbeprobung im 5-ha-Raster (3-ha-Raster, 1-ha-Raster) bei 8,43 €/ha (9,03€/ha; 11,66 €/ha) liegen. Das Erreichen dieses Mehrertrages scheint durchaus realistisch zu sein, widerspiegelt er bei einem Produktpreis von 15 Euro pro Dezitonne (100 kg) Getreide beispielsweise einen notwendigen Mehrertrag von weniger als einer Dezitonne pro Jahr (Kapitel 6.1, Kapitel 6.1.3.3).
- Für die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung wurde für zwei verschiedene Precision Farming Strategien berechnet bei welchem Flächeneinsatz mit 50%iger Wahrscheinlichkeit bei zwei verschiedenen Preisszenarien (Szenario I: mittlere Kosten von 0,6 €/kg N, mittlerer Produktpreis 100 €/t; Szenario II: mittlere Kosten von 0,7 €/kg N, mittlerer Produktpreis 150 €/t) ein positives Betriebsergebnis erreicht wird. Im ersten Preisszenario liegt die Break-Even Schwelle bei 353 bzw. 407 Hektar jährlichen Einsatzumfanges für die Strategien „Sensor“ bzw. „Netz“. Im Preisszenario II sinkt die Break-Even Schwelle auf 344 Hektar für beide Strategien (Kapitel 6.1, Kapitel 6.1.3.3).
- Bei der Kombination von teilflächenspezifischer Aussaat, Grund- und Stickstoffdüngung wird im Preisszenario II die Break-Even-Schwelle bei 254 bzw. 231 ha für die Strategien „Sensor“ bzw. „Netz“ erreicht. Damit wird die Break-Even Schwelle allein durch die Kostenteilung mit anderen Technologien um ca. 100 Hektar vorgezogen (Kapitel 6.1, Kapitel 6.1.3.3).

- Umfragen unter Precision Farming Anwendern zeigten, dass die indirekt bewertbaren Leistungen der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung mit zu berücksichtigen sind. Teilweise wurde ihnen von den Anwendern der größere positive Effekt gegenüber den monetär direkt bewertbaren Leistungen zugeordnet (Kapitel 6.1, Kapitel 6.1.3.2).
- Aus den Feldversuchen wird deutlich, dass nicht alle differenzierenden Strategien automatisch zu positiven Ergebnissen führen. Es muss hier auf die große Bedeutung des Vorhandenseins angepasster Entscheidungsregeln hingewiesen werden. Es kann also nicht generell gesagt werden, dass alle Precision Farming Strategien immer besser sind als eine flächeneinheitliche Bewirtschaftung. Es bedarf auf den Standort abgestimmter Entscheidungsregeln hoher räumlicher Auflösung (Kapitel 6.1).

Volkswirtschaftliche Bedeutung:

- Ziel der volkswirtschaftlichen Analyse des Precision Farming ist es quantitativ untermauerte Aussagen bzgl. einer staatlichen Förderung der Precision Farming-Technologie zu treffen. So sind über die Methode der Nutzen-Kosten-Analyse alle relevanten Projektwirkungen, die im Vergleich Einführung von Precision Farming im Landbau und Nicht-Einführung Precision Farming im Landbau entstehen, identifiziert worden. Die Quantifizierung der direkten Wirkungen erfolgte am Beispiel der „Wulfen-Studie“ (Region Köthen, Sachsen-Anhalt). Für die indirekten Umweltwirkungen ist in einem ersten Schritt eine naturschutzfachliche Bewertung von Umweltgütern auf der Basis von Experteneinschätzungen (am Beispiel der „Wulfen-Studie“) erfolgt. Im zweiten Schritt wurden den einzelnen indirekten Umweltwirkungen monetäre Studienwerte aus der Literatur zugeordnet (benefit transfer). Nach Prüfen der Sensitivität und Erfassung der Intangibles zeigt die Gegenüberstellung der Nutzen und Kosten des Precision Farming, dass der Nettonutzen von +31,42 €/ha bis zu +446,69 €/ha variiert (Kapitel 6.2).
- Unter der Annahme, dass die Ergebnisse der Fallstudie Wulfen repräsentativ für andere Regionen in Deutschland sind, erfolgte die Hochrechnung des Nettonutzen/ha über Daten aus der Statistik 2006. So ergibt sich ein volkswirtschaftlicher Nettonutzen einer Einführung von Precision Farming auf allen Getreideflächen der BRD von 0,211 Mrd. € bis zu 2,994 Mrd. € (Kapitel 6.2, Kapitel 6.2.3.4).

Regionale Naturschutzqualitätsziele

- Auf standörtlich heterogenen Ackerflächen mit betriebsüblicher Bewirtschaftung wurde ein Monitoring der Laufkäfer (Carabidae) und der Segetalvegetation auf den Projektbetrieben durchgeführt. Die Teilflächenbewirtschaftung auf den standörtlich heterogenen Ackerflächen hatte keine statistisch eindeutig nachweisbaren Wirkungen auf die Gruppe der Carabidae und die Segetalvegetation. Die Analysen ergaben, dass eher die standörtlichen Unterschiede als die geringe Variation in Aussaat und Düngung zwischen den untersuchten Teilflächen die Artenzusammensetzung und -verteilung auf den Ackerflächen beeinflussen (Kapitel 6.3).
- Hinsichtlich der Aufwertung von homogenen dichten Wintergetreideflächen als Lebensraum für Feldvögel wie die Feldlerche, wurden jeweils auf einer Hälfte des Ackerschlaes systematisch verteilt kleinflächige Areale während der Aussaat ausgelassen. Diese so genannten Defektflächen sollten als Brut- und Nahrungshabitate dienen. Unter den auf den untersuchten Ackerflächen gegebenen Bedingungen hinsichtlich des Kulturpflanzenbestandes konnte keine positive Wirkung der Teilfläche mit Defektflächen gegenüber der Referenzfläche ohne Defektflächen ermittelt werden. Als Ursachen werden vor allem die für Feldlerchen bereits günstigen Habitat-

voraussetzungen durch die niedrigere Bestandesdichte sowie die bewirtschaftungsbedingt teilweise sehr breiten Fahrspuren angenommen (Kapitel 6.3.3).

- Die aus den Untersuchungen abgeleiteten Trends sowie Ergebnisse aus Voruntersuchungen stützen jedoch die Hypothese, dass der gezielte Einsatz und Nutzen von Precision Farming Technologien ein hohes Potenzial für den Naturschutz bietet (Kapitel 6.3).

4b) Grundlagen, Konzepte und Ergebnisse in der Förderung der Integration einer komplexen Technologie in die landwirtschaftliche Praxis aus Sicht der Erfüllung von Zielen einer nachhaltigen Entwicklung der Landnutzung – am Beispiel des Precision Farming – (folgendeleitete Technologieentwicklung, Integration in die Wertschöpfungskette Lebensmittelerzeugung als wesentliche Voraussetzung einer 'Nachhaltigen Entwicklung der landwirtschaftlichen Landnutzung')

1. *Methoden, Konzepte und Ergebnisse in der Akzeptanzerhöhung bei Unternehmern, Beratern, Handelsstufen, Konsumenten*
2. *Methoden, Konzepte und Ergebnisse in der Akzeptanzerhöhung im überbetrieblichen Einsatz*

- Obwohl die Zahl der Nutzer im Zeitraum von 2001 bis 2007 langsam angestiegen ist, deuten Umfrageergebnisse unter Landwirten an, dass nach wie vor Akzeptanzhemmnisse gegenüber Precision Farming existieren (Kapitel 8.1).
- Insbesondere während der Einstiegsphase haben viele Nutzer von PF Techniken mit verschiedenen Problemen zu kämpfen. Nach Überwindung dieser Anfangsschwierigkeiten ist jedoch der Großteil der interviewten Landwirte zufrieden mit der Einführung (Kapitel 8.1).
- Viele Landwirte warten noch mit einem Einstieg in PF, da sie von den hohen Investitionskosten für die Technik abgeschreckt sind (Kapitel 8.1).
- Precision Farming ist an einem Großteil der landwirtschaftlichen Berufs- und Fachschulen nach wie vor nicht Gegenstand der Ausbildung (siehe folgenden Absatz). Eine ähnliche Situation zeigt sich im Bereich der landwirtschaftlichen Officialberatung, die meisten Berater bieten keine Beratung im Bereich PF an. Die Ergebnisse der Befragung der Industrie geben die Ergebnisse aus den zuvor genannten Befragungen wieder (Kapitel 8.1).
- Während alle Hochschulen im Agrarbereich Precision Farming in unterschiedlichem Umfang in den vergangenen Jahren in die Ausbildung der Studenten integriert haben, wurde es 2005 in den Berufsschulen nur in einem geringen, an den Fachschulen in einem deutlichen Umfang unterrichtet. Besonders bei den Berufsschulen, aber auch an den Fachschulen fehlte es an den Fachkenntnissen der Lehrer und an geeignetem Lehrmaterial (Kapitel 8.2).
- Als praxisreife Module von PF, die für Transfermaßnahmen geeignet sind, wurden Parallelfahrssysteme, Ertragskartierung im Getreidebau, Einsatz von PDAs in der Außenwirtschaft und die teilflächenspezifische Düngung identifiziert (Kapitel 8.2, Kapitel 8.2.3.3).
- Es wurden zielgruppenspezifische Weiterbildungsbildungskonzepte entwickelt und erprobt. Für relevante Schlüsselgruppen wurden anwendergerechte Materialien erstellt. Die entwickelten Transfermaterialien wurden von den Zielgruppen positiv aufgenommen (Kapitel 8.2, Kapitel 8.2.3.4).
- Um den Erfolg dieser Transferaktivitäten zu erfassen und zu verbessern, wurden die Nutzer dieser Maßnahmen auf der Basis wissenschaftlicher Theorien und Modelle befragt. Es zeigte sich, dass nicht nur das Wissen, sondern auch der wahrgenommene Nutzen, und hier besonders die

Wirtschaftlichkeit und Funktionssicherheit, für die positive Einstellung zu PF ausschlaggebend sind. Die im Projekt erstellten Transfermaßnahmen wurden nur von einem kleinen Teil der befragten Landwirte und von einem Drittel der befragten Experten genutzt. Wenn sie genutzt wurden, wurde ihre Qualität als sehr gut eingeschätzt (Kapitel 8.2).

- Die Erfahrungen aus den Transferaktivitäten wurden für den Praxis-Forschungs-Dialog genutzt, um die praktische Realisierung der informationsgeleiteten Pflanzenproduktion zu unterstützen. Dafür wurden in einem Expertenworkshop mit Vertretern der Landmaschinenindustrie, der Wissenschaft, Beratung und Praxis die fördernden und hindernden Faktoren im Diffusionsprozess PF diskutiert. Deutlich wurde, dass der Schlüssel für eine weitere Verbreitung von PF nicht nur in der Ausbildung, Information und Beratung liegt. Mindestens genauso wichtig sind wirtschaftliche Aspekte sowie die Verbesserung der Kompatibilität zwischen den Maschinen, Geräten und Software durch bessere Standardisierungen (Kapitel 8.2, Kapitel 8.2.3.6).

2.4 Diskussion aus Sicht des Projektverlaufs

Die Bedeutung von Precision Farming für die Landwirtschaft wurde durch die Forschungsarbeiten von *pre agro* sowie anderen Projekten in den vergangenen Jahren immer deutlicher. Im engeren Sinne verbessern die Techniken des Precision Farming die Genauigkeit bei Planung und Durchführung von pflanzenbaulichen Maßnahmen. Außerdem erweitern diese Techniken das betriebliche Management der landwirtschaftlichen Unternehmen mit einer neuen Informationsvielfalt. Genaue, immer einfacher verfügbare Daten unterstützen Planung, Dokumentation und Entscheidungsfindung. Die mit Precision Farming verbundene Dokumentation von Produktionsprozessen ermöglicht eine bessere Kommunikation und kann dadurch zunehmend Ansprüche von Verbrauchern und Handel hinsichtlich der Prozessqualität besser befriedigen. Wesentliches Grundprinzip einer solchen „informationsgeleiteten Pflanzenproduktion“ ist eine standort- und bestandesbezogene, ökonomische sowie umweltorientierte Landnutzung.

Zu diesen Aspekten – Standort, Bestände, Informationsmanagement, Ökonomie, Wertschöpfungskette – konnte *pre agro II* wesentliche Forschungsbeiträge liefern, deren Ergebnisse in diesem Abschlussbericht dokumentiert werden. Die Dynamik in diesem Bereich wird durch die rasche Einführung von Parallelfahrssystemen bzw. automatischen Lenksystemen in die landwirtschaftliche Praxis in den vergangenen Jahren unterstrichen. Diese rasche Entwicklung und insbesondere die hohe Akzeptanz, die Parallelfahrssysteme in kurzer Zeit unter Praktikern erreichten, konnte bei der Projektplanung noch nicht abgesehen werden. Die so erreichte Situation unterstützt die Einführung von Precision Farming mittelfristig, da diese Fahrhilfesysteme, die immer mit einem GPS ausgerüstet sind, vielen Landwirten den Einstieg in weitere informationsgeleitete Techniken erleichtern werden.

Es wird in der Praxis immer deutlicher erkennbar, dass Precision Farming nicht eine spezielle Technologie bzw. ein explizit definiertes Managementsystem ist, sondern Precision Farming stellt eine Vielfalt von Pfaden und Optionen in der Analyse, Entscheidungsfindung und Gestaltung der pflanzenbaulichen Maßnahmen auf den genutzten Flächen dar. Man kann deshalb davon ausgehen, dass Techniken, die z. Zt. noch mit dem Begriff „Precision Farming“ verbunden werden, diese Sonderrolle künftig mehr und mehr verlieren werden. Es ist zu erwarten, dass stattdessen die Techniken und Prinzipien, die mit Precision Farming assoziiert werden, zunehmend in die am Markt gängigen Geräte, Software, Dienstleistungen, Anbauempfehlungen etc. eingebunden werden und damit die gängige Pflanzenproduktion in umfassenden Maße erweitern werden.

2.5 Diskussion aus Sicht des Nachhaltigkeitsdiskurses

Im Weiteren erfolgt eine Zusammenschau der Ergebnisse von *pre agro II* bei Erörterung aus Sicht von Aspekten der nachhaltigen Entwicklung. Die fachlichen Detailergebnisse sind dem Kapitel 2.3 sowie den jeweils eigenen Kapiteln der Teilprojekte zu entnehmen, auf konkrete Kapitelverweise wird allerdings zur Erhöhung der Lesbarkeit hier verzichtet. Teilweise werden im Folgenden auch inhaltliche Rückgriffe auf Ergebnisse von *pre agro I* vorgenommen, teilweise gehen die vorgelegten Einschätzungen auch über die Ergebnissituation von *pre agro I* bzw. *pre agro II* bewusst hinaus.

Precision Farming und seine Prozessintegration

Precision Farming (PF) ist ein Sammelbegriff für neue Produktionstechniken im Pflanzenbau, die intensiv und häufig sehr umfassend spezifische Daten über den Standort und den Pflanzenbestand nutzen. Dabei liefern spezielle Erhebungen, Sensoren sowie Ortungstechniken zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Informationen von Boden und Pflanzenbestand. Diese fließen durch besondere Informationssysteme zusammen und können aufgrund spezieller Methoden und Techniken in einer bisher nicht möglichen Form analysiert und inhaltlich verknüpft werden. Der Landwirt nutzt derartige Informationen direkt oder indirekt bei seinen pflanzenbaulichen Aktivitäten und kann damit für seine strategischen, taktischen wie operativen Entscheidungen auf sehr weitgehende und umfassende Daten sowie deren Interpretationen zurückgreifen. Precision Farming stellt damit die Gesamtheit aller Erkenntnisse, Methoden und technischen Entwicklungen dar, die in ihrem praktischen Einsatz die ackerbauliche Produktion informationsgeleitet umfassend und in bisher noch nicht verfügbarer Form unterstützen können. Die Möglichkeiten der gezielten Erbringung von Umweltleistungen sowie die einfache Dokumentation von Maßnahmen erlauben in hohem Maße die Berücksichtigung von Ansprüchen aus der Gesellschaft allgemein und der Wertschöpfungskette speziell.

Werden bei dieser Entwicklung die relevanten Informationen inhaltlich und organisatorisch auf der Betriebsebene über alle Flächen, Produktionsverfahren und Fruchtfolgen verknüpft, dann wird der Begriff des Precision Farming zu einer umfassenden Bezeichnung für alle technischen und informationstechnischen Bereiche einer informationsgeleiteten landwirtschaftlichen Produktion. Diese informationsgeleitete Unterstützung der Produktion ist dabei für jegliche programmatische Bewirtschaftungsweise des landwirtschaftlichen Pflanzenbaus einsetzbar.

Leistungen der PF-Techniken für die Nachhaltigkeit

Aufgrund der noch unzureichenden wissenschaftlichen Methodenentwicklung zur Quantifizierung, Bewertung und Operationalisierung im Nachhaltigkeitsdiskurs ist es schwierig, den Zustand von Nutzungssystemen hinsichtlich des Grades an Nachhaltigkeit exakt zu ermitteln und auch über mehrere Untersuchungen hinweg zu vergleichen. Dementsprechend ist es auch nur begrenzt möglich, die Bedeutung von verschiedenen Techniken der Produktion – hier speziell des Precision Farming – im Nachhaltigkeitsdiskurs als Gesamtwirkung darzustellen.

Die PF-Techniken erbringen im Wesentlichen zu allen wichtigen Indikatoren aus der Nachhaltigkeitsbewertung von landwirtschaftlicher Bodennutzung positive Verbesserungen unterschiedlichen Grades.

So kann mit PF-Techniken, die wirtschaftliche Situation der Produktion in der Regel verbessert werden. Ursächlich sind teilweise kleine, aber konsistente naturale Ertragsvorteile, aber insbesondere Einsparungen an Betriebsmitteln (Dünger, Pflanzenschutzmittel, Treibstoffe) und Kosten der Arbeitserledigung. Erhebliche wirtschaftliche, aber nicht monetär bewertbare Vorteilswirkungen gegenüber bis-

herigen Bewirtschaftungssystemen ohne PF-Techniken entstehen durch besseres Management der Pflanzenproduktion bzw. der damit verbundenen Betriebsorganisation. Ursächlich sind die umfangreichen Informationsflüsse, die bessere Planungsgrundlagen für den guten Pflanzenbauer und zudem ihm höhere Planungssicherheit bieten.

Die ökologischen Wirkungen der PF-Techniken sind insbesondere im stoff- und energiebezogenen Bereich plausibel und auch in den meisten Fällen (insbesondere Pflanzennährstoffe) belegt. Durch Einsparung von Dünger auf weniger ertragswirksamen Standortbereichen des Schlages sowie von Pflanzenschutzmitteln bei Teilflächen des Pflanzenbestandes mit geringerem Schutz- oder Behandlungsbedarf gelangen weniger dieser Stoffe in die Agro- und Landschaftsökosysteme und führen dort nicht bzw. zu geringeren Belastungen. Ein Integrierter Landbau mit PF-Techniken in der N-Düngung kann spürbare Verringerungen des N-Austragspotenzials erreichen (WINDHORST et al. 2004). Die Einsparung an Treibstoffenergie ist besonders hoch bei teilflächendifferenzierter Bodenbearbeitung (SOMMER & VOBHENRICH 2004). Mit PF-Techniken können standort- und situationsabhängig sehr hohe Minderungswerte bei den auszubringenden Mengen an Pflanzenschutzmitteln (insbesondere Herbizide) sowie bei Wachstumsregulatoren erreicht werden (z. B. GERHARDS & SÖKEFELD 2003).

Auch für die in der Regel nur befriedigende Leistung aller Bewirtschaftungsweisen der Pflanzenproduktion für die agrarlandschaftstypischen Pflanzen- und Tierarten können die PF-Techniken einige Vorteilswirkungen erreichen. Insbesondere die Minderung der stofflichen Belastung (Nährstoffeinträge mit den Eutrophierungsfolgen sowie Pflanzenschutzmittelwirkung bei Nichtzielorganismen) kann positive Wirkungen auf die Lebensraumqualität für die Arten haben. Die Möglichkeiten, mit PF-Techniken gezielt differenzierte ökologische Zustände bzw. physiko-chemische Gradienten zu schaffen bietet ein noch nicht ausreichend untersuchtes Potenzial an Möglichkeiten der positiven Gestaltung von Lebensräumen in der agrarisch genutzten Fläche. Die Wirkung der PF-Techniken auf die Biodiversität ist insgesamt noch nicht genügend ermittelt. Sie dürfte aber in einigen Fällen ausreichen, um bei Integriertem Landbau ähnliche Wirkungen auf die Lebensraumqualität von Ackerflächen zu erreichen wie im Ökologischen Landbau. Der Ökolandbau selber kann voraussichtlich durch Einsatz von PF-Techniken zusätzliche positive Effekte in seiner Wirkung auf die Biodiversität erzielen.

Die sozialen Effekte des Precision Farming sind noch nicht vollständig untersucht. Durchaus kritisch zu sehen ist die langfristig arbeitsplatzmindernde Wirkung einer solchen Technik (wie fast jeder anderen Gerätetechnik). In den nächsten Jahren dürften diese informationsgeleiteten und damit in der Regel managementintensiveren Techniken noch einen etwas höheren, mindestens aber gleichen Arbeitskräftebedarf haben wie die konventionellen, flächeneinheitlichen Bewirtschaftungen.

Nicht unerhebliche positive soziale Effekte sind bei Einsatz von PF-Techniken durch Bedarf an höherem Ausbildungsniveau bei Landwirt, Dienstleister und teilweise auch dem Bedienpersonal zu sehen. Auch die Attraktivität eines High-Tech-Berufes kann positive soziale Effekte auf die Beschäftigungssituation im ländlichen Raum haben. Hierzu sind aber noch umfangreiche Entwicklungen in den Basis-Ausbildungsbereichen vorzunehmen. Geeignetes Lehr- und Schulungsmaterial wurden entwickelt und umfangreich bereit gestellt.

Die PF-Techniken, insbesondere die Gewinnwirtschaft, unterstützen die Betriebe auf sehr nutzerzugängliche Weise beim Strukturwandel der Landwirtschaft. Mit PF-Techniken können Kleinbetriebe und Nebenerwerbslandwirte ihre maschinengebundenen Arbeiten delegieren, aber dennoch durchaus als landwirtschaftlicher Unternehmer die pflanzenbaulichen Entscheidungen selber ableiten, exakt durchführen lassen und die Wirkungen einfach prüfen.

Vergleich der Nachhaltigkeitsbewertung zu PF-Techniken mit anderen Verfahren der Pflanzenproduktion

Zentrale Aussage der Ergebnisse aus beiden Projektphasen von *pre agro* ist es, dass weder die einzelnen PF-Techniken, die Precision Farming als Technologie noch die konkrete Teilflächenwirtschaft in sich geschlossene Systeme der Bewirtschaftung darstellen. Alle diese Systemelemente sind erst dann für einen praktischen Einsatz wie für wissenschaftliche Vergleichsuntersuchungen definiert, wenn ihr Einsatz mit einer entsprechenden Bewirtschaftungsweise verknüpft wird. So ist ein direkter Vergleich von Precision Farming mit dem Ökologischen Landbau nicht möglich. Erst wenn dargelegt wird, dass die PF-Techniken z. B. mit der Bewirtschaftungsweise ‚Integrierter Landbau‘ eingesetzt werden, können die dabei entstehenden Wirkungen mit anderen konzeptionellen Ansätzen hinsichtlich der verschiedenen ökologischen (und auch ökonomischen) Wirkungen verglichen werden. Viele der PF-Techniken sind ebenso im Ökologischen Landbau einsetzbar und können dann mit diesen Techniken bei ihrem Einsatz, z. B. im Integrierten Landbau, verglichen werden. In einigen Fällen wird Precision Farming aber als Integrierter Landbau mit PF-Techniken verstanden. Diese Sicht verkürzt jedoch unzulässig die Reichweite der PF-Techniken.

Werden die PF-Techniken bei vorgegebenen Bewirtschaftungsweisen mit anderen Bewirtschaftungsweisen (ohne oder mit PF-Techniken) verglichen, so wird deutlich, dass in der Mehrzahl der Fälle die PF-Techniken vorwiegend eine Vorteilswirkung auf die jeweiligen stofflichen Indikatoren im Pflanzenbau ausüben. Für die biotische Indikation ergeben sich wahrscheinlich bei einigen Indikatoren Vorteilswirkungen. In nicht wenigen Fällen können voraussichtlich die Indikatoren der Nachhaltigkeit auch beim Ökolandbau durch zusätzlichen Einsatz von PF-Techniken in ihren Leistungen verbessert werden. Hierzu liegen aber noch keine belastbaren Untersuchungsergebnisse vor.

Wirtschaftliche, arbeitsorganisatorische und soziale Vorteile sowie die Möglichkeit der gezielten Berücksichtigung von Umwelt- und Naturschutzqualitätszielen sind somit für die Pflanzenproduktion auf einzigartige Weise in der Technologie des Precision Farming (bzw. dem Einsatz einzelner PF-Techniken) verknüpft. Durch ihre Vielgestaltigkeit, eine hohe Flexibilität in der Durchführung und insbesondere durch die informationsgeleitete Produktion erhält diese informationsgeleitete Technologie des landwirtschaftlichen Pflanzenbaus eine wichtige Rolle bei der ‚nachhaltigen Entwicklung‘ jeder ackerbaulichen Landnutzung.

Literatur

- BMBF (2006): Forschung für die Nachhaltigkeit. Rahmenprogramm des BMBF für eine zukunftsfähige innovative Gesellschaft. Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Referat Öffentlichkeitsarbeit. Bonn, Berlin 2005 (veränderter Nachdruck 2006), 56 S.
- DUSSELDORP, M. & CH. RÖSCH (2004): Stand und Perspektiven des Einsatzes von moderner Agrartechnik im ökologischen Landbau. TAB-Hintergrundpapier 12, 84 S.
- DEUTSCHER BUNDESTAG (2006): Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (18. Ausschuss) gemäß § 56a der Geschäftsordnung. Technikfolgenabschätzung (TA). TA-Projekt: Moderne Agrartechniken und Produktionsmethoden – ökonomische und ökologische Potenziale. 2. Bericht: Precision Agriculture. Drucksache 16/3218, 100 S.
- GERHARDS, R. & M. SÖKEFELD (2003): Precision farming in weed control – system components and economic benefits. In: Stafford, J & A. Werner: Precision Agriculture. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, S. 229 – 234.

- KINDLER, R. (1992): Ertragsschätzung in den neuen Bundesländern. Pflug und Felder. St. Augustin, Deutschland, 230 S.
- MIRSCHER, W., R. WIELAND & K.-O. WENKEL (2006): Spatial Analysis and Modelling Tool V2.0 – applications to the landscape indicators crop yield and crop coverage. In: Studzinski, J.; Hryniewicz, O. (eds.): Eco-Info and Systems Research. Series: Systems Research (ed.: J. Gutenbaum), Polish Academy of Sciences/Systems Research Institute, Warsaw, Heft 52, S. 11 - 28.
- SCHMIDT, R. & R. DIEMANN (HRSG.) (1991): Erläuterungen zur mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK), FZB, Müncheberg, 78 S.
- SOMMER, C. & H.H. VOBHENRICH (2004): Bodenbearbeitung und Bestellung. In: KTBL [Hrsg.] (2004): Precision Agriculture – Ergebnisse des Verbundprojekts *pre agro*. Endbericht. CD-ROM, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
http://www.preagro.de/Veroeff/preagro_Endbericht_Bodenbearbeitung.pdf (zuletzt besucht am 2.7.2008)
- WERNER, A. (2004): Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau. Verbundprojekt *preagro*. Abschlussbericht: Einleitung. In: KTBL (Hrsg.). 2004. Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau. Verbundprojekt *pre agro*, Abschlussbericht, S. 1–36.
http://www.preagro.de/Veroeff/preagro_Endbericht_Einleitung.pdf (zuletzt besucht am 2.7.2008)
- WINDHORST, W., E.W. REICHE & A. RINKER (2004): Regionaler Stoffhaushalt. In: KTBL [Hrsg.] (2004): Precision Agriculture – Ergebnisse des Verbundprojekts *pre agro*. Endbericht. CD-ROM, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
http://www.preagro.de/Veroeff/preagro_Endbericht_regionalerStoffhaushalt.pdf (zuletzt besucht am 2.7.2008)

Anschrift der Autoren:**Dr. Armin Werner****Dr. Frank Dreger****Dr. Jürgen Schwarz**

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.

Institut für Landnutzungssysteme

Eberswalder Straße 84

15374 Müncheberg

Telefon: (033432) 82-257, -423, 310

Telefax: (033432) 82-387

E-Mail: dreger@zalf.dejschwarz@zalf.deawerner@zalf.de

Kapitel 3

Grundlagen und Verfahren zur Datenbereitstellung für Precision Farming

3.1 Methoden zur integrativen, nicht-invasiven Standortanalyse zur Charakterisierung der pflanzenbaulich relevanten Eigenschaften standortheterogener Ackerflächen

Methods for an integrative, non-invasive site analysis to characterise relevant properties for crop production in spatially heterogeneous agricultural areas

Marc Wehrhan, Jürgen Kühn, Alexander Brenning, Helmut Rogasik & Michael Sommer

Zusammenfassung

Nicht- und minimal-invasive Messverfahren spielen eine zunehmend bedeutende Rolle bei der Analyse und Charakterisierung räumlicher Bodenheterogenität als Grundlage für eine standortangepasste umweltschonende Pflanzenproduktion. In der Vergangenheit sind bereits zahlreiche Verfahren (Fernerkundung, Geomagnetik/-elektrik, Reliefanalyse) zur flächenhaften Abbildung von Standorteigenschaften entwickelt und erprobt worden. Die aktuellen Forschungsergebnisse weisen jedoch auf vielschichtige Probleme bei der bodenkundlichen Interpretation der räumlichen Muster hin. Vor allem fehlt es derzeit noch an Methoden, die jeweiligen Einzelinformationen integrativ auszuwerten. Als problematisch erweist sich des Weiteren die Übertragbarkeit lokaler Untersuchungen auf Landschaftsräume mit unterschiedlicher Bodenentwicklung. Im Rahmen des BMBF Projektes *pre agro* II wurde begonnen, für dieses Problem sowohl methodenspezifische als auch integrative Lösungsansätze zu entwickeln.

Im Laufe der Projektlaufzeit wurden vorhandene Messungen der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (EC_a) auf den Untersuchungsflächen der beiden Pilotbetriebe WIMEX (Baasdorf, Sachsen-Anhalt) und Täger-Farny (Volkmarisdorf, Niedersachsen) ausgewertet, multispektrale Satellitendaten beschafft (IKONOS II) und ein hochgenaues Laser-DGM erstellt (beide nur für den Betrieb WIMEX) sowie Vertikalsondierungen des Durchdringungswiderstandes durchgeführt. Damit sollte das jeweilige und kombinierte Potential für die Charakterisierung von Standorteigenschaften geprüft werden.

Für die bodenkundliche Interpretation der nicht-invasiven Flächendaten wurde auf den Untersuchungsschlägen ein umfangreiches Messprogramm durchgeführt. Neben den punktuellen Messungen von Bestandesparametern zur Interpretation der Fernerkundungsdaten über drei Vegetationsperioden lag der Schwerpunkt der Arbeiten auf Bodenuntersuchungen zur Bestimmung physikalischer und chemischer Eigenschaften (149 Standorte, 17 Schläge).

Wichtige Teilergebnisse konnten sowohl bei methodenspezifischen Fragestellungen als auch in der integrativen Auswertung erzielt werden:

- Die Auswertung von räumlich interpolierten EC_a -Karten konnten bislang nur schlagbezogen vorgenommen werden. Über ein neu entwickeltes geostatistisches Verfahren können nun die messtechnischen Diskontinuitäten an Schlaggrenzen (bedingt durch veränderte Bedingungen bei Messungen an verschiedenen Terminen) soweit reduziert werden, dass sich EC_a -Karten benachbarter Schläge (und deren Nachbarn) zusammenführen und gemeinsam interpretieren lassen – mit dem Effekt einer deutlichen Aufwands- und Kostenreduktion.
- Das integrierende Signal der EC_a ist ein Summenparameter, der von unterschiedlichen Standortparametern beeinflusst wird. Eine Auswertung von 75 WIMEX-Standorten unter Verwendung der multivariaten Regressionsanalyse („linear mixed-effects“ Modell) zeigte überraschenderweise ei-

nen signifikanten und dominanten Einfluss der organischen Substanz auf das EC_a -Signal, gefolgt vom Karbonat- und erst dann dem Tongehalt. In einer weiteren Modellvariante können drei von sechs geologischen Einheiten mit signifikantem Einfluss identifiziert werden. Beide Modelle erbringen keinen Nachweis für die Wirkung von Reliefparametern auf das EC_a -Signal. Die Präsenz von Horizonten mit hydromorphen Merkmalen als kategoriale Variable führt zu erhöhten EC_a -Werten (19 mS m^{-1}).

- Im Verlauf einer Vegetationsperiode spiegelt sich die zeitlich integrierende Wirkung von Standortsheterogenität (bodenbedingte Wasser- und Nährstoffversorgung) in der Bestandesentwicklung wider. Mit Hilfe hochauflösender, multispektraler Fernerkundungsdaten kann der Standortindikator „Pflanze“ über Modellrechnungen quantitativ erfasst und flächenscharf abgebildet werden. Für das Jahr 2006 wurde für die Region um den Betrieb WIMEX als weiteres nicht-invasives Instrument eine IKONOS Satellitenszene beschafft. Für sechs Getreideschläge (Winterweizen und Triticale) wurden der effective LAI (LAI_e) über ein semi-physikalisches Modell und, aus dem LAI_e abgeleitet, die trockene Biomasse flächenhaft modelliert. Der Vergleich der modellierten LAI_e -Werte mit den Feldmessungen ergibt ein hohes Maß an Übereinstimmung sowohl für die Triticaleschläge 072 und 752 ($R^2 = 0,76$) als auch die Winterweizenschläge 341 und 811 ($R^2 = 0,78$). Die über eine Anpassungsfunktion extrapolierten LAI_e -Messungen auf den Schlägen 141 und 541 sind separat zu bewerten. Auf Schlag 541 liegt die Güte des Zusammenhangs lediglich bei einem $R^2 = 0,58$. Die Berechnung der trockenen Biomasse erfolgte über die statistische Beziehung zum modellierten LAI_e . Der schwache Zusammenhang auf den Schlägen 341 und 811 ($R^2 = 0,60$) ist auf die geringe Bestandesheterogenität auf Schlag 341 zurückzuführen, während die Streuung der trockenen Biomasse auf den Triticaleschlägen zu 72 % durch die Streuung des modellierten LAI_e erklärt werden kann. Mit den LAI_e -Modellierungen auf Basis von Fernerkundungsdaten konnte somit die oberirdische Biomasse flächenhaft abgebildet werden.
- Bodenverdichtungen, besonders im Bereich der Pflugtiefe, können ertragsmindernd wirken. Mit dem VERIS 3000 Profiler wurden Messungen des Durchdringungswiderstandes (D_w) an Standorten mit detaillierten Bodeninformationen und Messungen der oberirdischen Biomasse in beiden Betrieben durchgeführt. Untersucht wurde (i) die potentielle Eignung von D_w als Indikator für Bodeneigenschaften im Verdichtungshorizont und (ii) der Einfluss von D_w in Verbindung mit Bodeneigenschaften auf die Bestandesentwicklung im Rahmen einer multiplen Regressionsanalyse.
- Auf Standorten aus sandigem Ausgangsmaterial kann ein positiver Zusammenhang zwischen D_w und Sandgehalten sowie der Lagerungsdichte festgestellt werden. Negative Beziehungen bestehen zum Ton- und Schluffgehalt. Das Ergebnis der multiplen Regressionsanalyse weist die Faktoren Mittelsand, Lagerungsdichte und Gehalt an organischer Substanz als dominante Einflussgrößen auf D_w aus ($R^2 = 0,81^{***}$). Auf den schluffigen und tonigen Standorten konnten keine signifikanten Zusammenhänge festgestellt werden.
- Für die Untersuchung der Einflussfaktoren auf das Pflanzenwachstum wurden die gewichteten Mittelwerte der Sand-, Schluff- und Tongehalte bis in 90 cm Tiefe mit den D_w -Werten in der Krumbasis kombiniert. Die integrative Auswertung liefert nur für die sandigen Substrate einen signifikant positiven Zusammenhang zwischen normierter Biomasse und den Bodenparametern Tongehalt, Gehalt an organischer Substanz und D_w . Das R^2 der nichtlinearen multiplen Regression beträgt $0,58^{***}$.

Summary

Non- and minimal-invasive techniques play an increasing role for the characterisation of spatial heterogeneity of soil properties – a basic prerequisite for site-adapted agricultural management. Different methods like remote sensing, electromagnetic induction and digital terrain analysis have been developed and evaluated. Recent results from different fields of research indicate a high potential of single methods for example mapping soil characteristics using the electromagnetic induction technique, but many problems remain unsolved. Moreover, no framework exists for an integrative multi-data analysis for various reasons. The problem of up-scaling field data to the landscape level is still a limitation to soil landscape modelling.

In order to investigate the single and combined potential of different methods for a characterisation of site properties on the two research farms WIMEX (Baasdorf, Saxony-Anhalt) and Täger-Farny (Volkmarisdorf, Lower Saxony), available EC_a -maps were evaluated. Further, satellite remote sensing data (IKONOS II) and a high precision laser-DTM were acquired for the WIMEX region. Additionally measurements of the vertical profile of soil penetration resistance were performed.

An extensive measurement programme was performed for calibration and validation of the non-invasive methods consisting of both, canopy and soil parameters. Samples for the determination of chemical and physical soil properties were collected at 149 sites on 17 fields.

Important results could be achieved for both, the specific methods and the integrative analysis approach.

- Due to systematic discontinuities at field boundaries caused by changing conditions (measurements at different dates) absolute values of spatially interpolated EC_a -maps could only be used for estimates of soil properties on the field scale. A new geostatistical homogenization approach now allows the interpretation of two or more adjacent fields, which at least reduces costs for calibration and is less time-consuming.
- The EC_a -signal is a sum parameter that integrates several site-specific factors over soil depth. The evaluation of 75 sites at WIMEX farm using a multivariate regression analysis (linear mixed-effects model) showed a dominant influence of the soil organic matter on the EC_a -signal, followed by the amount of calcium carbonate. Surprisingly the clay content plays a subordinate role in the explanation of EC_a -signals. In a second model version three of six geological units (instead of soil texture) show a significant influence. The influence of terrain parameters included in both models is negligible. The presence of gleyic soil horizons as a categorical variable leads to increased EC_a -values (19 mS m^{-1}).
- During a vegetation period crop growth integrates over all effects caused by soil heterogeneity on the field scale (mainly water and nutrient supply). The spatial distribution of canopy parameters as an indicator for site properties, can be mapped precisely using high-resolution, multispectral remote sensing data. Those were collected at the end of the growing season in 2006 by the IKONOS II satellite for the WIMEX region. Effective Leaf Area Index (LAI_e) of winterwheat and triticale was modelled at six fields using a semi-physical model. Dry matter production was derived from LAI_e -maps using ground truth measurements. Modelled LAI_e agrees well with measured ground truth data on fields 072 und 752 (triticale; $R^2 = 0.76$) and on fields 341 and 811 (winterwheat; $R^2 = 0.78$). Due to a significant time-lag between ground truth measurements and the remote sensing data, fields 141 and 541 (winterwheat) were extrapolated and therefore modelled separately. However, the relationship between modelled and measured LAI_e on field 541 is weak ($R^2 = 0,58$).

- Spatial distribution of dry matter production was mapped using statistical relationships between modelled LAI_c and ground truth measurements. While coefficients of variation for the regressions on fields 072 and 752 are high ($R^2 = 0.72$) the lower correlation on fields 341 and 811 ($R^2 = 0.60$) might be explained by the low variance of dry matter production on field 341. All in all, remote sensing appears to be a reliable technique to image spatial distribution of canopy parameters.
- Soil compaction beneath the plough layer may limit crop yield. Measurements of the vertical penetration resistance (Dw) using the VERIS 3000 “profiler” were performed on sites with detailed soil and canopy information on both farms. The study was focussed on two aspects, (i) the potential of Dw for the prediction of soil properties in the compaction layer and (ii) the coupled influence of Dw and soil parameters on crop growth (normalized biomass) using multiple regression analysis.
- Positive correlations between Dw and both sand content and bulk density exist for soils developed from sandy parent material. The dominant soil parameters explaining most of the variance of Dw are medium sand (0.2 – 0.63 mm), bulk density and soil organic matter (multiple $R^2 = 0.81^{***}$). No correlations exist for all other soils.
- For the evaluation of biomass variability, the weighted means of sand-, silt- and clay content over soil depth (90 cm) were analyzed together with Dw in the plough layer. Again, a significant positive correlation only exists for the sandy soils. Dw, clay content and soil organic matter are the soil parameters mostly influencing crop growth on these sites. The coefficient of determination for the nonlinear regression achieved a multiple $R^2 = 0.58^{***}$.

3.1.1 Einleitung und Problemstellung

Grundlegender Bestandteil der informationsgeleiteten Pflanzenproduktion ist die standortgerechte Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Teilflächen unter der Prämisse, das natürliche Potential unterschiedlicher Standorte umweltschonend, aber produktiv zu nutzen. Unter dem Begriff „Standort“ wird hier aus Sicht der Pflanzenproduktion eine Fläche gleicher Wachstumsbedingungen verstanden. Voraussetzung dafür ist eine flächenhafte quantitative Charakterisierung von pflanzenbaulich relevanten Standorteigenschaften. Wechselwirkungen zwischen Arealen finden jedoch nicht nur innerhalb der Grenzen von Einzelschlägen statt, sondern müssen in ihrem landschaftsökologischen Kontext analysiert und berücksichtigt werden.

Erst eine integrative Standortcharakterisierung von naturraumtypischen, pflanzenbaulich relevanten (abiotischen) Kenngrößen über die Grenzen von Schlägen hinaus erlaubt die Ausweisung von Arealen gleicher Charakteristik und daraus abzuleitenden Potentialen für eine nachhaltige, standortangepasste Bewirtschaftung. Die Analyse und Abbildung raum-zeitlicher Standortvariabilität kann aber mit den klassischen Methoden der Bodenforschung, wie punktuelle Bodenuntersuchungen, in Verbindung mit Geostatistik allein nicht geleistet werden. Auch wenn bereits zahlreiche nicht-invasive Verfahren (Fernerkundung, Geoelektrik, Reliefanalyse) zur flächenhaften Abbildung von Standorteigenschaften entwickelt und erprobt wurden, fehlt es derzeit noch an Methoden, die jeweiligen Einzelinformationen integrativ auszuwerten. So ist jedes dieser Verfahren zur Abbildung räumlicher Heterogenität von Standorteigenschaften geeignet, erklärt aber jeweils nur einen Teilaspekt des komplexen Systems „Standort“.

Über die räumliche Heterogenität der Standortfaktoren Boden und Relief hinaus führen Wechselwirkungen mit den Witterungsverhältnissen und der jeweiligen Bewirtschaftung in verschiedenen Vegetationsperioden zu einer zeitlichen, jahresspezifischen Dynamik. Dies kann bei verschiedenen Faktoren-

kombinationen zu Fehleinschätzungen der Standortcharakteristik führen. Der erste Schritt ist daher die integrierte Auswertung zur Identifizierung von Zonen des gleichen pedogenetischen Kontext unterstützt durch gezielte Bodenuntersuchungen. Erst in der Folge können die dynamischen Komponenten in einem komplexeren Analyseverfahren berücksichtigt werden. Dazu bedarf es multitemporaler Datensätze (z. B. aus der Fernerkundung abgeleitete Bestandesgrößen, Ertragskarten), die durch Rekalibrierung und Validierung zu einer schrittweisen Verbesserung der regelbasierten Methode führen (SOMMER et al. 2003).

In der Praxis werden nicht-invasive Methoden zur Ausweisung von Managementzonen bereits, wenn auch noch in kleinem Maßstab, operationell eingesetzt. Allerdings besteht Unklarheit darüber, welche Standortfaktoren mit Hilfe dieser Techniken wirklich abgebildet werden können. So werden Messungen der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (EC_a) häufig als Maß für den Tongehalt von Böden interpretiert. Unklar ist jedoch, wie die Tonminerale im Profil eines Bodens verteilt sind, bzw. aus welcher Tiefe das empfangene Signal stammt. Auch die Rahmenbedingungen der Messung (Kalibrierung, Bodenfeuchte, Temperatur) haben Auswirkungen auf das Messergebnis.

Die verschiedenen Instrumente unterliegen über methodische Defizite hinaus auch Einschränkungen, die mit der Verfügbarkeit bzw. Nutzbarkeit in Verbindung stehen. So sind optische Fernerkundungssysteme auf optimale Aufnahmebedingungen (bewölkungsfrei, Sonnenstand) angewiesen.

Dennoch liegt hohes Potential in der Kombination der verschiedenen Verfahren, da es sich bei diesem „digital soil mapping“ Ansatz um die Ableitung von zeitlich invarianten Bodeneigenschaften handelt. Dieser erlaubt es, unter Beachtung der jeweiligen Messbedingungen, Datensätze unterschiedlicher Erhebungszeiträume zu verknüpfen.

Neben den weitgehend vorhandenen Messungen der EC_a auf den Untersuchungsflächen der beiden Pilotbetriebe wurden ergänzend multispektrale Satellitendaten (IKONOS II) sowie ein hochgenaues Laser-DGM zur Ableitung von Reliefparametern für den Betrieb WIMEX beschafft. Darüber hinaus kam in beiden Untersuchungsgebieten mit dem VERIS 3000 Profiler ein innovatives Messinstrument zur punktuellen Bestimmung des Durchdringungswiderstandes (D_w) und der elektrischen Leitfähigkeit in hoher vertikaler Auflösung zum Einsatz.

3.1.2 Material und Methoden

3.1.2.1 Standortauswahl

Nach einer Sichtung der in *pre agro* I erhobenen Punkt- und Flächendaten wurden 23 Untersuchungsschläge auf den beiden Pilotbetrieben Täger-Farny (Volkmarsdorf, Niedersachsen) und WIMEX (Baasdorf, Sachsen-Anhalt) in Absprache mit weiteren Teilprojekten ausgewählt. In beiden Betrieben erfolgte die Schlagauswahl nach den Kriterien (i) vorhandene Datenlage, (ii) Bewirtschaftung im jeweiligen Untersuchungsjahr und (iii) naturräumliche Ausstattung. Das gewählte Experten-basierte Auswahlverfahren deckte die Spannbreite der Bodenheterogenitäts-bestimmenden Faktoren „Relief“ und „Ausgangsmaterial“ ab. Die ausgewählten Schläge stellen repräsentative Ausschnitte unterschiedlichster Bodenlandschaften dar.

Innerhalb der Schläge wurden Messpunkte festgelegt, welche die gesamte Spannbreite verschiedener Kombinationen von Standortfaktoren repräsentieren. Die Auswahl erfolgte anhand der flächenhaft interpolierten EC_a -Karten, der geologischen Karte 1:25.000 (Ausgangsmaterial), den vereinzelt verfügbaren Hofbodenkarten (Bodentyp, Substrat, nutzbare Feldkapazität), Ertragskartierungen und digitalen Geländemodellen (Reliefparameter).

Um Randeffekte an Schlaggrenzen und innerhalb der Schläge zu vermeiden, wurden die Standorte möglichst zentral in größeren Arealen positioniert, die auf der Grundlage der vorhandenen Informationen auf geringe Bodenheterogenität hinwiesen. Bei unklaren Verhältnissen wurde das Auswahlverfahren durch Feldbegehungen mit Bodenansprachen ergänzt. Zusätzlich wurde für spezielle Fragestellungen ein gerastertes Beprobungsdesign verwendet.

Einschließlich der speziellen Fragestellungen auf je einem Schlag der Pilotbetriebe wurden im Laufe der Projektzeit in beiden Betrieben insgesamt 291 Standorte verteilt auf 23 Schläge beprobt. Der Schwerpunkt der Arbeiten lag jedoch auf der Beschaffung von physikalischen und chemischen Bodenparametern, die an 149 Standorten auf 17 Schlägen erhoben wurden. Bis auf wenige Ausnahmen wurden die Untersuchungen auf Schlägen durchgeführt, auf denen während der Projektlaufzeit wenigstens einmal Winterweizen oder Triticale angebaut wurde. Tabelle 4 gibt einen Überblick über alle punktuell beprobten bzw. mit nicht-und minimal-invasiven Methoden vermessenen Schläge sowie die Anzahl der Standorte je Schlag.

Tabelle 4: Liste der analysierten Bodeneigenschaften

Table 4: List of analyzed soil properties

Betrieb WIMEX farm WIMEX	Bestand canopy			Boden soil		Relief terrain	
Schlagbezeichnung fieldname	Punktmessungen point measurements		Räumlich spatial	Profiler	Bohrungen augerings	EC _a - Karten EC _a -maps	Laser DGM 5 laser dtm 5
	LAI _e [m ² m ⁻²]	Biomasse [g m ⁻²]	LAI _e / Biomasse	Dw [N mm ⁻²]		EC _a [mS m ⁻¹]	
072	10 ⁶	10 ⁶	X	10	10	X	X
141	10 ^{5,6}	10 ^{5,6}	X	10	10	X	X
221				72 ^R		X	X
231				10	10	X	X
341	8 ⁶	8 ⁶	X	8	8	X	X
352	12 ⁶	12 ⁶		12	12	X	X
431					3	X	X
441	6 ⁵	6 ⁵		6	6	X	X
541	10 ⁶	10 ⁶	X	10	10	X	X
621				6		X	X
752	9 ⁶	9 ⁶	X	9	9	X	X
761	6 ⁵	6 ⁵		10	10	X	X
811	9 ⁶	9 ⁶	X	9	9	X	X
821				12	12	X	X
Betrieb Träger-Farny Farm Träger-Farny							DGM 25 dtm 25
Mittelberg	9 ⁶	9 ⁶		9 / 39 ^R	9	X	X
Birkenhay	8 ⁵	8 ⁵		8		X	X
Rabenberg	6 ^{5,6}	6 ^{5,6}		6	6	X	X
Espenberg	8 ⁶	8 ⁶		8	8	X	X
Finkenspring	5 ⁶	5 ⁶		5		X	X
Kamp-Ost	10 ⁶	10 ⁶		10	10	X	X
Papenröder	8 ⁶	8 ⁶		8		X	X
Döhrener Wohld	7 ⁶	7 ⁶		7		X	X
Kesselbrinkegehe	7 ⁶	7 ⁶		7	7	X	X

⁵ Erhebungen im Juli 2005 ⁶ Erhebungen im Juni/Juli 2006 ^R Rasterbeprobung

Die Lage der Standorte in den beiden Betrieben ist in Abbildung 3 und Abbildung 4 dargestellt.

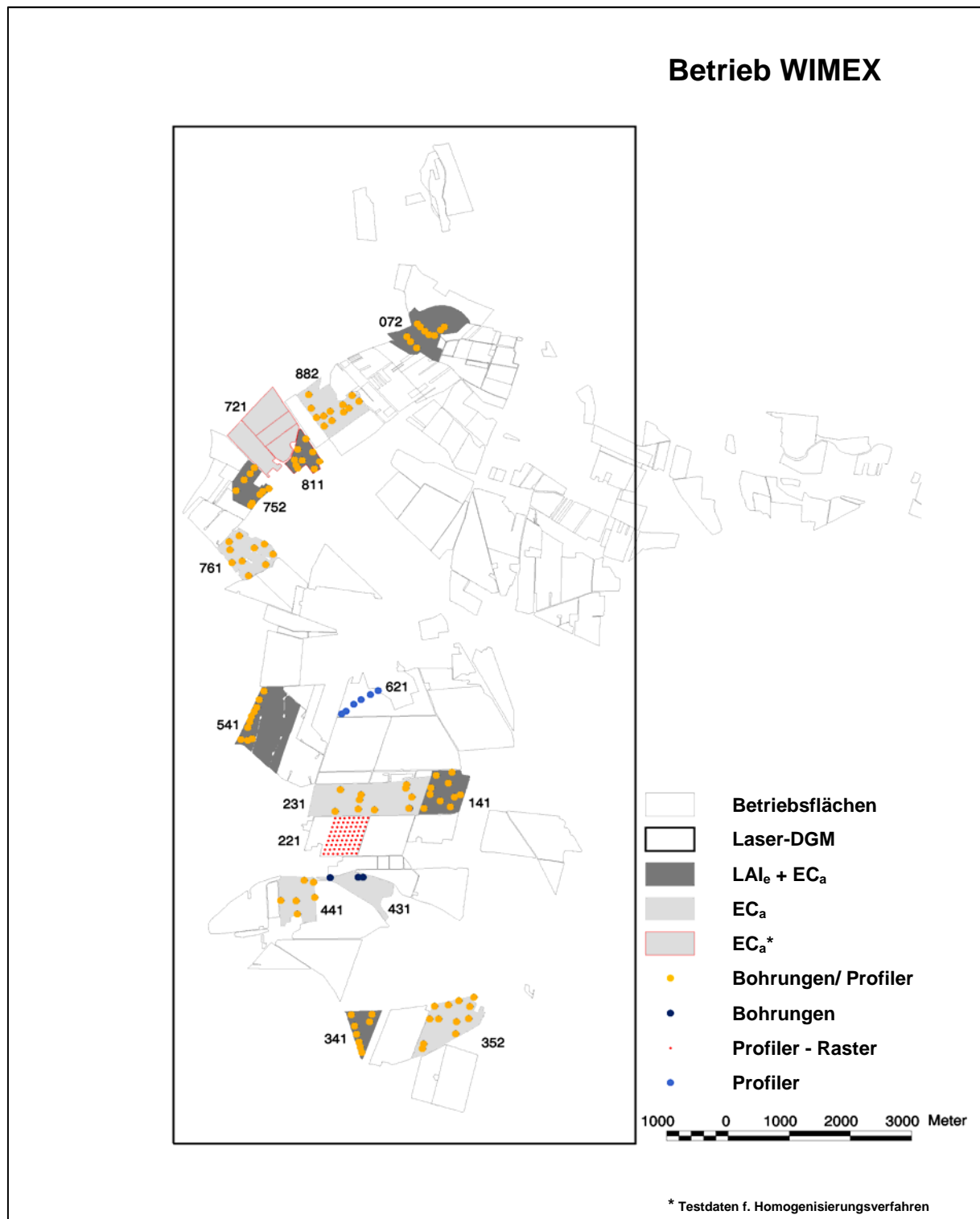


Abbildung 3: Lage der Untersuchungsflächen und Standorte im Betrieb WIMEX

Figure 3: Location of research fields and test sites on farm WIMEX.

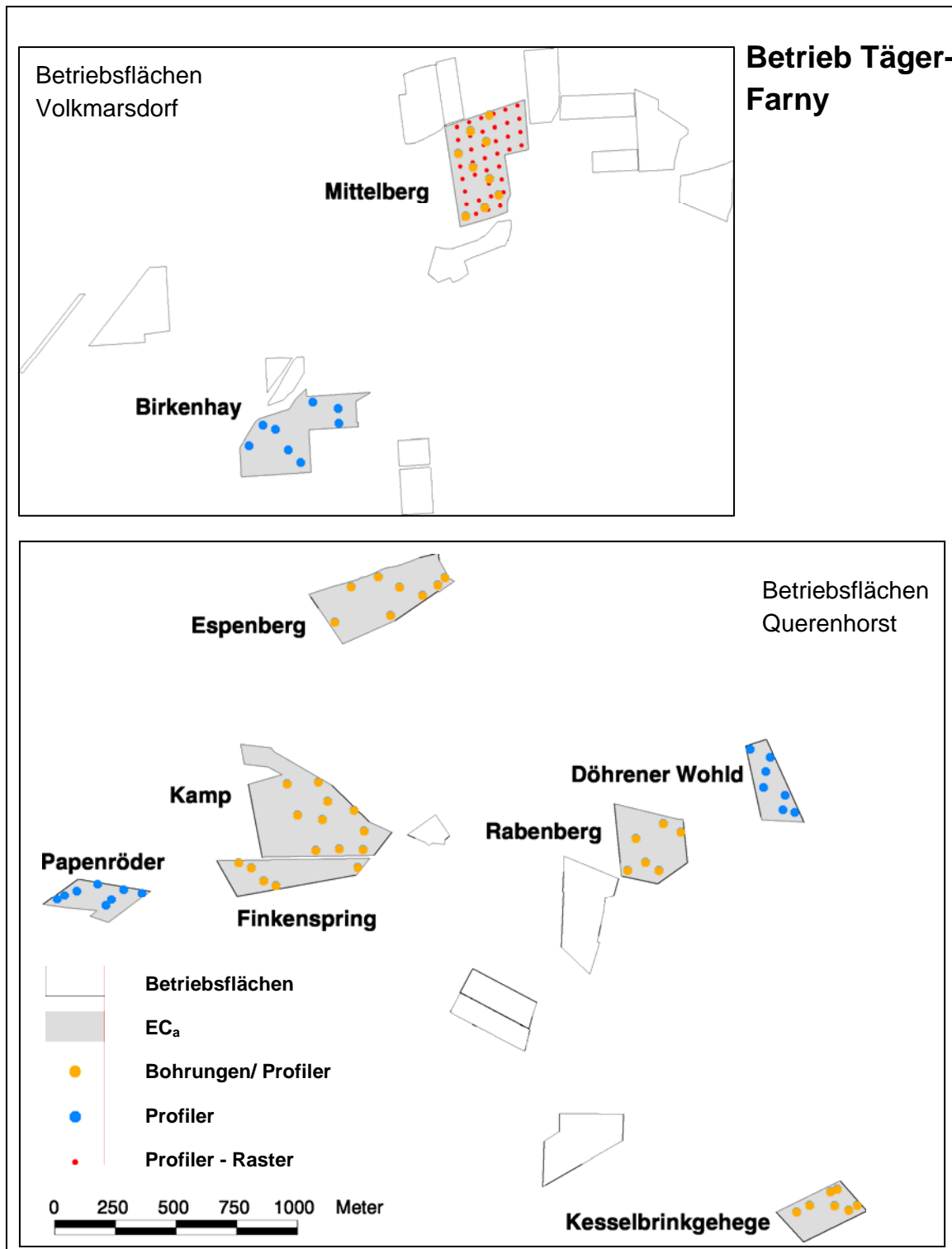


Abbildung 4: Lage der Untersuchungsflächen und Standorte im Betrieb Täger-Farny

Figure 4: Location of research fields and test sites on farm Täger-Farny

3.1.2.2 Bodendaten

Die Bodenprobenahme erfolgte mit Hilfe eines hydraulisch betriebenen Bohrkerngeräts der Firma GEOTOOL. Die Bohrschappe erlaubt die Entnahme von Bodenmaterial bis zu 2 m Bodentiefe. Der Durchmesser beträgt 8 cm und ermöglicht die gleichzeitige, horizontale Entnahme von Misch- und Stechzylinderproben (100 cm³).

Die Stechzylinderproben wurden für die Bestimmung des volumetrischen Wassergehalts und der Trockenrohddichte verwendet. Für die Analytik der Bodentextur und der Bodenchemie wurde das Mischprobenmaterial verwendet.

Die Entnahme der Bodenprofile wurde photographisch dokumentiert und bodenkundlich angesprochen. Die gemessenen Bodenparameter sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Aufgrund der aufwendigen Analysen stand für die inhaltliche Auswertung bis dato nur ein unvollständiger Datensatz von 75 Bodenprofilen, erhoben auf 11 Schlägen im Betrieb WIMEX, zur Verfügung.

Tabelle 5: Liste der analysierten Bodenparameter

Table 5: List of analyzed soil parameters

	Bodenparameter soil parameters				
	Chemische Analysen chemical analysis	Einheit unit	Texturanalyse texture analysis		Einheit unit
Mischproben aus mind. 3 Bodenhorizon- ten je Bohrpro- fil	Gesamtkohlenstoff Ct	[Gew.-%]			
	Gesamtstickstoff Nt	[Gew.-%]			
	Calciumcarbonat (CaCO ₃)	[Gew.-%]			
	pH-Wert				
	pflanzenverfügbares Kalium KDL	[mg 100g ⁻¹]			
	pflanzenverfügbares Phosphat PDL	[mg 100g ⁻¹]			
Stechzylinder (100 cm³)	Gravimetrischer Wassergehalt	[Gew.-%]	Ton		[Gew.-%]
	Volumetrischer Wassergehalt	[Vol.-%]	Schluff	Fein-, Mittel- Grobschluff	[Gew.-%]
	Trockenrohddichte	[g cm ⁻³]	Sand	Fein-, Mittel- Grobsand	[Gew.-%]
	Porenvolumen	[Vol.-%]	Skelett		[Gew.-%]

3.1.2.3 Nicht- und minimal-invasive Verfahren

3.1.2.3.1 EM38 Messungen der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (EC_a)

Das EM38 Instrument von GEONICS Ltd., Mississauga, Canada, zur Leitfähigkeitskartierung (Mc NEILL 1980) ist ein geophysikalisches Messverfahren zur Bestimmung der EC_a des Bodens (Abbildung 5 (a)). Im Vertikalmodus können integrativ Bodentiefen von ca. 150 cm erfasst werden. Messprinzip ist die Erfassung des Magnetfeldes, das durch eine Sendespule (Primärfeld) in den Boden induziert wird. Dieses Feld wird durch die elektrische Leitfähigkeit des Untergrundes beeinflusst. Das entstehende Sekundärfeld wird mit einer Empfängerspule gemessen (Abbildung 5 (b)). Aus der Veränderung des Magnetfeldes wird die elektrische Leitfähigkeit berechnet (Spulenabstand 1 m, Messfrequenz 14.6 kHz). Das Gerät wird üblicherweise auf einem Schlitten direkt auf der Bodenoberfläche entlang der Fahr- und Pflegespuren des entsprechenden Bestandes über das Feld gezogen. Erfasst werden die geographische Position mit einem GPS sowie 10 Messwerte der EC_a pro Sekunde. Die Messwerte der EC_a werden auf eine einheitliche Bodentemperatur von 25 °C korrigiert (DURLESSER 1999, DOMSCH & GIEBEL 2004).

Für die meisten der 21 untersuchte Schläge standen EC_a-Messungen aus den Jahren 1999 und 2000 zur Verfügung. Ergänzende Messungen weiterer (Teil-) Schläge, die entweder im Interesse des Gesamtprojekts lagen oder der Untersuchung projektspezifischer Fragestellungen dienten, wurden von der Firma Agricon, dem Teilprojekt 13 sowie dem institutseigenen Instrument durchgeführt.

Soweit noch nicht in *pre agro* realisiert, wurden die punktuellen Messungen über ein geostatistisches Verfahren (ordinary kriging) auf ein 5 m Raster interpoliert. Während der Projektlaufzeit hat sich diese Rasterzellengröße als sinnvoll im Sinne einer Verschneidung mit den Rasterdaten der anderen nicht-invasiven Verfahren erwiesen.

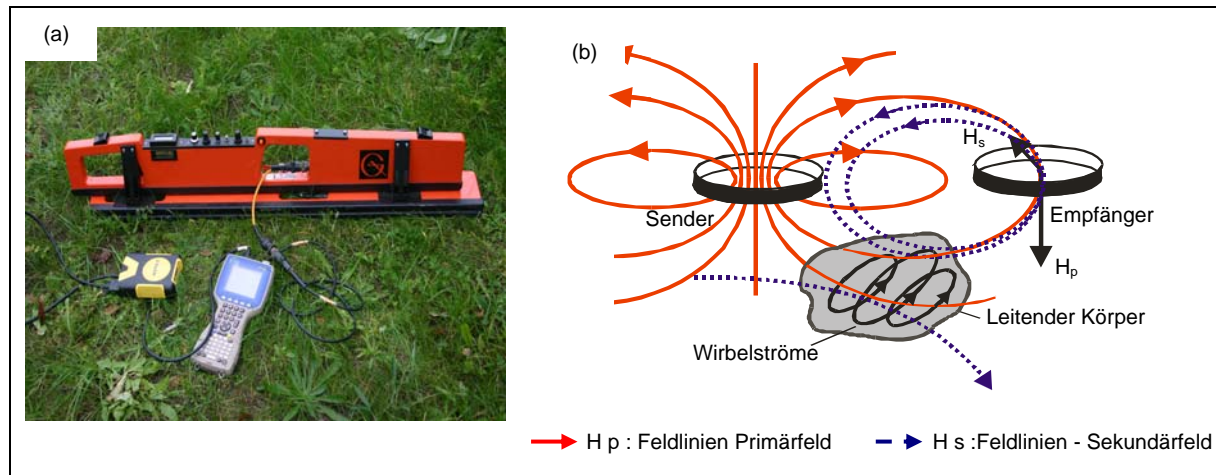


Abbildung 5: Das EM38 DD Instrument (a) und Messprinzip (b)

Figure 5: The EM38 DD instrument (a) and principle of measurement (b)

Als signalbestimmende Faktoren können verschiedene Bodenparameter identifiziert werden. Nach McNEILL (1980, 1992) und SUDDUTH et al. (2001) beeinflussen der Wasser- und Tongehalt, die Zusammensetzung der Tonminerale, die Porengröße, -verteilung und -geometrie, der Salzgehalt, die Kationenaustauschkapazität (KAK), die Temperatur des Bodens und des Bodenwassers sowie die Entwicklungstiefe des Bodens das Signal. Ebenso können der Gehalt an organischer Substanz und der Karbonatgehalt (DOMSCH & GIEBEL 2004) signalbeeinflussend sein. In jeder Bodenlandschaft ist jedoch aufgrund ihrer individuellen Entstehungsgeschichte mit unterschiedlichen Dominanzen bzw. Kombinationen der Einflussfaktoren zu rechnen, die aber jeweils zu gleichen Signalen führen können. Eine regionalspezifische Kalibrierung der EM38-Messungen ist daher unumgänglich.

3.1.2.3.2 Reliefanalyse digitaler Geländemodelle

Digitale Geländemodelle haben sich in den letzten Jahren zu einer wichtigen Informationsquelle im Bereich des „digital soil mapping“ entwickelt. Die Bedeutung des Faktors Relief für die Bodenbildung ist bereits seit langem bekannt (Z). Für präzise Analysen auf der Feldskala, wie sie für Aussagen zur standortangepassten Bewirtschaftung notwendig sind, war die räumliche Auflösung bis zur Einführung von flugzeuggestützten, lasergenerierten DGM unzureichend. Die hohe Messdichte und fortgeschrittene Verfahren zur Filterung und Interpolation liefern hochgenaue Höhenmesswerte bis zu 1 m Rasterweite. Der absolute Höhenfehler beträgt je nach Gelände selten mehr als ± 0.15 m, relativ sind Genauigkeiten im cm-Bereich möglich.

Die Rasterdaten erlauben GIS-basierte Ableitungen von Reliefparametern aus Nachbarschaftsbeziehungen der primären Höheninformation. Der Nutzen für die Ableitung von Standorteigenschaften besteht im Wesentlichen in der Identifizierung von Erosions- und Akkumulationsarealen. Akkumulationsareale können beispielsweise auf das Vorhandensein von kolluvialen Bodenbildungen hinweisen.

Die räumliche Ausdehnung der Areale bzw. die Größe der Einzugsgebiete kann Hinweise auf die Dauer der Kolluviation und damit die Mächtigkeit der M-Horizonte liefern.

Ein Laser-DGM stand zu Projektbeginn für beide Untersuchungsgebiete nicht zur Verfügung.

Im Herbst 2005 wurde daher die Firma TopScan mit der Erstellung der Karten für das Gebiet um den Betrieb WIMEX beauftragt. Im Januar 2006 wurde eine Fläche von ca. 128 km² mit einer Messdichte von einem Messpunkt / m² befliegen. Durch die weitgehend vegetationsfreie Bodenoberfläche liegt der vertikale Messfehler auf den Untersuchungsschlägen im Bereich weniger cm. Die Punktmessungen wurden auf eine Rasterweite von 2 m und für die weitere Analyse auf 5 m interpoliert. Insgesamt wurden 10 Reliefparameter mit dem Softwarepaket SAGA GIS 1.2 der Firma Scilands GmbH, Göttingen, berechnet.

3.1.2.3.3 Fernerkundung

Der Einsatz von Fernerkundungsdaten ist methodisch bedingt auf die flächenhafte Abbildung von Oberflächeneigenschaften mit entsprechend eingeschränkter Nutzbarkeit für die Kartierung von Bodeneigenschaften limitiert. Die physikalisch-chemischen Eigenschaften einer vegetationsfreien Bodenoberfläche sind aber kaum aussagekräftig genug, um daraus pflanzenbaulich relevante Eigenschaften von Bodenprofilen ableiten zu können. Darüber hinaus sind die Böden in agrarisch genutzten Landschaften die meiste Zeit des Jahres von Vegetation bedeckt. Die Bestandesentwicklung im Laufe einer Vegetationsperiode ist jedoch maßgeblich vom Zusammenspiel der verschiedenen Standortfaktoren abhängig. Innerhalb von Schlägen bedeutet dies bei gleichen klimatischen Bedingungen und einheitlicher Bewirtschaftung, dass Bestandsheterogenität als Indikator für Eigenschaften im gesamten durchwurzelten Bodenraum genutzt werden kann. Der Indikator Pflanze ist besonders effektiv gegen Ende der Vegetationsperiode. Standorte mit geringem Wasserspeichervermögen (nutzbare Feldkapazität nFK) können Wasserstress mit sichtbaren Symptomen im Bestand erzeugen. Neben der Chlorose als sichtbarer Folge frühzeitig einsetzender Seneszenz und Veränderungen der Blattstruktur bei Einzelpflanzen ist auf der Bestandesebene ein Rückgang des grünen und des effektiven Leaf Area Index (LAI_g bzw. LAI_e). Der LAI ist ein geeignetes Maß zur Beschreibung der Bestandesdichte und -vitalität und ist definiert als einseitige Blattfläche je Bodenfläche in [m² m⁻²]. Der effektive LAI umfasst im Gegensatz zum grünen LAI alle reflektierenden Pflanzenbestandteile. Diese diagnostischen Bestandesparameter sind für Fernerkundungssensoren flächendifferenziert detektierbar bzw. lassen sich über verschiedene Modellansätze daraus ableiten.

Für diesen Indikatoransatz eignet sich der Winterweizen in zweifacher Hinsicht. Neben hohen Standortansprüchen bezüglich der Wasserversorgung wird Winterweizen großflächig in beiden Untersuchungsgebieten angebaut und ist häufig wiederkehrendes Glied typischer Fruchtfolgen im konventionellen Landbau.

Im ersten Untersuchungsjahr konnten die geplanten Befliegungen mit dem Multispektral-Sensor DAEDALUS aus technischen Gründen nicht durchgeführt werden. Aufgrund der ungewissen Zukunft des Sensors wurde entschieden Fernerkundungsdaten über ein kommerzielles, satellitengestütztes System zu beschaffen.

Eine erfolgreiche Aufnahme des Untersuchungsgebietes um den Betrieb WIMEX konnte am 04.07.2006 im Rahmen eines „priority taskings“ (Zielgebiet und Zeitfenster werden definiert) für den IKONOS II Satelliten realisiert werden. Der Multispektralsensor verfügt über 5 spektrale Kanäle, davon drei im sichtbaren (VIS) und einer im nahen infraroten Wellenlängenbereich (NIR). Die geometrische Auflösung im Nadir beträgt 4 m bei einer Aufnahmebreite von 11,5 Kilometern. Weiterhin steht

ein panchromatischer Breitbandkanal mit einer geometrischen Auflösung von 1,0 m zur Verfügung, der im Rahmen dieser Arbeit nicht genutzt wurde.

Von der Aufnahme bis zur quantitativen Auswertung von Fernerkundungsdaten sind Vor- Prozessierungsschritte notwendig. Neben den radiometrischen Korrekturen, die vom Betreiber durchgeführt wurden, sind vor allem Korrekturen der Lagegenauigkeit von Objekten notwendig. Dazu wurden sowohl DGPS-vermessene Passpunkte als auch die bereits im Vorgängerprojekt *pre agro* I vermessenen Feldgeometrien verwendet. Die Rektifizierung erfolgte über ein Polynomverfahren 2. Ordnung. Gleichzeitig wurde die Rasterzellengröße von 4 auf 5 Meter unter Verwendung des „Nearest Neighbourhood“ Verfahrens resampled.

Die Transformation von der am Sensor gemessenen Strahldichte in spektrale Reflexionswerte erfolgte über das atmosphärische Strahlungstransfermodell SOLSPEC (BIRD 1984). Ziel dieser Korrektur ist die Minimierung von Störeinflüssen der Atmosphäre (Absorption und Streuung durch Gase und Partikel) auf die vom Sensor gemessene Strahlung.

Um lokale Verzerrungen und Überstrahlungseffekte in der Nähe von Fahrspuren sowie durch Ground Truth Aktivitäten (Biomasseschnitte etc.) zerstörte Areale zu minimieren, wurden die untersuchten Felder mit einem Medianfilter (5 x 5 Pixel, moving window Verfahren) geglättet.

Für die Modellierung des LAI_e wurde ein semi-physikalisches Modell verwendet (CLEVERS 1986, CLEVERS 1988). Eine modifizierte Version (SOMMER et al. 2007) erlaubt eine direkte Ableitung des LAI_e aus der Bestandesreflexion im nahen Infrarot (NIR, schlagspezifisch korrigiert um die Hintergrundreflexion des Bodens, NIR_{kor}) und Ground Truth Messungen im Bestand (Abbildung 6).

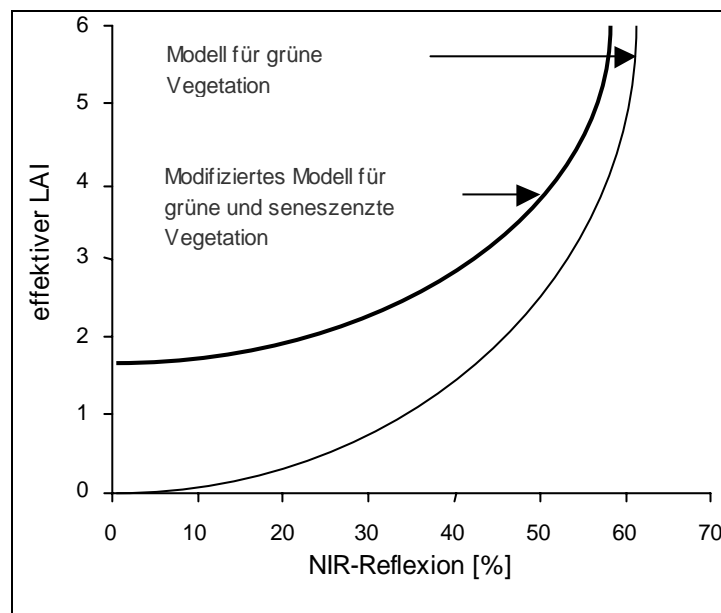


Abbildung 6: Modelldarstellung der Beziehung zwischen effektivem LAI und der NIR-Reflexion einer grünen (Mitte der Vegetationsperiode) und einer räumlich differenziert abgereiften (seneszenten) Vegetationsdecke gegen Ende der Vegetationsperiode

Figure 6: Illustration of functional relations between effective LAI and NIR-reflection of a green (middle of the growing season) and a spatially differentiated canopy at the end of the growing season (parallel occurrence of green and senescent vegetation)

Geschätzt werden der Extinktionskoeffizient des Bestandes α und der Korrekturparameter für senescente Blätter β einer nicht-linearen Funktion an die gemessenen LAI_e-Werte. Die Fehlerminimierung erfolgt über eine schrittweise Anpassung (100 Iterationen) nach der Monte-Carlo Methode. Der im Vergleich zu physikalisch basierten Strahlungstransfermodellen vereinfachte Ansatz ist nur eingeschränkt übertragbar und nutzt nur einen Wellenlängenbereich. Der Vorteil liegt in der einfachen und schnellen Durchführung von Ground Truth Messungen zur Bestimmung des LAI_e. Insgesamt wurden 6 Schläge im Untersuchungsgebiet modelliert.

Die räumliche Identifizierung von punktuellen Feldmessungen in Fernerkundungsdaten ist durch lokale Verzerrungen und die Eigenschaft, Informationen über eine bestimmte Fläche (hier: geometrische Auflösung) zu integrieren, problematisch. Ground Truth Messungen wurden daher innerhalb einer Fläche von ca. 15 x 15 Metern in der Nähe der eingemessenen Standorte durchgeführt, deren Pflanzenbestand in Feldbegehungen als homogen eingestuft wurde. Aus vier gleichmäßig in der Fläche verteilten Messwiederholungen wurde der Mittelwert gebildet. Das entsprechende Mittel der Spektren aus 3 x 3 Rasterzellen wurde aus einer benachbarten, ungestörten Fläche extrahiert.

Die Standortmessungen wurden mit einem LAI 2000 Plant Canopy Analyzer (LI-COR INC. 1991) durchgeführt. Das Instrument bestimmt den LAI_e durch ein optisches Verfahren, bei dem alle lichtblockierenden Objekte, unabhängig davon, ob es sich um photosynthetisch aktives oder bereits abgestorbenes Pflanzenmaterial handelt, im Messfeld des Sensors erfasst werden. Den Empfehlungen des Herstellers folgend wurden die Messungen ausschließlich bei diffusen Lichtverhältnissen durchgeführt. Die Standorte auf den Winterweizen-Schlägen 341 und 811 konnten am 03.07.2006 einen Tag vor Aufnahme der Fernerkundungsszene beprobt werden. Die Standorte auf den Schlägen 752 und 072 (Triticale) wurden bereits am 28.06.2006 beprobt. Die in Zusammenarbeit mit Teilprojekt 15 durchgeführten Feldarbeiten auf den Schlägen 141 und 541 fanden aus projektspezifischen Fragestellungen heraus bereits am 20./21.06.2006 statt. Für die Ableitung des LAI_e auf diesen Flächen wurde ein Anpassungsverfahren angewendet, um die zeitliche Differenz zwischen Messwert und Fernerkundungsszene auszugleichen. Dazu wurde angenommen, dass die externen Faktoren für die Pflanzenentwicklung (Bewirtschaftung und Klima) für die Schläge 341 und 811 mit denen der Schläge 141 und 541 vergleichbar sind. Entsprechend wurden die Schätzwerte α und β für die kombinierten Schläge 341 und 811 für die Modellierung des LAI_e auf den Schlägen 141 und 541 verwendet. Nach dieser Anpassung erfolgte die Schätzung der Modellparameter individuell für beide Schläge.

Für bestimmte Fragestellungen ist die Kenntnis der räumlichen Heterogenität der Trockenmasseproduktion von größerem Interesse (Ertrag, Korn/Stroh-Verhältnis, C-Fixierung). In dieser fortgeschrittenen Entwicklungsphase der Bestände besteht häufig ein enger Zusammenhang zwischen LAI_e und Trockenmasseproduktion. Um aus dem modellierten LAI_e entsprechende Abschätzungen machen zu können, wurden an allen Standorten 4 Biomasseschnitte mit je 0,25 m² Fläche durchgeführt. Die Trocknung der Biomasse erfolgte im Trockenschrank über 48 Stunden bei 60 °C.

3.1.2.3.4 VERIS 3000 „Profiler“

Als weiteres innovatives Instrument zur Bodensondierung wurde der VERIS 3000 „Profiler“ (DRUMMOND et al. 2000) in beiden Betrieben eingesetzt. Mit Hilfe einer hydraulisch in den Boden getriebenen Stabsonde wird parallel der mechanische Durchdringungswiderstand (D_w) in N mm⁻² und der elektrische Widerstand des Bodens bis in eine Tiefe von maximal 90 cm mit einer vertikalen Auflösung von 2 cm gemessen (Abbildung 7). Aus der elektrischen Widerstandsmessung kann der reziproke Wert der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit EC_a berechnet werden. Das Leitfähigkeitsprofil des

Bodens kann einen Beitrag zur Interpretation der EM38 Daten leisten, bei denen u. a. die Tiefenfunktion des Signals eine häufig diskutierte Frage ist.

Das Hauptinteresse bestand jedoch an den Messungen des Durchdringungswiderstands als Indikator für (i) Bodeneigenschaften im durchwurzelbaren Raum und (ii) dem Nachweis einer entsprechenden Wirksamkeit auf das Pflanzenwachstum.

Die Durchwurzelbarkeit eines Standorts beeinflusst maßgeblich die Erschließung des Bodens für die Wasser- und Nährstoffversorgung der Pflanze. Diese ist primär von den natürlichen Faktoren der Bodenbildung abhängig. Ackerbaulich genutzte Böden unterliegen jedoch zusätzlich anthropogenen Einflüssen in Form von mechanischer Belastung durch Landmaschinen. Da der Oberboden regelmäßig gelockert wird, konzentriert sich die Verdichtung auf den sogenannten Pflughorizont. Diese Krumbasisverdichtung kann bei Überschreiten kritischer Werte zu Ertragsdepressionen führen. Mit Hilfe des Profilers lässt sich überprüfen, ob Verdichtungen vorliegen und in welchem Ausmaß. Über diese „kritische“ Bodentiefe hinaus können die Messwerte wichtige Hinweise über den Profilaufbau (Horizontierung und Substrat) im durchwurzelten Raum liefern.

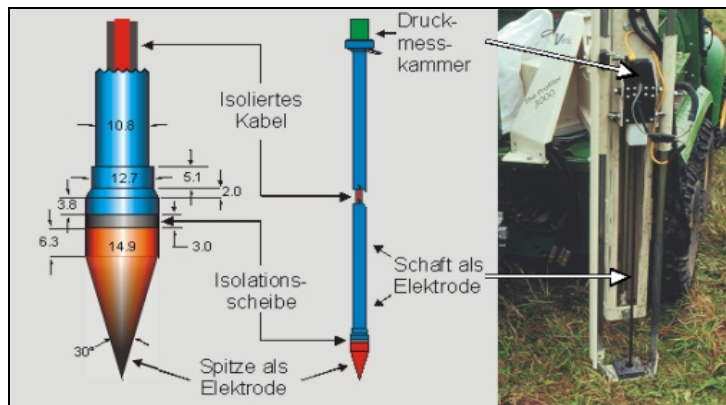


Abbildung 7: Konstruktionsplan und Betriebszustand des VERIS 3000 Profiler

Figure 7: Construction plan and operating status of the VERIS 3000 Profiler

In einer ersten Probenahme, die zu Testzwecken Ende Mai 2005 auf den Schlägen 141 und 762 durchgeführt wurde, zeigte sich bereits ein Zusammenhang zwischen oberirdischer Biomasseproduktion (bestimmt am 06.07.2005) und Dw im Tiefenbereich zwischen 25 und 40 cm. Die Dw-Messungen unterliegen aber durch den Einfluss der Bodenfeuchte zeitlichen Schwankungen. In 2006 wurden die Messungen im März und April bei feuchteren Bodenverhältnissen und dem Entwicklungsstadium der Vegetation entsprechend geringerem Wasserentzug durchgeführt.

Neben der Beprobung der nach Heterogenitätskriterien ausgewählten Standorte (Betrieb WIMEX: 112; Betrieb Täger-Farny: 53) wurde 2007 eine Rasterbeprobung der Schläge 221 (Betrieb WIMEX) und Mittelberg (Betrieb Täger-Farny) vorgenommen. Experimentelles Ziel war die Erstellung einer Verdichtungspotentialkarte mit Hilfe der Geostatistik. Die Rasterweite orientierte sich dabei an der doppelten Arbeitsbreite (jede zweite Fahrspur) auf den jeweiligen Erprobungsschlägen. Auf Schlag 221 wurden insgesamt 72 Standorte mit einer Rasterweite von ca. 75 m und auf dem Mittelberg 39 Standorte mit einer Rasterweite von ca. 55 m sondiert.

Die Probenahme an allen Standorten erfolgte in zwei parallelen Reihen mit einem Abstand von ca. 5 m mit je 5 Einzelsondierungen im Abstand von 2 m. Das Mittel der 10 Messprofile wurde für jede

Bodentiefe, in der mindestens 5 valide Messwerte vorlagen, berechnet. Dadurch kommt es generell zu Abweichungen von der möglichen Eindringtiefe von 90 cm und zu unterschiedlichen Tiefenangaben zwischen den Standorten. Die Ursache liegt in der automatischen Abschaltvorrichtung zum Schutz vor Zerstörung der Stabsonde ab D_w -Werten von 5.6 N mm^{-2} . Ein abrupter Abbruch tritt vor allem auf skelettreichen Standorten auf. Aber auch in reinen Sandböden kann D_w bereits in geringen Bodentiefen den kritischen Wert erreichen und macht ein methodisches Defizit des Verfahrens deutlich.

Die Analyse der Beziehungen zwischen D_w und Bodenparametern konzentrierte sich auf den Bereich der potentiellen Krumbasisverdichtung, die je nach Standort in variierenden Bodentiefen auftreten kann. Um kleinräumige Einflüsse im Profilaufbau zu minimieren, wurde der Mittelwert aus den fünf höchsten benachbarten Einzelwerten (entspr. 10 cm) zwischen 24 und 46 cm gebildet. Abbildung 8 zeigt den Bereich der Krumbasisverdichtung am Beispiel von drei Profilen verschiedener Böden.

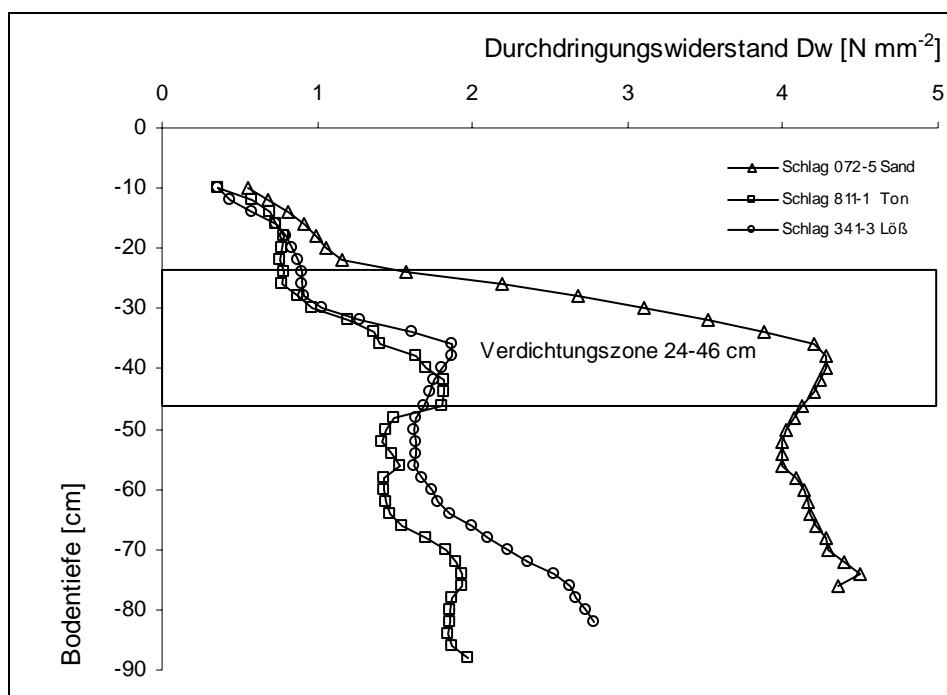


Abbildung 8: Durchdringungswiderstand D_w am Beispiel von drei Messprofilen von Böden aus unterschiedlichem Ausgangsmaterial.

Der kritische Verdichtungsbereich an der Krumbasis zwischen 24 und 46 cm Bodentiefe ist umrahmt.

Figure 8: Penetration resistance D_w of three exemplarily profiles of soils developed from different parent material.

The critical compaction zone at the bottom of the plough layer between 24 and 46 cm soil depth is framed.

In die Untersuchung der Einflüsse auf die Entwicklung des Pflanzenbestandes gingen neben den D_w -Werten in der Krumbasis auch die Daten der Bodenanalyse ein. Dazu wurde das gewogene Mittel der Texturparameter Ton-, Schluff-, und Sandgehalt sowie Skelettanteil und der Anteil an organischer Substanz (C_{org}) bis in 90 cm Bodentiefe berechnet. Um die Einflüsse unterschiedlicher Erhebungsjahre, Standorte und Getreidearten kombiniert auswerten zu können, erfolgte eine Normierung der Daten [(Biomasse*100) / (mittlere Biomasse der Messpunkte)].

Dem Bearbeitungsstand der Bodenanalytik entsprechend wurden die Untersuchungen auf sechs Schlägen im Betrieb WIMEX (072, 141, 341, 541, 752 und 811) und dem Schlag Rabenberg im Betrieb Täger-Farny durchgeführt.

3.1.2.4 Multivariate Analyse von Punktinformationen

Der operationelle Einsatz von nicht-invasiven Methoden zur Abschätzung von Standorteigenschaften erfordert ein verbessertes Verständnis der in einer definierten Bodenlandschaft wirksamen Kausalitäten, die ihrerseits die räumlichen Muster in EC_a -Karten erzeugen. Die Identifizierung der unabhängigen Einflussfaktoren auf das EC_a -Signal wurde auf 11 Schlägen im Betrieb WIMEX an den 75 Standorten mit detaillierten Standortinformationen vorgenommen. Die statistische Analyse erfolgte zunächst über eine schrittweise Variablenselektion von numerischen und kategorialen Steuergrößen, bestehend aus Bodeninformationen, Reliefparametern und Einheiten der geologischen Karte. Die multivariate Analyse erfolgte mit einem LME (linear mixed-effects) Modell. Der Modellansatz erlaubt neben der Aufklärung komplexer multivariater Zusammenhänge auch die Berücksichtigung der räumlichen Struktur von Eingangsdaten. Das statistische Verfahren und die Vorgehensweise zur Selektion der unabhängigen Variablen ist detailliert bei KÜHN et al. (in prep.) beschrieben.

3.1.2.5 Geostatistische Analyse

Messungen der EC_a sind flächendeckend über Schlaggrenzen hinaus kaum zu realisieren. Die unterschiedliche Bewirtschaftung benachbarter Schläge führt zu zeitlich versetzten Messterminen mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen (Bodenfeuchte, Temperatur etc.). In den abgeleiteten Bodeneigenschaften führt dies zu räumlicher Diskontinuität, die in der Realität nicht existiert. Ein direkter Vergleich der absoluten Messwerte ist daher unzulässig. Im Projekt wurde ein Lösungsansatz entwickelt, der auf einem geostatistischen Homogenisierungsverfahren basiert.

Die Methode wurde anhand von interpolierten EC_a -Messungen im Betrieb WIMEX auf den benachbarten Schlägen 811 und 721 entwickelt, dessen vier Teilschläge zu unterschiedlichen Terminen gemessen wurden (Abbildung 9).

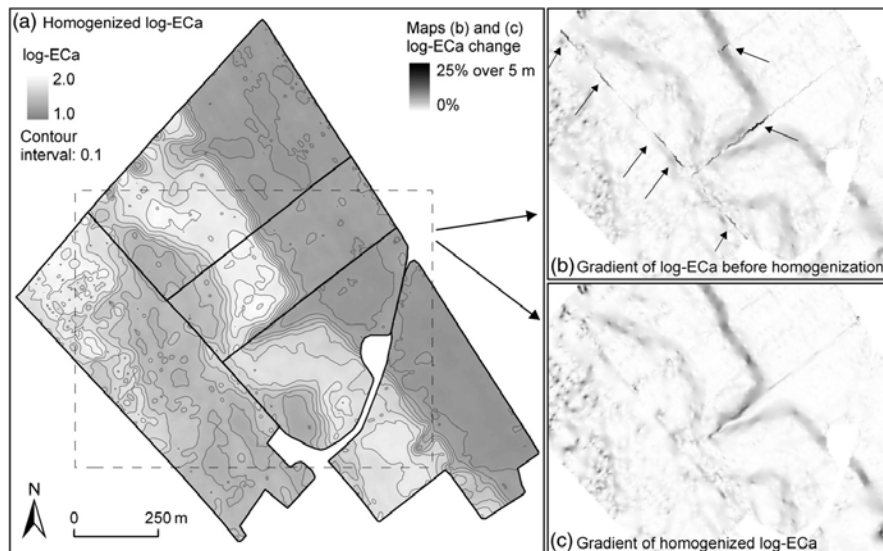


Abbildung 9: Auswirkung der Homogenisierung von Diskontinuitäten der logarithmierten (log) EC_a . (a) Karte der $log-EC_a$ nach der Homogenisierung. (b) Gradient (Veränderung in % über eine Distanz von 5 m) der $log-EC_a$ vor und (c) nach der Homogenisierung

Figure 9: Effects of homogenization on discontinuities in $log-EC_a$. (a) Map of $log-EC_a$ after homogenization. (b) Gradient (% change over 5 m distance) of $log-EC_a$ before and (c) after homogenization

Anhand eines simulierten Datensatzes wurde die generelle Anwendbarkeit der Methode getestet (BRENNING et al. 2008).

3.1.3 Ergebnisse

Bislang konnten Teilergebnisse erzielt werden, die einen z. T. wichtigen methodischen Fortschritt bedeuten.

3.1.3.1 LME Modell

Über die schrittweise Selektion konnten 11 Variablen als potentielle Prädiktoren identifiziert werden, darunter vier numerische Bodeneigenschaften, ein Reliefparameter und zwei kategoriale Variablen. Unter der Variable „Geologische_Einheit“ sind die 16 Einheiten der digitalisierten, geologischen Karte 1:25.000 in 6 Gruppen zusammengefasst. Die Variable „Horizonte mit hydromorphen Merkmalen“ wurde anhand der bodenkundlichen Ansprachen der Bodenprofile eingeführt, um dem postulierten Einfluss grundwassernaher Standorte auf das EC_a -Signal Rechnung zu tragen. Eine Liste der statistischen Kennwerte der numerischen Prädiktoren (incl. EC_a) ist in Tabelle 6 zusammengefasst.

Da die gemessenen Bodenparameter gleichzeitig, wenn auch deskriptiv, in den Einheiten der geologischen Karte repräsentiert sind, muss die multivariate Analyse für die kombinierten Datensätze Bodenparameter / Reliefparameter (Modell 1) sowie „Geologische Einheit“ / Reliefparameter (Modell 2) separat durchgeführt werden. Somit kann gleichzeitig analysiert werden, welchen Erklärungsanteil die alleinige Verwendung der geologischen Karte im Vergleich zu gemessenen Bodenparametern liefert. Die Variable „Horizonte mit hydromorphen Merkmalen“ ist nur in Modell 1 vertreten, obwohl sie auch deskriptives Merkmal einer geologischen Einheit ist.

Tabelle 6: Statistische Kernwerte der abhängigen Variable EC_a und der im finalen LME Modell als Prediktoren verwendeten numerischen Variablen

Table 6: Descriptive statistics of the dependent variable EC_a and numerical predictor variables used in the final LME model

Variable [Einheit]	Mittelwert mean	Standard- abweichung Standard deviation	Median		Min.	Max.	
			Unteres Quartil	Oberes Quartil			
EC _a [mS m ⁻¹]	44,41	22,07	40,24	25,51	62,11	13,66	92,01
Bodenparameter							
Org. Substanz [Kg m⁻² m⁻¹]	23,73	9,85	22,17	16,98	29,08	6,83	61,09
Log₁₀ Ca CO₃ [Kg m⁻² m⁻¹]	1,255	0,802	1,510	0,318	1,919	-0,023	2,623
Tongehalt [Kg m⁻² m⁻¹]	190,37	100,69	198,91	136,82	232,30	10,32	591,19
Schluffgehalt [Kg m⁻² m⁻¹]	489,80	270,02	459,65	257,63	767,63	43,37	962,06
Reliefparameter							
Log₁₀ Flow_accumulation	2,127	0,631	2,098	1,682	2,477	0,995	4,273

In Modell 1 sind die fünf Bodeneigenschaften (organische Substanz, der dekadische Logarithmus (Log₁₀) des Karbonatgehaltes, Ton- und Schluffgehalt und die kategoriale Variable „Horizonte mit hydromorphen Merkmalen“) sowie Log₁₀ der flow_accumulation als einziger Reliefparameter enthalten (Tabelle 7).

Ein signifikanter Einfluss auf das EC_a-Signal kann für die organische Substanz, Log₁₀ des Karbonatgehaltes und dem Tongehalt nachgewiesen werden. Im Vergleich mit der organischen Substanz und dem Karbonatgehalt ist der Erklärungsbeitrag des Tongehaltes jedoch geringer als erwartet.

Weder der Schluffgehalt noch der Reliefparameter liefern einen signifikanten Erklärungsbeitrag. Die Präsenz von Horizonten mit hydromorphen Merkmalen führt zu erhöhten EC_a-Werten von ca. 19 mS m⁻¹ im Vergleich zu den anderen Standorten. Das adjustierte Bestimmtheitsmaß liegt bei R² = 0,56.

In Modell 2 haben die Gruppen A, B und F einen signifikanten Einfluss auf das EC_a-Signal. Das Relief spielt hier ebenfalls keine Rolle. In Gruppe A sind im Wesentlichen die Bodenbildungen aus kalkig-sandigen, humosen Schichten über kalkhaltigen Sanden zusammengefasst. In Gruppe B sind ähnliche Einheiten wie in Gruppe A zusammengefasst, jedoch durchgehend kalkfrei. Die Einheiten beider Gruppen sind vorwiegend grundwassernahe Standorte. Gruppe F umfasst die Bodenbildungen aus oder über oligozänen Tonen.

Auch dieses Ergebnis bestätigt den dominanten Einfluss von organischer Substanz, Karbonat- und Tongehalt. Das adjustierte Bestimmtheitsmaß liegt aber mit R² = 0,50 unter dem von Modell 1.

Tabelle 7: Koeffizienten der "fixed effects" im finalen LME Modell für die ECa-Schätzung

Table 7: Coefficients of the fixed effects in the final LME model ECa estimation

		Modell 1			Modell 2		
Multipl. R²		61,4			56,0		
Adjustiertes R²		56,0			49,9		
Range [m]		347			421		
Nugget [%]		3,3			0		
Variable [Einheit]	Koeffizient	Standardfehler	p-Wert	Koeffizient	Standardfehler	p-Wert	
Schnittpunkt	-6,56	7,15	0,362	26,35	6,36	<0,001*	
Org. Substanz [Kg m⁻² m⁻¹]	0,762	0,192	<0,001*				
Log₁₀ Ca CO₃ [Kg m⁻² m⁻¹]	10,84	2,24	<0,001*				
Tongehalt [Kg m⁻² m⁻¹]	0,072	0,018	<0,001*				
Schluffgehalt [Kg m⁻² m⁻¹]	-0,018	0,011	0,098				
Log₁₀ Flow_accumulation	4,50	2,29	0,054	3,41	2,54	0,204	
Geologische Einheiten							
A				40,28	7,62	<0,001*	
B				25,65	7,64	<0,001*	
D				2,34	6,48		
E				13,43	2,65		
F				46,81	9,18	<0,001*	
Hydromorphe Merkmale	15,26	4,63	0,002*				

Die gemessenen Bodeneigenschaften liefern somit einen höheren Erklärungsanteil für die räumliche Heterogenität der ECa-Werte als die Einheiten der geologischen Karte. Die Einbeziehung von Reliefparametern kann in keinem der beiden Modelle einen signifikanten Erklärungsbeitrag leisten. In Abbildung 10 ist die Gegenüberstellung der gemessenen und mit Modell 1 geschätzten ECa-Werte an 75 Standorten dargestellt.

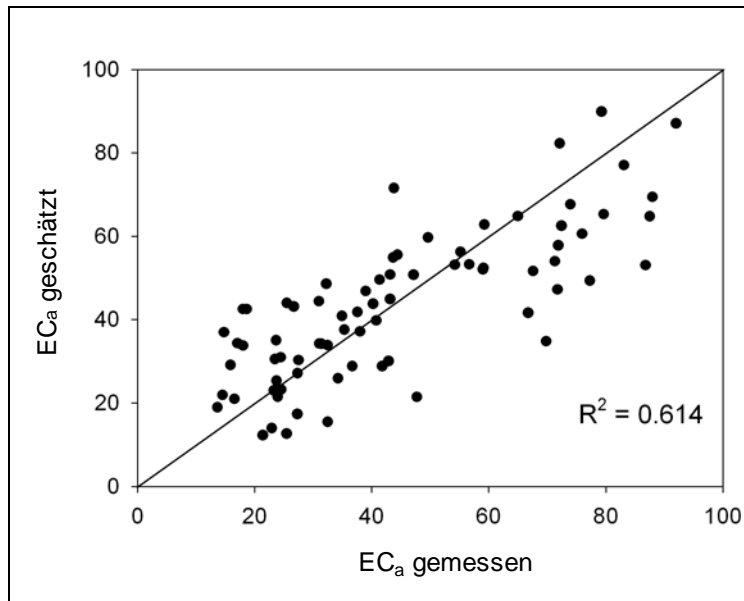


Abbildung 10: Gegenüberstellung der gemessenen und der mit Modell 1 geschätzten EC_a -Werte. Das R^2 entspricht den fixed effects des Modells. Das adjustierte R^2 beträgt 0,56.

Figure 10: Scatterplot of measured and estimated Eca -values derived by model 1. R^2 corresponds to the model's fixed effects. The adjusted R^2 is 0,56.

3.1.3.2 Fernerkundung

3.1.3.2.1 Ground Truth Messungen

Das Ziel der Standortauswahl, einen möglichst breiten Wertebereich von Bestandesparametern innerhalb des einzelnen Schläges abzubilden, konnte für alle Schläge weitgehend umgesetzt werden. Im Folgenden werden nur die Ergebnisse für die sechs fernerkundlich ausgewerteten Schläge im Betrieb WIMEX präsentiert.

Die statistischen Kenngrößen für den LAI_e und die Messungen der oberirdischen Biomasse sind in Tabelle 8 (ohne Frischmasse) zusammengefasst. Deutlich wird das insgesamt höhere Niveau der Werte bei gleichzeitig stärkerer Streuung der Bestandesparameter bei Triticale (Schläge 072 und 752). Das höhere Niveau ist auf das gegenüber Winterweizen geringere Korn/Stroh-Verhältnis zurückzuführen. Zwischen den beiden Triticaleschlägen sind die Niveauunterschiede geologisch bedingt. Die vorwiegend sandigen Flusssedimente als Ausgangsmaterial der Bodenbildung auf dem 072 führen zu schwächeren Ertragspotentialen durch das geringe Wasserspeichervermögen der Böden. Der höhere Variationskoeffizient (coefficient of variation CV [%]) wird durch günstigere Standorte aus alluvialen, humusreichen Ablagerungen mit Grundwasseranschluss erzeugt. Der Wertebereich liegt hier bei den LAI_e -Werten zwischen 2,03 und 4,14 und bei der Trockenmasse zwischen 1249 und 3915 $g\ m^{-2}$ (752: 2,23 und 5,24 bzw. 2246 und 3573 $g\ m^{-2}$).

Die Variationskoeffizienten der Bestandesparameter liegen mit einer Ausnahme auf allen Winterweizenschlägen etwa auf gleichem Niveau. Die Biomassedaten der Schläge 141 und 541 wurden von Teilprojekt 15 erhoben und zur Verfügung gestellt. Die geringste Streuung kann auf Schlag 341 beobachtet werden (CV der Trockenmasse = 3,34; CV LAI_e = 9,61), der gezielt als Schlag mit geringer Heterogenität der Standortfaktoren ausgewählt wurde, um gegebenenfalls die Grenzen der integrativen Analyse nicht-invasiver Verfahren aufzeigen soll.

Der Schlag liegt im südlichen, reliefarmen Teil des Untersuchungsgebietes, dass durch Bodenbildungen aus glazialen Geschiebemergeln (Weichsel und jünger) mit unterschiedlich mächtiger Lößlehmauflage geprägt ist.

Tabelle 8: Statistische Kennwerte der gemessenen Bestandesparameter auf den Versuchsflächen im Betrieb WIMEX im Juni / Juli 2006

Table 8: descriptive statistics of measured canopy parameters of the research field on farm WIMEX in June / July 2006

Schläge Betrieb WIMEX fields on farm WIMEX	Kultur Culture	N	LAI _e effective LAI				Trockenmasse Dry Matter			
			Mittelwert	Min	Max	CV	[g m ⁻²]			[%]
072	Triticale	10	2,98	2,03	4,14	28,1	2225,8	1240	3915	37,2
752		9	4,00	2,32	5,24	28,9	3033,3	2246	3573	17,4
341	Winterweizen	8	2,90	2,48	3,37	9,6	1696,1	1615	1802	3,3
811		9	2,51	1,90	3,04	18,6	1491,1	1144	1753	14,2
141		10					1528,5	1106	2015	18,2
541		10					1336,0	922	1674	18,9

3.1.3.2.2 Semi-physikalische Modellierung von Bestandesparametern

Die unterschiedliche Bestandesarchitektur von Triticale und Winterweizen macht eine kulturspezifische Modellierung erforderlich. Anhand einfacher Gegenüberstellungen (Scatterplots) von NIR_{kor} und gemessenen LAI_e-Werten kann abgeschätzt werden, ob sich Datensätze verschiedener Schläge kombiniert modellieren lassen. Die Eingangsdaten zur Schätzung der Modellparameter alpha und beta sind sowohl für die Schläge 072 und 752 (Triticale) als auch für die beiden Winterweizenschläge 341 und 811 vergleichbar.

Die Anpassung der LAI_e-Messungen auf den Schlägen 141 und 541 mit den geschätzten Modellparametern für die Schläge 341 und 811 erfolgte unter der Annahme, dass die Entwicklung in allen Weizenbeständen in der Zeit vom 21.06. – 04.07. in etwa parallel verläuft. Anschließend wurde für die angepassten Werte eine individuelle Modellanpassung durchgeführt. Die gemessenen und modellierten Beziehungen zwischen korrigierter NIR-Reflexion und LAI_e für die modellierten Schläge ist in Abbildung 11(a) dargestellt.

Als Maß für die Güte der Vorhersage durch das Modell zeigen die berechneten Bestimmtheitsmaße und Residuen (root mean square deviation, RMSD) zwischen Mess- und Schätzwerten des LAI_e bis auf Schlag 541 ($R^2 = 0,58$) gute Übereinstimmungen. In Tabelle 9 sind die Modellparameter, die Koeffizienten der Regressionen, R^2 und der RMSD für die untersuchten Schläge zusammengefasst.

Die Gegenüberstellung der Messwerte und der modellierten LAI_e-Werte (Originalauflösung, ungefiltert) für den Gesamtdatensatz ist in Abbildung 11(b) dargestellt. Die Abweichung von der 1:1 Linie ist auf das Modellierungsergebnis auf Schlag 541 zurückzuführen.

Tabelle 9: Parameter des semi-physikalischen Reflexionsmodells, Regressions- und Korrelationskoeffizienten für die Versuchsfelder im Betrieb WIMEX

Table 9: Parameters of the semi-physical reflectance model and coefficients of regression and correlation of the research fields on farm WIMEX

Schläge Betrieb WIMEX fields on farm WIMEX	N	Modellparameter modelparameter			Regressionskoeffizienten Coefficients of regression		R ²	RMSD	(R ²)
		NIR _{max}	α	β	a	b			
072 – 752	19	42,67	0,47	81,03	0,98	-0,05	0,76	0,58	(0,92)
341 – 811	15	47,47	0,86	170,56	1,10	-0,32	0,78	0,24	(0,88)
141*	6	47,47	0,87	175,12	0,96	0,04	0,89	0,16	(0,95)
541*	10	50,21	0,64	114,33	1,10	0,28	0,58	0,31	(0,71)
Gesamt	50				1,02	-0,11	0,77	0,41	(0,88)

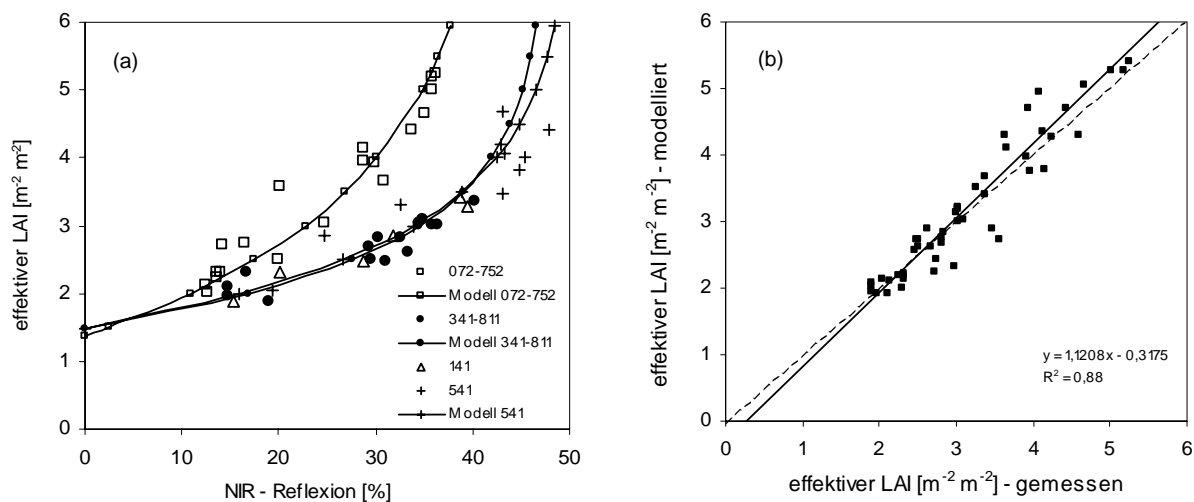


Abbildung 11: (a) Messwerte und modellierte Beziehungen zwischen effektivem LAI und NIR-Reflexion auf den Untersuchungsschlägen im Betrieb WIMEX (072 und 752: Triticale; 141, 341, 541 und 811: Winterweizen). Das Modell für Schlag 141 ist nicht dargestellt (nahezu identisch mit 341 und 811). (b) Gegenüberstellung des gemessenen und modellierten LAI_e aller Schläge

Figure 11: (a) Measured values and modelled relation between effective LAI and NIR-reflection for the six fields on farm WIMEX. (072 and 752: triticale; 141, 341, 541 und 811: winterwheat). The model for field 141 is omitted (nearly identical to 341 and 811). (b) Scatterplot of measured and modelled LAI_e of all fields

Für die weitere Auswertung der Ergebnisse, ist es von Bedeutung die Beziehung der Messwerte zum Endprodukt zu bewerten. Die Angaben in Tabelle 9 beziehen sich auf die Übereinstimmung von Messwert mit dem Mittelwert aus 2 x 2 Pixel der gefilterten Rasterdaten mit 5 m Auflösung. Die Bestimmtheitsmaße für die Beziehungen auf der Grundlage von 3 x 3 Pixel in der Originalauflösung (4 m) liegen deutlich höher. Auf Schlag 541 können verschiedene Gründe für den schwachen Zusammenhang verantwortlich sein. Einerseits kann es zu einer durch Standortfaktoren beeinflussten Entwicklung gekommen sein, die eine Übertragung der Verhältnisse von anderen Beständen nicht zulässt. Andererseits können auch die Messwerte fehlerhaft sein. Die zeitliche Extrapolation von Messwerten sollte aber in jedem Fall nur als Notlösung dienen und entsprechend Wert auf eine zeitnahe Messung der Ground Truth Daten gelegt werden.

Die anschließende Berechnung der Trockenmasse aus dem fernerkundlich abgeleiteten LAI_e basiert auf einfachen statistischen Beziehungen. Für die Schläge 141 und 541 wurden keine Trockenmassen berechnet. Die Anpassung einer logarithmischen Funktion liefert besonders im Fall der Triticalebestände mit hohem LAI_e bessere Ergebnisse als ein lineares Modell. Die Ursache könnten Sättigungseffekte sein, die generell bei der Messung und Modellierung des LAI_e mit optischen Verfahren auftreten. Die relativ schwache Beziehung für die Winterweizenschläge ($R^2 = 0,60$) ist im Wesentlichen auf die geringe Bestandesheterogenität auf Schlag 341 zurückzuführen.

Inwieweit sich die Bestandesparameter als Indikator für die Ableitung von Bodeneigenschaften der untersuchten Schläge eignen und welchen Beitrag Fernerkundungsmethoden im Vergleich und in Kombination mit anderen nicht-invasiven Methoden leisten können, wird in einem nächsten Schritt analog zu den bisher erarbeiteten Auswertungsansätzen untersucht.

3.1.3.3 VERIS 3000 „Profiler“

In einem ersten Analyseschritt konnte bereits eine dominante Wirkung der sandigen Substrate auf den Durchdringungswiderstand identifiziert werden (vgl. Abbildung 6). Die in der Verdichtungszone verfügbaren Bodendaten wurden daher nach der Hauptkörnungsart (bestimmt n. KA5) in die Kategorien „Sand“ (Sand plus Sandlehme) und „andere“ aufgeteilt.

Bei den sandigen Substraten zeigen sich positive Zusammenhänge zwischen D_w und dem Sandgehalt ($R^2 = 0,50$) sowie der Lagerungsdichte ($R^2 = 0,38$). Ein umgekehrt proportionaler Zusammenhang kann für die Fraktionen Ton- und Schluffgehalt ($R^2 = 0,46$ bzw. $0,48$) sowie Gehalt an organischer Substanz ($R^2 = 0,21$) festgestellt werden. Unter den drei Fraktionen Grob-, Mittel- und Feinsand ist der Mittelsand (mS) an allen untersuchten Standorten die dominierende Einflussgröße auf D_w ($R^2 = 0,72$). Durch die starken Interkorrelationen zwischen Ton-, Schluff- und Sand- bzw. Mittelsandgehalten ($R^2 > 0,49$) wurde nur die letzte Fraktion für die weiteren statistischen Analysen betrachtet.

Die Anwendung multipler linearer Regressionen liefert eine hochsignifikante Abhängigkeit ($R^2 = 0,81$) des D_w von der Mittelsandfraktion (mS), dem Gehalt an organischer Substanz (C_{org}) und der Lagerungsdichte (LD). Die standardisierten Regressionskoeffizienten (beta) als Maß für den Erklärungsanteil der jeweiligen Variable auf D_w weisen die mS-Fraktion als dominierende Einflussgröße (beta = $0,708$) vor LD und C_{org} aus.

Bei den „nicht sandigen Substraten“ lässt sich lediglich eine schwache Korrelationen zwischen D_w und dem Schluffgehalt feststellen ($R^2 = 0,11$). Die multiple Regressionsanalyse unter Einbeziehung der Variablen Schluffgehalt, C_{org} und LD liefert keinen signifikanten Zusammenhang. Erst die Hinzunahme des Skelettanteils (Sk) führt zu einem signifikanten Ergebnis, jedoch auf niedrigem Niveau ($R^2 = 0,24$). In Tabelle 10 sind die Ergebnisse der statistischen Analyse zusammengefasst.

Tabelle 10: Koeffizienten, Bestimmtheitsmaße und standardisierte Koeffizienten der multiplen Regressionsanalyse zur Schätzung des Durchdringungswiderstands D_w für die Kategorien „sandige Standorte“ und „andere“

Table 10: Coefficients, coefficients of correlation and standardised coefficients for the multiple regression analysis for the estimation of penetration resistance D_w on “sandy soils” and “others”

Kategorie categorie	Schnittpunkt	Regressionskoeffizienten coefficients of regression				R^2	Standardisierte Regressionskoeffizienten standardised coefficients of regression			
		mS	C_{org}		LD		mS	C_{org}		LD
		[g Kg ⁻¹]			[Mg m ⁻³]					
Sand	-2,454	0,007		0,046	1,691	0,81***	0,709		-0,182	0,177
Andere	0,131	Schluff	Sk	C_{org}	LD		Schluff	Sk	C_{org}	LD
		0,002	0,002	0,015	0,377	0,24*	0,563	0,400	0,152	0,134

Die Untersuchungen der Wirksamkeit von bodenphysikalischen Eigenschaften auf das Resultat der Biomasseentwicklung am Ende der Vegetationsperiode basieren auf der gleichen Aufteilung der Standorte wie bei D_w in sandige- und nicht sandige Substrate. Die Verwendung des gewogenen Mittels der Ton-, Schluff- und Sandgehalte bis 90 cm Bodentiefe hatte auf die standörtliche Zusammensetzung der Gruppen keinen Einfluss. Neben den Texturdaten der Standorte wurde der D_w in der Krumbasis als weiterer Prädiktor für die normierte Biomasse verwendet.

Auf den sandigen Standorten ist ein negativer Zusammenhang zwischen normierter Biomasse und dem Sandgehalt ($R^2 = 0,31$) sowie D_w ($R^2 = 0,48$) zu beobachten. Positiv korreliert ist die normierte Biomasse mit den Ton-, und Schluffgehalten ($R^2 = 0,41$ bzw. $0,25$) sowie C_{org} ($R^2 = 0,44$). Zum Skelettgehalt ist statistisch kein Zusammenhang nachweisbar.

Durch die wiederum hohen Interkorrelationen zwischen den Texturklassen gingen nur der Tongehalt, C_{org} und D_w in die multiple Regressionsanalyse ein. Die einzelnen Beziehungen zwischen normierter Biomasse und den Bodenparametern weisen in der Regel einen nichtlinearen Trend auf. Unterstellt man als Funktionstyp eine Potenzfunktion, kann die normierte Biomasse über die Cobb-Douglas Transformation linearisiert werden.

Die Variation der normierten Biomasse lässt sich mit diesem Funktionstyp zu 58 % durch den Tongehalt, C_{org} und D_w erklären ($R^2 = 0,58$). Den stärksten Einfluß auf die Variation hat D_w (beta = -0,435), gefolgt vom Tongehalt und C_{org} (Tabelle 11).

Tabelle 11: Koeffizienten, Bestimmtheitsmaße und standardisierte Koeffizienten der multiplen Regressionsanalyse zur Schätzung der normierten Biomasse für die Kategorien „sandige Standorte“ und „andere“

Table 11: Coefficients, coefficients of correlation and standardised coefficients for the multiple regression analysis for the estimation of normalised biomass on “sandy soils” and “others”

Kategorie categorie	Schnittpunkt	Regressionskoeffizienten coefficients of regression			R ²	Standardisierte Regressionskoeffizienten standardised coefficients of regression		
		Ton_90	C _{org} _90	Dw		Ton_90	C _{org} _90	Dw
Sand	ln	[g Kg ⁻¹]		[N mm ⁻²]				
	4,247	0,102	0,059	-0,266	0,58***	0,292	0,102	-0,435
Andere		Ton_90	C _{org} _90	Dw	R ²	Ton_90	C _{org} _90	Dw
	121,112	0,028	1,605	-20,879	0,28**	0,128	0,199	-0,456

Aufgrund der geringen Streuung der normierten Biomasse auf den nicht-sandigen Standorten sind keine signifikanten Beziehungen zu Texturparametern festzustellen. Dennoch ist auch hier eine signifikante Wirkung des Dw in der Krumbasis auf die normierte Biomasse ($R^2 = 0,47$) erkennbar. In der multiplen Regressionsanalyse sind signifikante Abhängigkeiten vom Tongehalt und C_{org} nachweisbar, die aber im Vergleich zu Dw eine untergeordnete Rolle spielen. Entsprechend liegt der multiple Korrelationskoeffizient, obwohl signifikant, auf niedrigem Niveau ($R^2 = 0,28$).

3.1.4 Diskussion

Verschiedene nicht- und minimal-invasive Verfahren zur Abbildung räumlicher Heterogenität von ertragsrelevanten Standorteigenschaften wurden in repräsentativen Ausschnitten höchst unterschiedlicher Bodenlandschaften eingesetzt. Ziel war die Überprüfung der einzelnen und kombinierten Potentiale (i) optischer Fernerkundung, (ii) elektromagnetischer Induktion, (iii) Reliefanalysen und (iv) Durchdringungswiderstandsmessungen zur Ausweisung von Managementzonen mit Hilfe einer integrativen Standortanalyse.

Die Messung der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (EC_a) von Böden mit dem Instrument EM38 ist das im Precision Farming am häufigsten eingesetzte nicht-invasive Verfahren. Die Analyse potentieller Einflussgrößen auf das EC_a-Signal im Untersuchungsgebiet zeigte, dass ein Großteil der Varianz durch standortspezifische Bodeneigenschaften erklärt werden kann. Überraschenderweise beeinflusste dabei der organische und anorganische Kohlenstoff die scheinbaren Leitfähigkeiten in größerem Maße als der Ton. Zudem konnte die Verwendung der geologischen Karte (1:25.000) bereits einen signifikanten Erklärungsbeitrag zur Signalintensität liefern. Der Einfluss von Reliefparametern war hingegen vernachlässigbar. Bedingt durch unterschiedliche Messtermine konnten allerdings lediglich 56 % der Varianz des EC_a-Signals im Untersuchungsgebiet erklärt werden.

Ein wesentlicher Fortschritt für die Auswertung und Kalibrierung von EC_a-Messungen auf benachbarten (aber bisher individuell betrachteten) Schlägen ist durch die Neuentwicklung eines geostatistischen Verfahrens erzielt worden. Damit lassen sich die Kosten einer lokalen Kalibrierung deutlich reduzieren. Zukünftig ist zu prüfen, inwieweit sich multitemporale Fernerkundungsdaten nach dem gleichen Verfahren anpassen lassen.

Zur räumlich differenzierten Abbildung von Bestandesparametern – als Indikator für bodenbedingte, statische Standorteigenschaften – wurde eine Fernerkundungsszene des IKONOS II Satelliten eingesetzt. Die kulturspezifische Ableitung des effektiven LAI über eine semi-physikalische Modellierung

für die untersuchten Winterweizen- und Triticaleschläge zeigte deutliche Unterschiede in der räumlich differenzierten Abreife der Bestände. Dies kann als klarer Hinweis auf bodenbedingte Defizite in der Wasserversorgung gewertet werden. Die enge Beziehung zwischen modelliertem LAI_e und Biomasseerhebungen ermöglicht die flächenhafte Abbildung der trockenen Biomasse als kumuliertes Ergebnis aller ertragsrelevanten Faktoren. Grundsätzlich kann die Ableitung von Bestandesparametern aus optischen multi- oder hyperspektralen Fernerkundungsdaten mit verschiedenen Modellierungsansätzen erfolgen.

Gegenüber physikalisch basierten Modellen benötigt der semi-physikalische Ansatz nur wenig Eingangsparameter und kann somit operationell umgesetzt werden. Entscheidender Nachteil ist der Aufwand durch die erforderlichen Messungen der Zielgröße LAI im Untersuchungsgebiet und damit verbunden, die fehlende Übertragbarkeit auf andere Gebiete. Unabhängig vom Modellierungsansatz und verschiedenen Problemen (Wetterverhältnisse, Satellitenverfügbarkeit etc.) hat sich die Fernerkundung zu einem unverzichtbaren Instrument in der räumlichen Modellierung entwickelt, da es als einziges nicht-invasives Verfahren großflächig und lückenlos multiple Informationen über Zustände der Erdoberfläche liefert.

Als minimal-invasives Instrument kam der VERIS 3000 Profiler zur Bestimmung des vertikalen Durchdringungswiderstandes (Dw) zum Einsatz. Eine deutliche Abhängigkeit des Dw in der Verdichtungszone vom Sandgehalt und der Lagerungsdichte zeigt sich nur auf Standorten aus sandigem Ausgangsmaterial. Für die Entwicklung der Biomasseerträge ist neben dem Ton und der organischen Bodensubstanz auch das Ausmaß der Verdichtung in der Krumenbasis von Bedeutung. Der Zusammenhang ist wiederum auf den sandigen Standorten ausgeprägter, was z. T. auf die geringe Schwankungsbreite der Dw-Werte auf den anderen Standorten zurückzuführen ist. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die Messungen des Durchdringungswiderstandes einen Beitrag zur Charakterisierung von ertragsrelevanten Bodeneigenschaften leisten können (Stichwort: Verdichtungszone). Zukünftig lassen sich somit Problemzonen besser und kostenminimierend eingrenzen. Durch eine zielgerichtete Kombination vom EM 38 und VERIS 3000 „Profiler“ lassen sich zunächst die sandigen Areale räumlich explizit ausgrenzen und nachfolgend die dort vorhandenen Zonen mit Schadverdichtung identifizieren. Ein weiteres Potential einer Gerätekombination besteht in der Ableitung vertikaler Bodenfeuchteprofile und der tiefenabhängigen Interpretation von ECa-Signalen aus EM38 Messungen.

Literatur

- BIRD, R.E. (1984): A simple spectral model for direct normal and diffuse horizontal irradiance, *Sol. Energy*, 32, 461 – 471.
- BRENNING, A., S. KOSZINSKI & M. SOMMER (2008): Geostatistical homogenization of soil conductivity across field boundaries. *Geoderma*, 143, 254 – 260.
- DOMSCH, H. & A. GIEBEL (2004): Estimation of soil textural features from soil conductivity recorded using the EM38. *Precision Agriculture*, 5, 389 – 409.
- DRUMMOND, P.E., C.D. CHRISTY & E.D. LUND (2000): Using an automated penetrometer and soil EC probe to characterize the rooting zone. *Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)*, July 16 – 19. Bloomington, MN, USA.
- DURLESSER, H. (1999): Bestimmung der Variation bodenphysikalischer Parameter in Raum und Zeit mit elektromagnetischem Induktionsverfahren. *FAM-Bericht 35*, Shaker Verlag Aachen.

- CLEVERS, J.G.P.W. (1986): Application of remote sensing to agricultural field trials. Agricultural University Wageningen Papers, 86 – 4.
- CLEVERS, J.G.P.W. (1988): The Derivation of a Simplified Reflectance Model for the Estimation of Leaf Area Index. *Remote Sens. Environ.*, 25, 53 – 69.
- KÜHN, J., A. BRENNING, M. WEHRHAN, S. KOSZINSKI & M. SOMMER (in prep.): Interpretation of EC_a patterns for precision farming by detailed landscape knowledge. Submitted to Precision Agriculture.
- LI-COR (1991): LAI-2000 Plant Canopy Analyser Operating Manual. LI-COR Inc., Lincoln, NE, 90 pp.
- McNEILL, J.D. (1980): Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers. Geonics Limited, Technical Note TN-6.
- McNEILL, J.D. (1992): Rapid, accurate mapping of soil salinity by electromagnetic ground conductivity meters. In: *Advances in Measurements of Soil Physical Properties: Bringing Theory into Practice*. SSSA.Special Publication 30 (ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, USA), pp. 209 – 229.
- SOMMER, M., M. WEHRHAN, M. ZIPPRICH, U. WELLER, W. ZU CASTELL, S. EHRICH, B. TANDLER & T. SELIGE (2003): Hierarchical data fusion for mapping soil units at field scale. *Geoderma*, 112, 179 – 196.
- SOMMER, M., M. WEHRHAN, M. ZIPPRICH & U. WELLER (2007): Assessment of soil landscape variability. Chapter 4.2. In: Schröder, P., J. Pfadenhauer & J. Munch [Ed.]: *Perspectives for Agroecosystem Management*, Elsevier, Wageningen, 456 p.
- SUDDUTH, K.A., S.R. DRUMMOND & N.R. KITCHEN (2001): Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture. *Computer and Electronics in Agriculture*, 31, 239 – 264.

Anschrift der Autoren:**Dipl.-Geogr. Marc Wehrhan**

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.

Institut für Bodenlandschaftsforschung

Eberswalder Str. 84

15374 Müncheberg

Telefon: (033432) 82-263

Telefax: (033432) 82-280

E-Mail: wehrhan@zalf.de

Dr. Jürgen Kühn

Überlinger Str. 39

78628 Rottweil

Dr. Alexander Brenning

Assistant Professor
University of Waterloo
Department of Geography
Waterloo, ON
Canada N2L 3G1
Telefon: +1 519 8884567 ext 35783
Telefax: +1 519 7460658
E-Mail: brenning@uwaterloo.ca

Dr. agr. Helmut Rogasik

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.
Institut für Bodenlandschaftsforschung
Eberswalder Str. 84
15374 Müncheberg
Telefon: (033432) 82-281
Telefax: (033432) 82-280
E-Mail: hrogasik@zalf.de

Univ.-Prof. Dr. habil. Michael Sommer

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.
Institut für Bodenlandschaftsforschung
Eberswalder Str. 84
15374 Müncheberg
Telefon: (033432) 82-282
Telefax: (033432) 82-280
E-Mail: sommer@zalf.de

3.2 Erfassung von Bestandeszuständen durch Fernerkundung zur modellgestützten Analyse aktueller Ertragsziele

Derivation of canopy parameters from remote sensing data for model-based analyses to obtain up-to-date yield goals

Heike Bach & Silke Begiebing

Zusammenfassung

Das Teilprojekt 13 hatte die modellgestützte Analyse von Fernerkundungsdaten eines Abbildenden Spektrometers zur Erfassung von Bestandeszuständen auf den Pilotbetrieben des Verbundprojektes zum Ziel. Das Abbildende Spektrometer AVIS (Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer) wurde eingesetzt, um multitemporal (3 – 4 Aufnahmen pro Vegetationsperiode) die Reflexionen der Bestände mit einer hohen räumlichen Auflösung (2 bis 4 m) zu erfassen. Zusätzlich wurden Fernerkundungsdaten des hyperspektralen und multidirektionalen Sensors CHRIS durch die ESA bereitgestellt und genutzt.

Auf der Basis dieser spektralen Messungen wurden die Bestandesparameter grüner Blattflächenindex, Anteil seneszenten Materials und Blattwinkelverteilung erfolgreich abgeleitet. Dazu wurde eine Inversion des Strahlungstransfermodells SLC, das die Reflexion eines Pflanzenbestandes simuliert, eingesetzt. Durch schrittweise Anpassung der Bestandesparameter wurden dabei die modellierten Reflexionswerte für jedes Pixel an die gemessenen angepasst und damit eine kalibrierte räumliche Verteilung der Bestandesparameter ermittelt. Diese modellgestützte Analyse ermöglicht eine quantitative Auswertung, die unabhängig von Indizes und Regressionen ist, und damit auch eine regionale Übertragbarkeit der Ergebnisse. Die grüne Blattfläche sowie der Anteil an seneszentem Material wurden rein aus den spektralen Informationen errechnet, für die Blattwinkelverteilung wurde die zusätzliche Information über die Pflanzengeometrie ausgenutzt, die der CHRIS-Sensor durch die Aufnahme von 5 Beobachtungswinkeln in einem Überflug bietet. Die Blattwinkelverteilung innerhalb von Winterweizenbeständen variiert mit der phänologischen Entwicklung. Es wurde gezeigt, dass es möglich ist, diese Änderung an den Anteil seneszenten Materials zu koppeln, nachdem die Blattwinkelverteilung für verschiedene phänologische Phasen erst einmal aus den multiangularen Daten bekannt ist. Dies ermöglicht eine genauere Ableitung aller weiteren gewünschten Bestandesparameter. Die Ergebnisse der Ableitung der Bestandesparameter wurden mit den Daten aus den innerhalb von *pre agro* II durchgeführten Felderhebungen auf den Pilotbetrieben validiert.

Im zweiten modellgestützten Schritt wurde eine Assimilation der gewonnenen Bestandesinformationen in das Wachstumsmodell PROMET-V durchgeführt. In diesem Modell wird der tägliche Anstieg der Biomasse unter Berücksichtigung der meteorologischen Verhältnisse und der Bodenbedingungen simuliert. An den Zeitpunkten der Fernerkundungsaufnahmen können dabei die abgeleiteten Bestandesparameter als aktuelles Update verwendet werden. Hierdurch finden auch Prozesse Beachtung, die in der Modellierung ohne zusätzliche Information über den Bestand sonst nicht berücksichtigt werden könnten. Das Ergebnis dieser Modellierung sind aktuelle Ertragsziele, die als Entscheidungsgrundlage in der Maßnahmengestaltung bei Precision Farming verwendet werden können.

Zusätzlich zu diesen zentralen Arbeitspunkten wurde, da dies innerhalb des Projekts diskutiert und als sinnvolle Anwendung für die Praktiker gewünscht wurde, in Zusammenarbeit mit TP 3 ein ökonomischer Heterogenitätsindikator entwickelt. Dieser Indikator basiert auf der Verwendung von Fern-

erkundungsdaten und einigen wenigen ökonomischen Kenngrößen (mittlerer Ertrag, Düngemenge, Düngekosten), die dem Praktiker vorliegen.

Mit Hilfe dieser Daten kann abgeschätzt werden, ob die Heterogenität auf einem Schlag ausreicht, um dem Landwirt beim Einsatz von Precision Farming monetäre Vorteile zu bringen, ohne dass der Betrieb bereits in Precision Farming Technologie investieren muss.

Summary

The goal of subproject 13 was the model-based analysis of remote sensing data for derivation of canopy parameters. For this, the imaging spectrometer AVIS (Airborne Visible Infrared Spectrometer) was used. Multi-temporal (3 – 4 over-flights per vegetation period) reflectance values of the canopies with a high spatial resolution of 2 – 4 m were acquired. Additionally, remote sensing data of the hyperspectral, bi-directional satellite sensor CHRIS was provided by ESA and applied.

On the basis of these spectral measurements the canopy parameters green leaf area index, fraction of senescent material und leaf angle distribution were successfully retrieved. For this, an inversion of the radiative transfer model SLC, which simulates the reflectance of different canopies, was used. Through step-wise approximation of the canopy parameters the modelled reflectance values are fitted to the measured values and a calibrated spatial distribution of the canopy parameters is derived. The model-based approach allows for a quantitative analysis which is independent from indices and regression analyses. Thus, it allows for transferability of the results in space and time. The green leaf area index as well as the fraction of senescent material was calculated from the spectral information alone, while for the leaf angle distribution also the additional information content concerning the canopy structure that the CHRIS sensor provides by acquiring data of five different observation angles in one over-flight was used. The leaf angle distribution within winter wheat canopies varies with the phenological development. It was shown that it is possible to link this variation to the fraction of senescent material once the leaf angle distribution is known for different phenological stages from multi-angular data. This makes possible a more precise derivation of all other desired canopy parameters. The results of the parameter retrieval were validated with data from the monitoring done within *pre agro II*.

In a second model-based step, the assimilation of the canopy information into the crop growth model PROMET-V was conducted. This model simulates the daily increase in biomass under consideration of the meteorological conditions and the soil properties. At the times of the remote sensing acquisitions the derived canopy parameters are then used to update the simulation. With this approach, processes that usually can not be taken into account without additional information about the canopy can be incorporated in the model run. The results of this simulation are up-to-date yield goals which can be used as a basis for decision making in Precision Farming.

In addition to these main work packages, an economic indicator of heterogeneity was developed in cooperation with subproject 3. This had been discussed within *pre agro II* and was desired as a necessary and useful tool for farmers. The indicator is based on remote sensing data and a few economic variables (average yield, amount of fertilization, fertilizer costs) which are available at every farm. With the help of this information an estimation can be made to decide if the within-field heterogeneity is big enough for a good cost-effectiveness of Precision Farming without investing in Precision Farming technology beforehand.

3.2.1 Einleitung und Problemstellung

Eine große Herausforderung für das Precision Farming ist das zeitaufwändige und kostenintensive Monitoring der Flächen des Betriebes. Es kann fast immer nur an ausgewählten Schlägen durchgeführt werden. Fernerkundungsdaten bieten eine Möglichkeit, große Flächen mit relativ geringem Kostenaufwand abzudecken und relevante Bestandesinformationen zu erhalten, die in der Maßnahmengestaltung des Precision Farming, z. B. in der teilflächenspezifischen Düngung, aktiv helfen können. Wichtig ist hierbei jedoch, sich von der rein visuellen Interpretation zu lösen und quantitative Auswertungen zu liefern, die später direkte Eingangsdaten für andere Teile des Gesamtsystems „Precision Farming“, also z. B. für die Steuerung des Düngerstreuers, sein können. Aus diesem Grund wurden im Teilprojekt 13 des *pre agro* II-Projekts modellgestützte quantitative Auswertungen von Fernerkundungsdaten zur Ermittlung von Bestandeszuständen und aktuellen Ertragszielen durchgeführt.

Für diese Auswertungen wurden hyperspektrale Fernerkundungsdaten, also Daten mit einer sehr hohen Anzahl an einzelnen aufgenommenen Wellenlängenbereichen, verwendet. Die Auswertungen konzentrierten sich auf Weizen. Um die durch die Daten abgebildeten Spektren in ihrem vollen Informationsgehalt zu nutzen, werden keine Vegetationsindizes, wie z. B. NDVI (ROUSE 1973), genutzt, die nur auf wenigen Kanälen beruhen. Stattdessen werden durch Nutzung von Strahlungstransfermodellen die physikalischen Hintergründe der beobachteten spektralen Reflexion nachvollzogen. Dadurch können pflanzenphysiologische Größen wie die Blattfläche, der Anteil seneszenten Materials, der Chlorophyll- und Wassergehalt der Bestände aus den spektralen Informationen ermittelt werden. Diese Informationen können dann in Ertragsmodelle integriert werden, um die räumliche Variation der Produktion der Bestände zu simulieren. Dabei werden wenn möglich Zeitserien genutzt. Der Verzicht auf Regressionsanalysen garantiert eine Übertragbarkeit der Ergebnisse.

Für das *pre agro* II-Projekt wurden als zu bestimmende Parameter nur solche gewählt, die auch mit Ground Truth aus dem Projekt überprüft werden können, da eine hohe Zuverlässigkeit der ermittelten Daten für die praktischen Anwendungen wichtig ist. Das bedeutet, dass im *pre agro* II der grüne Blattflächenindex (LAI) und der Anteil seneszenten Materials aus hyperspektralen Fernerkundungsdaten für alle Weizenschläge bestimmt wurden. Zudem wurden diese Parameter als Eingangsdaten für das Bestandeswachstumsmodell PROMET-V (SCHNEIDER & MAUSER 2000) genutzt, um den Ertrag zu modellieren.

3.2.2 Material und Methoden

Sensoren

Als Grundlage der Modellierungen wurden in Teilprojekt 13 Aufnahmen des Abbildenden Spektrometers AVIS (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer, siehe Abbildung 12) (Mauser 2003) verwendet. Mit diesem Sensor wurden 3- bzw. 4-mal pro Vegetationsperiode Befliegungen der Testgebiete durch das GTCO (Ground Truth Centre Oberbayern) durchgeführt. Dabei wurden alle für Versuche genutzten Testschläge überflogen. Die Bilddaten wurden vom GTCO prozessiert und geometrisch korrigiert ausgeliefert. Außerdem wurde der Einfluss der Atmosphäre korrigiert. Das Ergebnis der Vorprozessierung sind Reflexionswerte in 64 Kanälen, die das Spektrum von 400 bis 900 nm abdecken. Die Daten wurden vom Teilprojekt 13 gesichtet und auf ihre Qualität kontrolliert, sowie für die Bereitstellung in der preagro-Datenbank *preagro* aufbereitet. Der gesamte im preagro Projekt erfasste Datenbestand ist in Tabelle 12 zusammengefasst.

Tabelle 12: Übersicht über die Aufnahmetermine von AVIS

Table 12: Overview over the acquisition dates of AVIS

Jahr	Tag	Untersuchungsgebiet	Phänologisches Stadium
2005	21.06.	WIMEX	Milchreife Weizen
	15.07.	WIMEX* Groß-Twülpstedt	Abreife Weizen
	30./31.08.	WIMEX	Milchreife Mais
2006	24.05.	WIMEX*	Schossen Weizen
	13.06.	WIMEX	Blüte Weizen
	22./23.06	Groß-Twülpstedt*	Ende Blüte Weizen
	03.07.	WIMEX Groß-Twülpstedt	Milchreife Weizen
	05.09.	WIMEX*	Milchreife Mais
2007	23.04.	WIMEX Groß-Twülpstedt*	Auflaufen Weizen
	11.06.	WIMEX* Groß-Twülpstedt*	Blüte Weizen
	30.08.	WIMEX*	Milchreife Mais

* teilweise Wolken / Wolkenschatten

Zusätzlich wurden in der Tabelle die relevanten phänologischen Stadien an den Terminen aufgeführt. Zusätzlich zum Projektantrag wurden Satellitendaten des Spektrometers CHRIS von der ESA zur Verfügung gestellt (Bach et al. 2005). CHRIS deckt mit 37 bzw. 62 Kanälen ein ähnliches Spektrum ab wie AVIS (400 – 1100 nm), hat aber im Gegensatz zum AVIS eine geringere Bodenauflösung von 18 m bzw. 36 m. CHRIS hat den momentan einzigartigen Vorteil bei einem Überflug das gleiche Gebiet hochauflösend mit fünf verschiedenen Winkeln aufnehmen zu können (siehe Abbildung 12 rechts). Dadurch sieht man einen Bestand aus unterschiedlichen Beobachtungsrichtungen. Aus den Unterschieden des Rückstreuensignals durch die Verteilung von Licht und Schatten (BRDF = Bidirectional Reflectance Distribution Function) bietet CHRIS damit die Möglichkeit, vom Weltall aus Aussagen über die Struktur des Bestandes zu treffen.

Tabelle 13: Übersicht über die Aufnahmetermine von CHRIS

Table 13: Overview over the acquisition dates of CHRIS

Jahr	Tag	Untersuchungsgebiet	Phänologisches Stadium
2004	09.09.	WIMEX	Bodenparametrisierung
2005	04.04.	WIMEX	Auflaufen Weizen
	19.06.	WIMEX	Milchreife Weizen
	24.07.*	Groß-Twülpstedt	Abreife Weizen
	19.08.*	Groß-Twülpstedt	Bodenparametrisierung
2006	14.04.*	WIMEX	Auflaufen Weizen
	12.06.*	WIMEX	Blüte Weizen
	13.06.	Groß-Twülpstedt	Blüte Weizen
	10.07.*	Groß-Twülpstedt	Milchreife Weizen
	07.09.	WIMEX	Milchreife Mais
2007	19.04.*	WIMEX	Auflaufen Weizen
	29.04.	Groß-Twülpstedt	Auflaufen Weizen
	16.05.*	Groß-Twülpstedt	Schossen Weizen
	12.06.	Groß-Twülpstedt	Blüte Weizen
	19.08.*	WIMEX	Milchreife Mais
	20.08.*	WIMEX	Milchreife Mais

* teilweise Wolken / Wolkenschatten

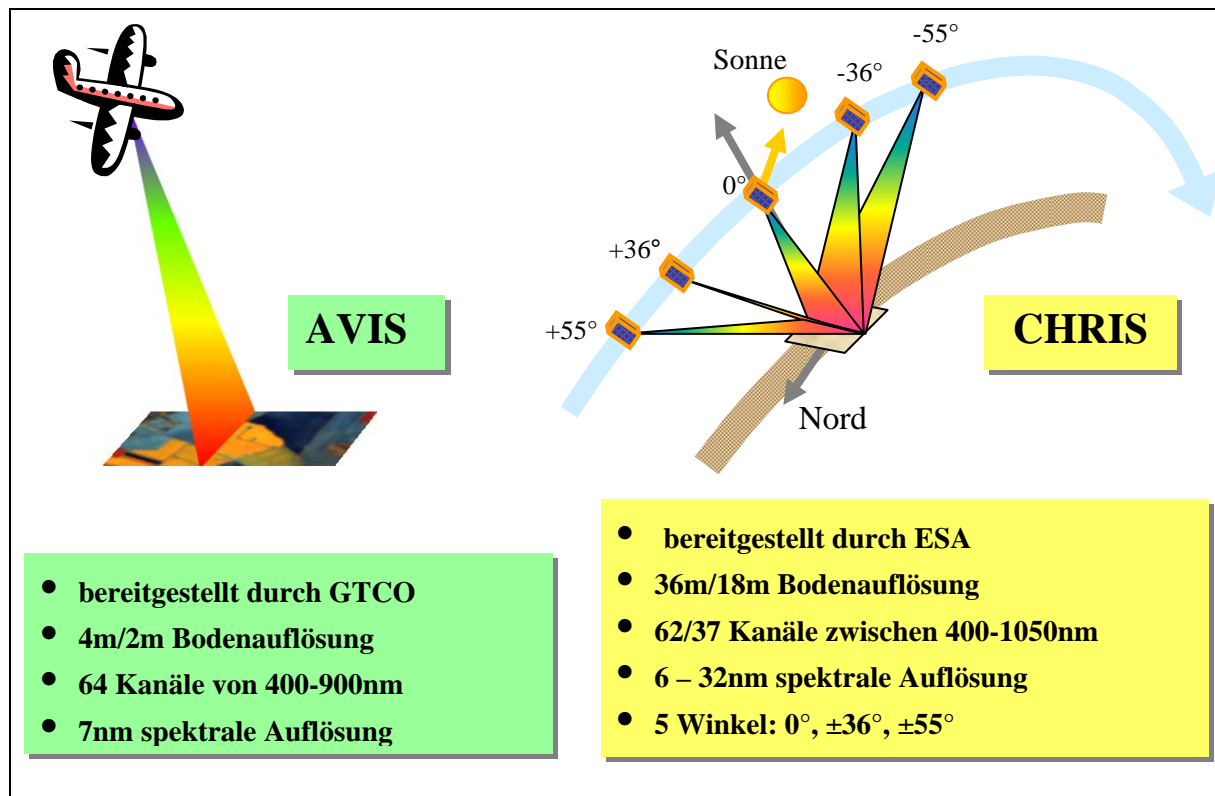


Abbildung 12: Überblick über die zwei verwendeten Sensoren. Links der flugzeuggetragene Sensor AVIS (Airborne Visible / Infrared Imaging Spectrometer), rechts der satellitengetragene Sensor CHRIS (Compact High Resolution Imaging Spectrometer)

Figure 12: Overview of the two sensors. On the left side the air-borne sensor AVIS (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer), on the right side the space-borne sensor CHRIS (Compact High Resolution Imaging Spectrometer)

Modelle

Um aus den Fernerkundungsdaten Bestandesparameter abzuleiten, wurden keine statistischen Verfahren verwendet, die abhängig vom speziellen Überflug sind. Stattdessen wurden die Fernerkundungsdaten so aufbereitet, dass von den Aufnahmebedingungen unabhängige spektrale Signaturen der Landnutzungen das Ergebnis sind. Aus diesen Spektren können mit Hilfe eines Strahlungstransfermodells die gewünschten Bestandesparameter abgeleitet werden.

Dazu wurde im TP 13 eine Inversion des Modells SLC, Soil-Leaf-Canopy, entwickelt (VERHOEF & BACH 2007). Dieses Modell ist eine Weiterentwicklung von GeoSAIL (VERHOEF & BACH 2003) bzw. SAILH (VERHOEF 1985), die in Kooperation zwischen dem NLR (National Aerospace Laboratory) in den Niederlanden und VISTA ausgeführt wurde. Das Modell verwendet biochemische Eigenschaften der Pflanzen (wie Chlorophyll-, Cellulose- und Wassergehalt), strukturelle Bestandeseigenschaften (wie Blattfläche, Blattwinkelverteilung, Bodenbedeckung) sowie optische Bodeneigenschaften und die Beobachtungsgeometrie als Eingangsgrößen (siehe Abbildung 13). Ein nicht-Lambertsches Boden-BRDF-Modell zur Simulation der Bodenreflexion und ihrer Variation mit der Bodenfeuchte wurde in SLC integriert. Grüne (photosynthetisch aktive) und braune (photosynthetisch inaktive) Blattanteile und ihre Verteilung im Bestand werden unterschieden. Die Transmission der grünen und braunen Blätter wird in Abhängigkeit von der Blattstruktur, dem Chlorophyll- und Wassergehalt durch das PROSPECT-Teilmodell (JACQUEMOUD & BARET 1990) simuliert. Der Bestand wird in zwei Schichten aufgeteilt, deren Anteil brauner Blätter sich unterscheiden kann, um den in Beständen häufig beob-

achteten Gradienten der Blattfarbe zu berücksichtigen. Die Stärke der Durchmischung der grünen und braunen Blätter zwischen den beiden Schichten wird durch einen Dissoziationsfaktor angegeben. Die Strukturinformation über die Geometrie des Bestandes wird mit zwei Parametern angenähert, die den mittleren Winkel der Blattstellung und die Dissoziation der Blattwinkelverteilung beschreiben (VERHOEF 1998). Außerdem wird die Winkelabhängigkeit der Bestandesreflexion (BRDF) durch einen so genannten „Hot-Spot“-Parameter berücksichtigt.

Die optischen Koeffizienten wurden auf die spektralen Spezifikationen der Sensoren AVIS und CHRIS angepasst. Die Ableitung der Bestandesparameter geschieht über eine Inversion des Modells, wobei die Minimierung der Abweichung (niedrigster RMS-Fehler) zwischen simuliertem und gemessenem Reflexionsspektrum das Kriterium für den „best fit“ jedes invertierten Bestandesparameters ist. Die abzuleitenden Parameter werden solange modifiziert, bis die beste Anpassung an das gemessene Spektrum erreicht ist. Um die Rechenzeit der Invertierung zu reduzieren, wurden im Projekt eine „golden section“ Methode und eine „look up table“ Methode, die speicheraufwändiger, aber noch schneller ist, implementiert.

Die Gesamtzahl der notwendigen Eingabeparameter in SLC (vgl. Abbildung 13) wirkt zunächst sehr groß, doch wenn man die Gruppen näher betrachtet, sieht man, dass der größte Teil der Parameter bekannt ist. Die Beobachtungs-Parameter werden bei Fernerkundungsaufnahmen automatisch mitprotokolliert, viele der Blatt- und Bestandesparameter wie z. B. der Gehalt an Trockensubstanz und die Mesophyll-Struktur, können als annähernd konstant für jede einzelne Nutzungsart angesehen und größtenteils in der Literatur gefunden werden. Die Bodendaten müssen nur einmal für die relevanten Bodentypen parametrisiert werden und können aus vegetationsfreien Aufnahmen abgeleitet werden. So bleiben nur wenige variable Parameter zur eigentlichen Inversion.

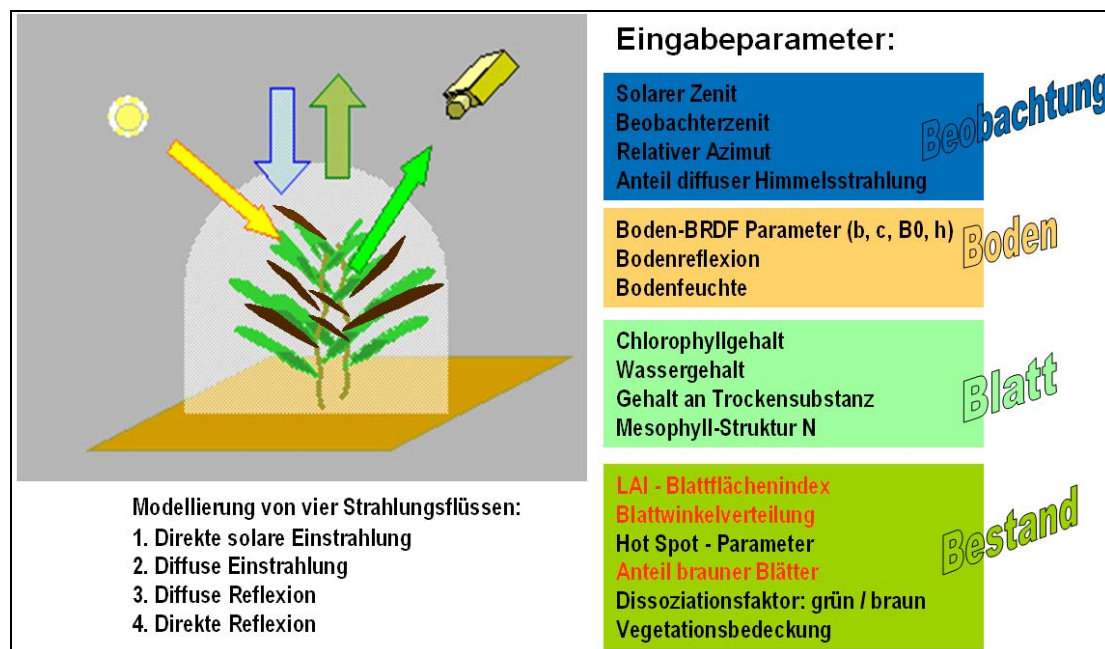


Abbildung 13: Überblick über das Strahlungstransfermodell SLC und die benötigten Eingabeparameter. In rot gekennzeichnete Parameter wurden mittels Invertierung ermittelt.

Figure 13: Overview over the radiative transfer model SLC and the necessary input parameters. Parameters shown in red were retrieved via model inversion.

In Tabelle 14 sind die für SLC genutzten Eingabeparameter für Weizen zusammengefasst.

Tabelle 14: Überblick über die in SLC verwendete Weizenparametrisierung

Table 14: Overview over the parametrisation of wheat in SLC

Boden	
Boden-BRDF-Parameter b	0.84
Boden-BRDF-Parameter c	0.68
Boden-BRDF-Parameter B0	0.30
Boden-BRDF-Parameter h	0.23
Bodenreflexion [%]	gemessen mit SIRIS-Spektrometer aus Bodenproben
Bodenfeuchte [%]	Variabel
Blatt	
Chlorophyllgehalt [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$]	70 (grüne Blätter); 0 (braune Blätter)
Wassergehalt [g/cm^2]	0.011 (grüne Blätter); 0.000 (braune Blätter)
Gehalt an Trockensubstanz [g/cm^2]	0.005 (grüne Blätter); 0.01 (braune Blätter)
Mesophyllstruktur N	1.8 (grüne Blätter); 3 (braune Blätter)
Bestand	
LAI [m^2/m^2]	Variabel
Blattwinkelverteilung LIDF a	0.50 – 0.90 (je nach Anteil seneszent)
Blattwinkelverteilung LIDF b	0.10
Hot Spot-Parameter	0.01
Anteil seneszenten Material [%]	Variabel
Dissoziationsfaktor	0.3
Vegetationbedeckung	1

Zur Ermittlung der übrigen Eingabeparameter für die Nutzungsart Winterweizen wurde eine Auswertung der von TP 14 zur Verfügung gestellten Fotos der Monitoringpunkte der Testschläge Finkenherd in WIMEX und Rabenberg in Groß-Twülpstedt vorgenommen. Aus den Vertikalaufnahmen des Bestandes wurde der mittlere Blattwinkel ermittelt. Dabei wurde von jeder im Bild erkennbaren zum Bestand gehörenden Linie Winkel und Länge berechnet und anschließend zu einem nach der Länge gewichteten mittleren Winkel zusammengefasst. Dieser Winkel wurde mit der phänologischen Entwicklung der Bestände in Verbindung gesetzt und als Ausgangspunkt für die Modellierung verwendet.

Ferner dienten die Fotos der Bestände nach Ausmaskierung des Bodens und Klassifizierung der grünen und braunen Blätter mittels Bildverarbeitung zur Ermittlung des Anteils brauner Blätter im Gesamtbestand. Schließlich wurde der Dissoziationsfaktor errechnet. Dies ist der Faktor, der bestimmt, ob sich die braunen Blätter gleichmäßig über beide Schichten des Bestandes verteilen ($D = 0$) oder in der oberen Schicht konzentrieren ($D = 1$). Es ist häufig zu beobachten, dass Nutzpflanzen eher von oben nach unten abreifen, allerdings sind beim Weizen die Ähren als zusätzlicher Faktor zu beachten.

Die Assimilation der mit SLC abgeleiteten Bestandeszustände in landwirtschaftliche Produktionsmodelle ermöglicht die Bestimmung von landwirtschaftlichen Größen, die nicht direkt mit der Fernerkundung erfasst werden können, wie zum Beispiel der räumlichen und zeitlichen Entwicklung der Biomassebildung und des Kornertrags.

Dazu wurde das von Prof. Schneider an der LMU München entwickelte Modell PROMET-V eingesetzt. PROMET-V basiert auf dem Wasserhaushaltsmodell PROMET und wurde für die Modellierung der Pflanzenproduktion und des Stickstoffhaushalts mit Modulen aus der CERES-Modellfamilie ergänzt. Im Gegensatz zu CERES hat PROMET-V verbesserte hydrologische Komponenten (z. B. Pen-

man-Monteith-Verdunstungsansatz, 5-Schicht-Bodenwassermodell mit einem modifizierten Eagleson-Ansatz), so dass Schwachstellen von CERES, z. B. in der Berechnung von Trockenstress, verbessert sind. Ein Kernpunkt von PROMET-V ist die räumlich verteilte Modellierung unter Nutzung von GIS-Methoden. Rasterbasiert gehen Informationen zur Geländeform, zur Strahlungsbilanz und anderen meteorologischen Größen, zur Bodeninformation und zum landwirtschaftlichen Anbau ein, und können somit gut mit ebenfalls rasterorientierten Fernerkundungsdaten gekoppelt und gemeinsam ausgewertet werden. In Abbildung 14 ist der schematische Ablauf der Kopplung beider Modelle zu sehen. Auf der linken Seite sieht man die Ableitung der Bestandesparameter mit SLC aus den kalibrierten und atmosphärenkorrigierten Fernerkundungsdaten, auf der rechten Seite die Modellierung der Bestandesparameter wie Biomasse und Kornertrag. An der Schnittstelle beider Modelle wird das Bestandeswachstumsmodell, welches den täglichen Verlauf der Wachstumsperiode simuliert, am Tag der Fernerkundungsaufnahme mit den entsprechend aus SLC abgeleiteten Parametern geupdatet. So können Variationen, die von der Wachstumsmodellierung ohne zusätzliche Informationen über den Bestand normalerweise nicht berücksichtigt werden können, aus den Fernerkundungsdaten aktuell eingebracht werden.

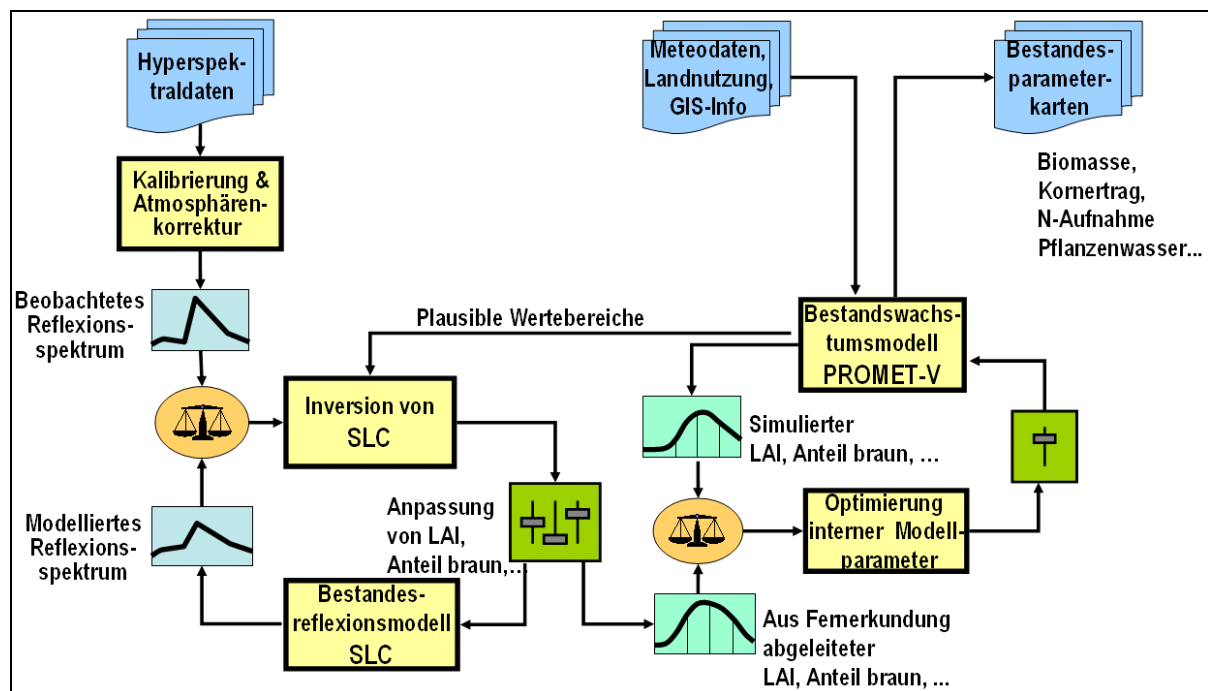


Abbildung 14: Schematische Darstellung der Modellkopplung von SLC und PROMET-V (verändert nach VERHOEF & BACH 2003)

Figure 14: Schematic diagram of the coupling of the models SLC and PROMET-V (changed after VERHOEF & BACH 2003)

3.2.3 Ergebnisse

Datenüberblick

In Abbildung 15 und Abbildung 16 sind jeweils Beispiele für die Fernerkundungsdaten aus beiden Testgebieten zu sehen. Abbildung 15 zeigt Ausschnitte des Testgebiets in Groß-Twülpstedt im Juli / August 2005 in Echtfarbandarstellung.



Abbildung 15: Beispiel für Bilddaten von Groß-Twülpstedt. Die gewählte Farbdarstellung ist Echtfarben. In der Mitte ein Überblick aufgenommen von CHRIS, an den Seiten AVIS-Ausschnitte.

Figure 15: Example of image data of Groß-Twülpstedt. The color composite used is visible colors. The overview in the middle was acquired with CHRIS, the detailed maps on the sides with AVIS.

Abbildung 16 zeigt das Testgebiet WIMEX im Juni 2005 in einer so genannten „Red-Edge-Kombination“. Was das bedeutet, erkennt man am besten anhand der Abbildung 17. Hier sind Spektren unterschiedlicher Landoberflächen aufgetragen, wie sie vom CHRIS-Sensor gemessen wurden. Offener Boden (graue Linie) ist in erster Näherung eine ansteigende Gerade. Vegetation dagegen wird charakterisiert von einem Peak im Grün (um 550nm), der Chlorophyllabsorption im Rot (um 670nm) und einem steilen Anstieg zu einem relativ ebenen Plateau im nahen Infrarot (ab ca. 750nm), bis bei ca. 1000nm die Pflanzenwasserabsorption die Reflexion verringert. Bedeckt die Vegetation den Boden nicht vollständig (z. B. Kartoffel, braune Linie) bilden sich Mischspektren aus. Betrachtet man nun bei den reinen Vegetationsspektren den Bereich zwischen Rot und nahem Infrarot, die „rote Kante“ = das Red Edge, so fällt auf, dass diese Kante je nach Vegetationsart um einige Nanometer verschoben sein kann. Wählt man zur Darstellung nun einen Kanal im Rot, einen im Red Edge und einen im nahen Infrarot, wie in Abbildung 16 mit ca. 675nm, 715nm und 780nm, so erhalten die verschiedenen Vegetationen verschiedene Farben. In Abbildung 16 erscheint zum Beispiel grünes Getreide wie Weizen und Triticale in Rottönen, Raps in Gelb, reife Gerste in sehr hellem Türkis, Kartoffeln in Orange und Boden sowie versiegelte Fläche in Blautönen. Mais entwickelt sich im Gegensatz zu den anderen Feldfrüchten später im Jahr und erscheint an diesem Termin noch wie offener Boden in Blau. Auch abreifender Weizen erscheint in Blautönen als Muster innerhalb der „roten“ Felder, da mit der Reife das Red Edge durch den Zusammenbruch der Zellstruktur und den Verlust des Chlorophylls verschwindet.

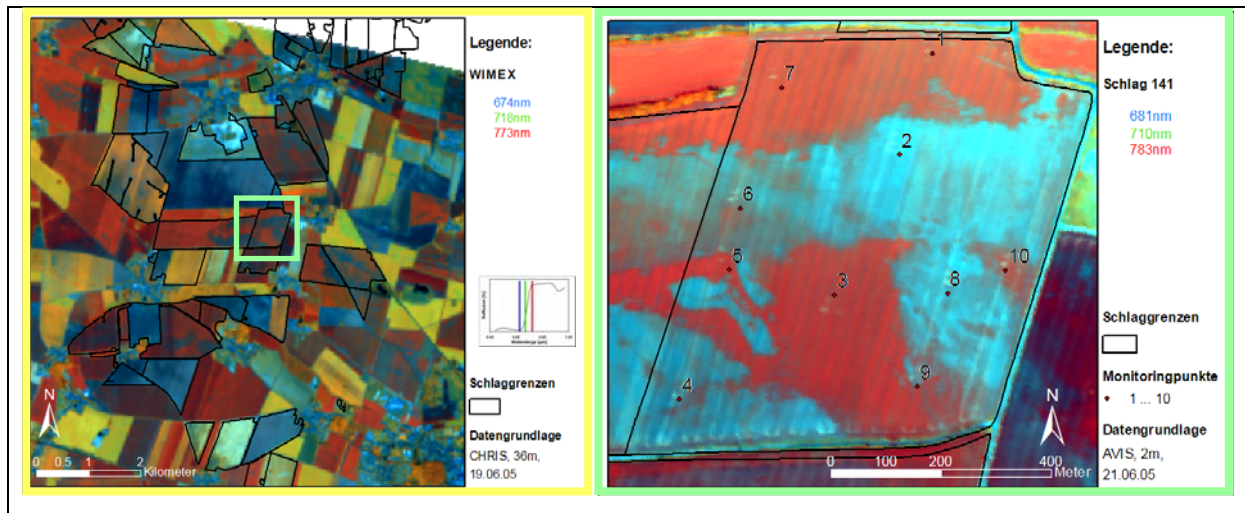


Abbildung 16: Beispiel für Bilddaten von WIMEX. Die gewählte Farbdarstellung ist eine Red-Edge-Darstellung. Rot sowie gelb bedeuten aktive Vegetation, Blautöne offenen Boden, reifes Getreide oder versiegelte Fläche. Links dargestellt ein CHRIS-Bild, rechts ein einzelner Testschlag aufgenommen mit AVIS.

Figure 16: Example of image data of WIMEX. The color composite is a red-edge-composition. Red and yellow indicate good crop vigor, blue bare soil, mature cereals or sealed area. On the left a CHRIS image, on the right a single test-field as seen with AVIS.

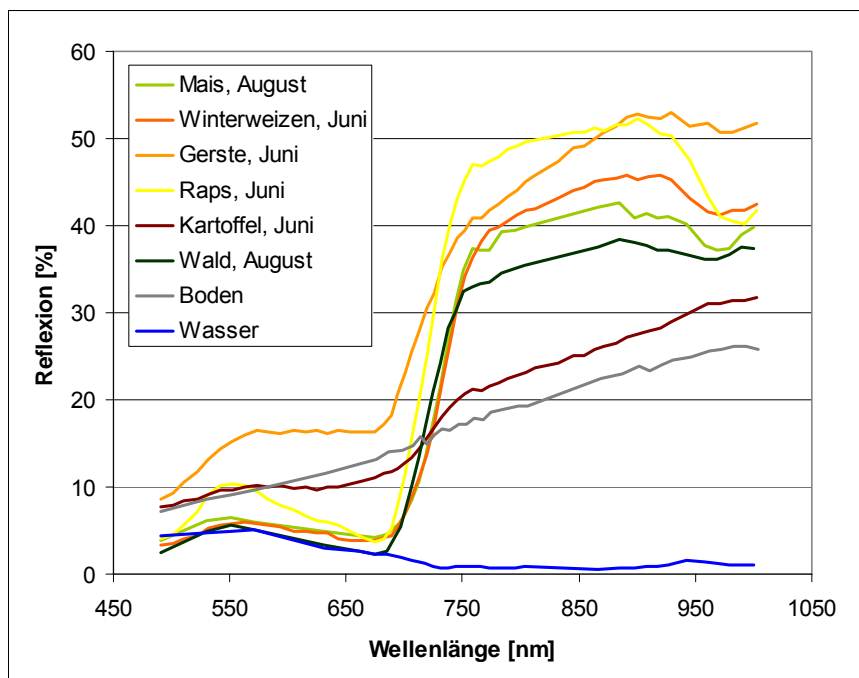


Abbildung 17: Spektren verschiedener Landnutzungen, wie sie mit dem CHRIS-Sensor an unterschiedlichen Terminen beobachtet wurden

Figure 17: Spectra of different land-uses as seen with CHRIS at different acquisition dates

Heterogenitätsindikator

Dieses Wissen um das Verhalten der Vegetationsspektren im Red Edge wurde genutzt, um zusammen mit TP 3 einen ökonomischen Indikator für die Heterogenität von Beständen zu erarbeiten. Diese zusätzlich zum Projektantrag geschehene Zusammenarbeit, ist aufgrund der intensiven Diskussionen in

den *pre agro* II-Vollversammlungen entstanden. Dabei wurde deutlich, dass eine wichtige Information für die Einführung von Precision Farming auf einem Betrieb ist, einen Überblick über die vorhandenen Einsparungspotentiale von Betriebsmitteln zu bekommen, ohne dafür jedoch schon selbst in die notwendige Technik investieren zu müssen. Für diesen Zweck wurden Heterogenitätsindikatoren auf regionaler Ebene (TP 5, TP 14 und TP 15) und von TP 13 und TP 3 der hier vorgestellte Indikator auf Betriebsebene entwickelt.

Für den räumlich hoch auflösenden Indikator wurde zunächst das Chlorophyll-Absorptions-Integral (CAI) aus den Hyperspektraldaten gerechnet (OPPELT & MAUSER 2004). Das CAI ist ein hyperspektraler Index, der das Integral über den Spektralbereich der Chlorophyll-Absorption und des Red-Edge bis hin zum nahen Infrarot parametrisiert. Er fungiert als Maß der Vitalität der Bestände. Je ausgeprägter die Chlorophyllabsorption im Rot und die Reflexion vitaler Zellstrukturen im nahen Infrarot, desto höher sind die Werte des CAI. Die CAI-Werte jedes Pixels wurden durch den Mittelwert des betreffenden Schläges dividiert, so dass das Ergebnis die relative Vitalität jedes Schläges darstellt.

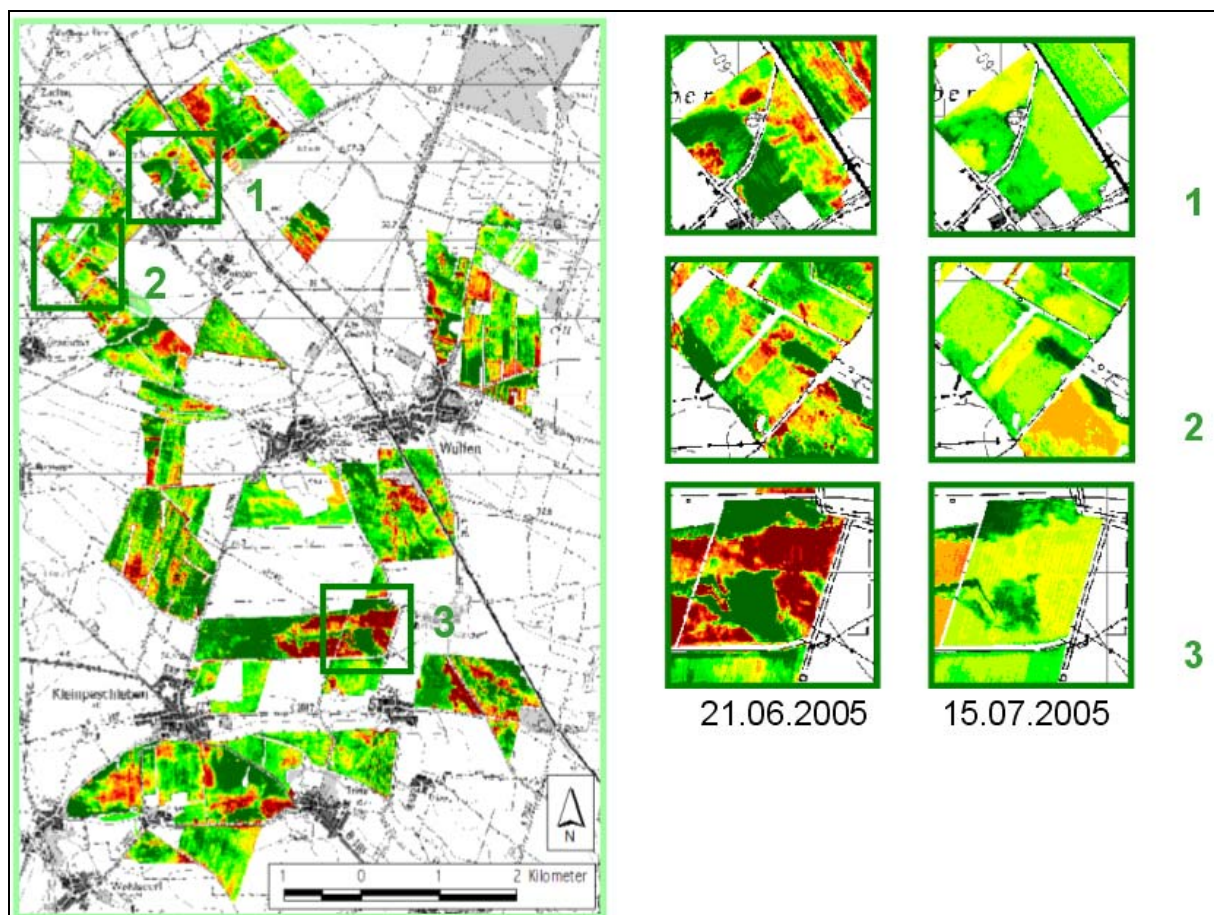


Abbildung 18: Relative Vitalität in WIMEX 2005 gerechnet aus AVIS-Daten

Figure 18: Crop vigor in WIMEX in 2005, calculated from AVIS data

Für zwei AVIS-Termine aus dem Jahr 2005 ist so ein Ergebnis in Abbildung 18 dargestellt. Der Termin am 21.06.2005 entsprach im Mittel dem phänologischen Stadium der Milchreife von Weizen, einem Zeitpunkt, bei dem auf Schlägen mit unterschiedlicher Wasserverfügbarkeit ein Teil der Bestände in seiner Abreife schon fortgeschritten ist, während ein anderer Teil noch vital ist. Das macht sich in großen Unterschieden in der relativen Vitalität innerhalb der einzelnen Felder bemerkbar. Mitte

Juli ist die Abreife dann bereits fast vollständig abgeschlossen, doch dennoch können noch leichte Muster innerhalb der Schläge erkannt werden, wie die Ausschnitte auf der rechten Seite der Abbildung 18 zeigen. Außerdem ist in den Ausschnitten gut erkennbar, dass sich die Muster in der Vitalität in beiden Terminen wiederholen.

Abbildung 19 geht nun noch einen Schritt weiter. Hier ist nur ein Schlag, der Schlag 631 in WIMEX abgebildet, aber dafür über zwei Jahre. 2005 war der Schlag mit Winterweizen bestanden, 2006 mit Winterraps. Was man deutlich sieht, ist, dass sich die gleichen Muster in der Verteilung der relativen Vitalität in beiden Jahren abzeichnen, vorausgesetzt der phänologische Zeitpunkt ist günstig gewählt. Der Termin am 13.06.06 war zu früh, als dass sich Stresserscheinungen beim Raps deutlich abgezeichnet hätten, Ansätze zu den späteren Mustern sind aber bereits sichtbar. Zu Beginn der Abreife hingegen, also zu einem ähnlichen phänologischen Zeitpunkt wie 2005 beim Winterweizen, bilden sich fast dieselben vom Boden bedingten Muster mit sehr ähnlichen Werten der relativen Vitalität aus.

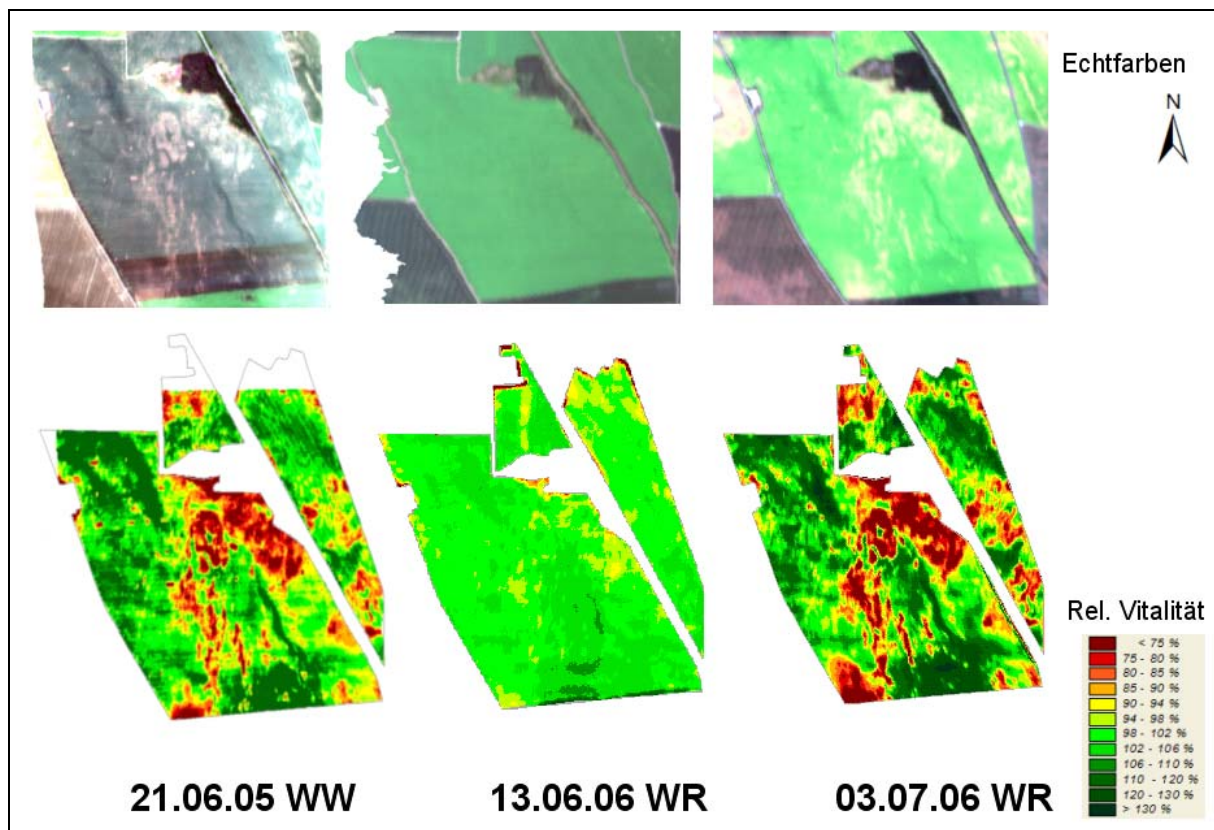


Abbildung 19: Echtfarbendarstellung und relative Vitalität aus AVIS-Daten auf dem Schlag 631 im Vergleich zwischen 2005 (Winterweizen WW) und 2006 (Winterraps WR)

Figure 19: Visible color composite and crop vigor calculated from AVIS data for field 631, comparison for 2005 (winter wheat WW) and 2006 (winter rape WR)

Diese Beständigkeit bodenbedingter Muster wurde genutzt, um in Zusammenarbeit mit TP 3 einen ökonomischen Indikator zur Heterogenität von Beständen zu entwickeln, mit dem die Rentabilität von Precision Farming für einen Betrieb aufgrund der den Schlägen innewohnenden Grundheterogenität grob abgeschätzt werden kann, bevor der Betrieb in Precision Farming Technologie investiert.

Zu diesem Zweck wurde ein Faktor gesucht, welcher die aus der Fernerkundung gelieferten Muster im Bestand mit einer ökonomischen Größe verbindet. Dazu bot sich der Ertrag an. Abbildung 20 zeigt das

generelle Prinzip. Die Fernerkundung liefert multitemporal die räumliche Variabilität, z. B. über die Vitalität. Der Praktiker liefert die nötigen Werte, um die Fernerkundungsdaten mit ökonomischen Faktoren zu verbinden. Notwendig hierfür sind nur Werte, die dem Praktiker sowieso vorliegen, nämlich der gemessene Durchschnittsertrag, die Düngemenge pro Schlag, aus der anhand einer Faustformel der maximal mit dieser Düngung mögliche Ertrag gerechnet werden kann, und die Kosten für die Düngemittel. Wenn man nun davon ausgeht, dass eine mittlere Vitalität auch mittleren Ertrag bringt, und die höchste Vitalität den höchsten Ertrag, hat man eine Möglichkeit, die beiden Werte quantitativ zu verbinden, da Durchschnittsertrag und maximal möglicher Ertrag aus den Informationen vom Praktiker bekannt sind. Kennt man die Kosten für den Dünger, kann man nun für jeden räumlichen Punkt ausrechnen, wie viel Dünger gebraucht worden wäre, um den aus der Fernerkundung abgeleiteten Ertrag zu erreichen. Die Einsparung zum tatsächlich aufgebrauchten Dünger ist dann ein monetäres Maß für den Einsatz von Precision Farming auf dem betrachteten Schlag.

Der errechnete Zusammenhang kann zur Sicherheit noch etwas in seiner Steigung gedämpft werden, um eine Überschätzung der Einsparungen zu vermeiden.

In der unteren Hälfte von Abbildung 20 ist das Ergebnis dieser Berechnungen für fünf Schläge im Testgebiet Groß-Twülpstedt dargestellt. Die waagrechte Linie im Diagramm stellt die Fixkosten für den Einsatz der Precision Farming Technik dar. Im berechneten Fall sind das 11,86 €/ha und Jahr (Annahme: Einsatz eines Pendelsensors auf jährlich 195ha, AfA: 5 Jahre, Zinsansatz: 8 %). Die diagonalen Linien stellen die mögliche Einsparung in €/ha für jeden Schlag in Abhängigkeit von der Effektivität der gewählten Entscheidungsregeln für das Management der Bestände dar. 100 % Effektivität bedeutet, dass das gesamte Einsparungspotential umgesetzt werden kann. Precision Farming ist bis zu dem Punkt, wo die diagonalen Linien der Einsparung auf die horizontale Linie der Fixkosten treffen, rentabel. Im vorliegenden Beispiel bedeutet dies, dass für den Schlag „Rohrbreite“ Precision Farming selbst bei einer Effektivität der Entscheidungsregeln von nur 43 % rentabel wäre, für den Schlag „Finkenspring“ jedoch nur bis zu einer Effektivität von 97 %.

In diesem Fall würde also für den Schlag „Rohrbreite“ eine Empfehlung für Precision Farming gegeben, für den Schlag „Finkenspring“ hingegen nicht, da die möglichen Einsparungen bezüglich der Düngung die nötigen Kosten kaum übersteigen.

Die gesamten Ergebnisse dieses teilprojektübergreifenden Ansatzes einschließlich einer Überprüfung der Ergebnisse unter Verwendung von gemessenen Ertragskarten wurden für ein wissenschaftliches Fachpublikum auf der European Conference on Precision Agriculture (BEGIEBING et al. 2007b) vorgestellt sowie in der Zeitschrift „Landtechnik“ (BEGIEBING et al. 2007a) veröffentlicht.

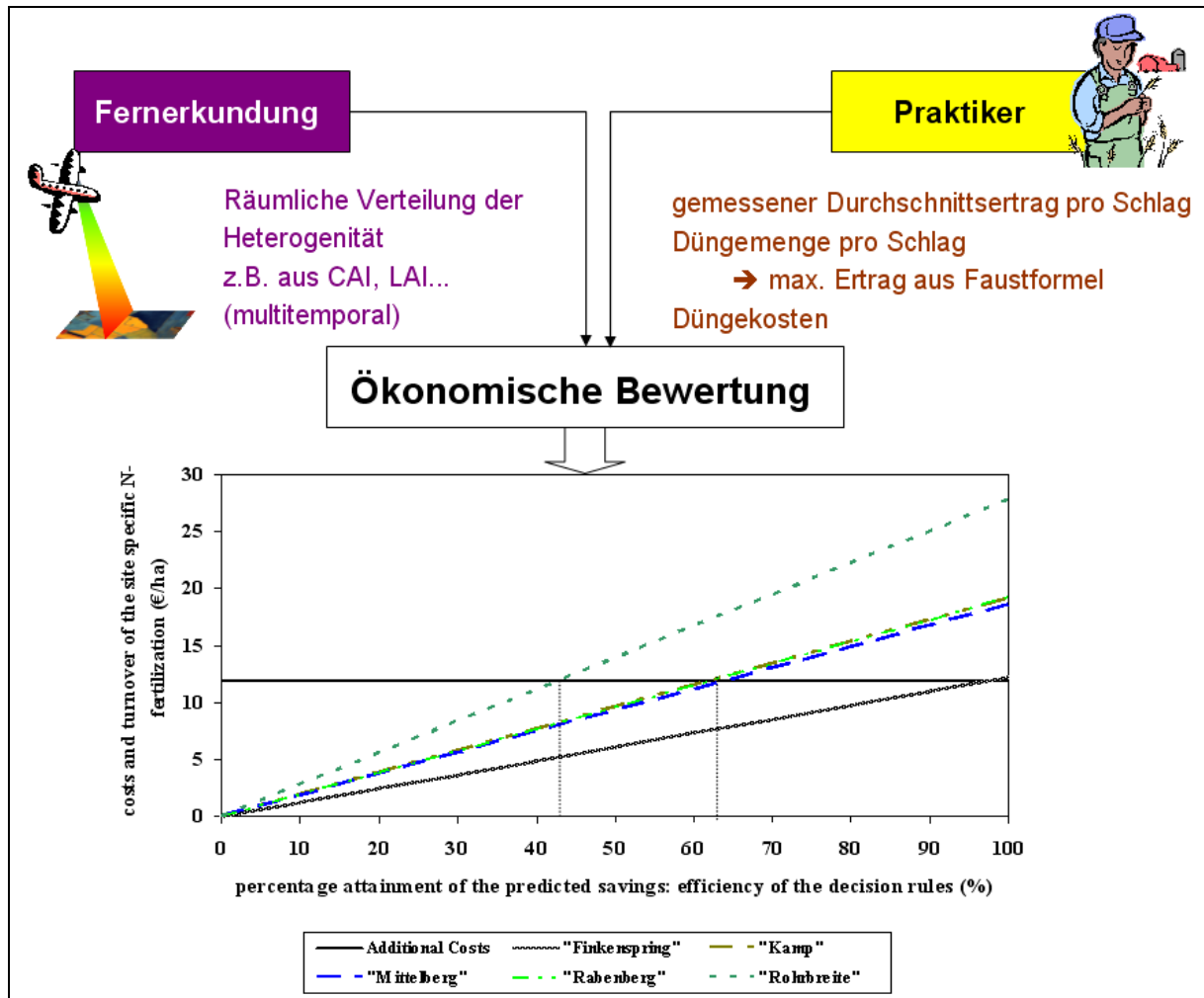


Abbildung 20: Schema des zusammen mit TP 3 entwickelten Heterogenitätsindicators zur Abschätzung der Rentabilität von Precision Farming

Figure 20: Overview over the indicator of heterogeneity that was developed in cooperation with subproject 3

Modellbasierte Ableitung von Bestandesparametern

Die Ableitung von Bestandesparametern mit dem Strahlungstransfermodell SLC war ein zentraler Bestandteil der Fernerkundungsanalysen. Die Nutzung des Modells SLC wurde gewählt, da dieser Weg eine zeitliche und räumliche Übertragbarkeit der Methoden garantiert und nicht von statistischen Auswertungen wie Regressionen abhängt.

Dabei wurde zunächst die umfassende Parametrisierung von Weizen für das Modell angestrebt, da dies für eine korrekte Ableitung der Bestandesparameter von entscheidender Bedeutung ist. Für die Parametrisierung muss zwischen statischen Parametern und solchen, die sich über die Vegetationsperiode ändern, unterschieden werden. Zu den statischen Parametern gehören zum Beispiel die aus der Literatur entnehmbaren Parameter Mesophyllstruktur N und der Gehalt an Trockensubstanz in den Blättern, zu den zeitlich variablen der LAI, der Anteil brauner Blätter und die Pflanzenstruktur. LAI und Anteil brauner Blätter sollen durch Inversion des Modells SLC ermittelt werden, aber die strukturellen Eigenschaften der Pflanze müssen dazu bekannt sein. Im Folgenden soll darum näher darauf eingegangen werden, wie letzterer Parameter aus den im Projekt vorliegenden Daten ermittelt wurde.

Abbildung 21 zeigt, wie sich die Struktur eines Bestandes auf die Reflexionsspektren auswirkt. Im linken Diagramm ist die Reflexion für sieben verschiedene Beobachtungswinkel bei einem LAI von 3

und einem mittleren Blattwinkel von 60° abgebildet, auf der rechten Seite wurde der Blattwinkel in den Simulationen auf 80° erhöht. Deutlich sichtbar ist eine allgemeine Absenkung der Reflexionswerte bei steileren Blattwinkeln. Betrachtet man einmal nur den Nadirwinkel, so sieht man, dass die Reflexionswerte im nahen Infrarot von einem Maximum von knapp unter 40 % Reflexion bei 60° Blattwinkel auf ein Maximum von ca. 25 % bei 80° Blattwinkel abfallen. Hat man keine weitere Information über den Bestand und keine Aufnahmen in verschiedenen Beobachtungswinkeln, so kann man jedoch verschiedene Pflanzengeometrien nicht immer eindeutig von einem unterschiedlichen LAI-Wert unterscheiden, wie die linke Seite der Abbildung 22 zeigt. Hier wird die Änderung der Reflexion mit der Änderung des LAI bei Nadirspektren gezeigt. Im nahen Infrarot bewegen sich die Werte bei einem Blattwinkel von 60° dabei im Bereich von 30 % bis 50 % Reflexion. Diese Werte könnten genauso mit einem LAI von 3 und einem höheren oder niedrigeren Blattwinkel als 60° erreicht werden.

Betrachtet man allerdings statt nur des Nadir-Winkels auch die zusätzlichen anderen Beobachtungswinkel, erhält man eine Möglichkeit, verschiedene Bestandesgeometrien von verschiedenen LAI-Werten zu unterscheiden. Dies zeigen Abbildung 22 rechts und Abbildung 23 links. Diese Abbildungen zeigen eine so genannte BRDF-Darstellung. Das heißt, es wird die relative Veränderung der Reflexion zum Nadir an einer festen Wellenlänge (in diesem Fall 780nm) unter verschiedenen Beobachtungswinkeln aufgetragen. Abbildung 22 rechts zeigt wie sich der Verlauf der BRDF-Kurve bei unterschiedlichem LAI-Wert ändert. Insbesondere bei den höheren rückwärts schauenden Winkeln ist eine gewisse Aufspaltung sichtbar (Faktor zwischen 1.2 und 1.35 zum Nadir), aber insgesamt ist die Veränderung klein.

Ganz anders dagegen das Verhalten in Abbildung 23 links. Hier sieht man, wie sich der BRDF mit dem mittleren Blattwinkel ändert. Die Veränderung ist deutlich sichtbar, mit Faktoren zum Nadir von zwischen 1.2 bei 60° Blattwinkel und -60° Beobachtungswinkel bis zu 1.75 bei 80° Blattwinkel.

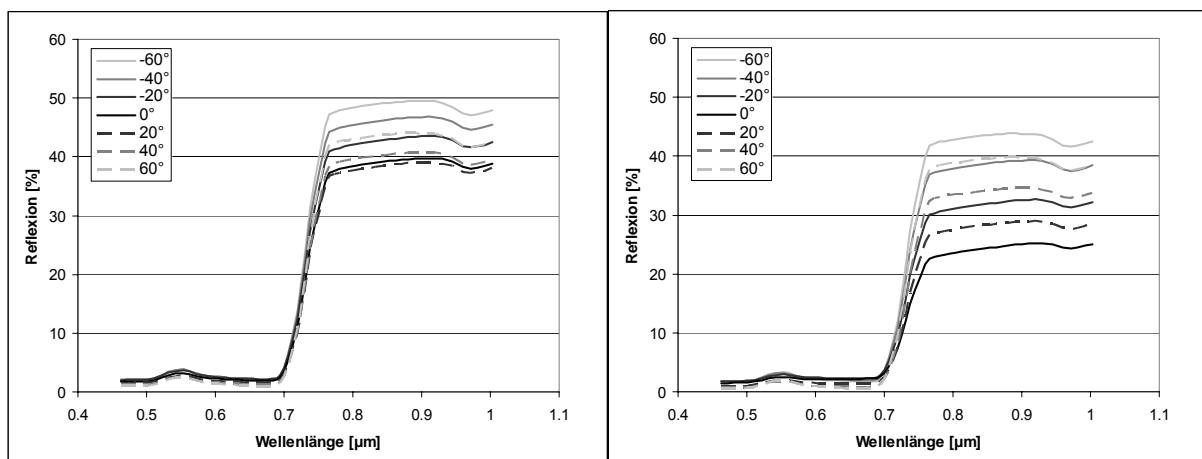


Abbildung 21: Mit SLC simulierte Reflexion von Weizen bei einem LAI von 3 für 7 verschiedene Beobachtungswinkel und zwei verschiedene Bestandesstrukturen. Links wurde ein mittlerer Blattwinkel von 60° angenommen, rechts von 80° .

Figure 21: Wheat reflectance modelled with SLC for an LAI value of 3, 7 different observation angles and two different canopy structures. On the left side an average leaf angle of 60° was assumed, on the right side one of 80° .

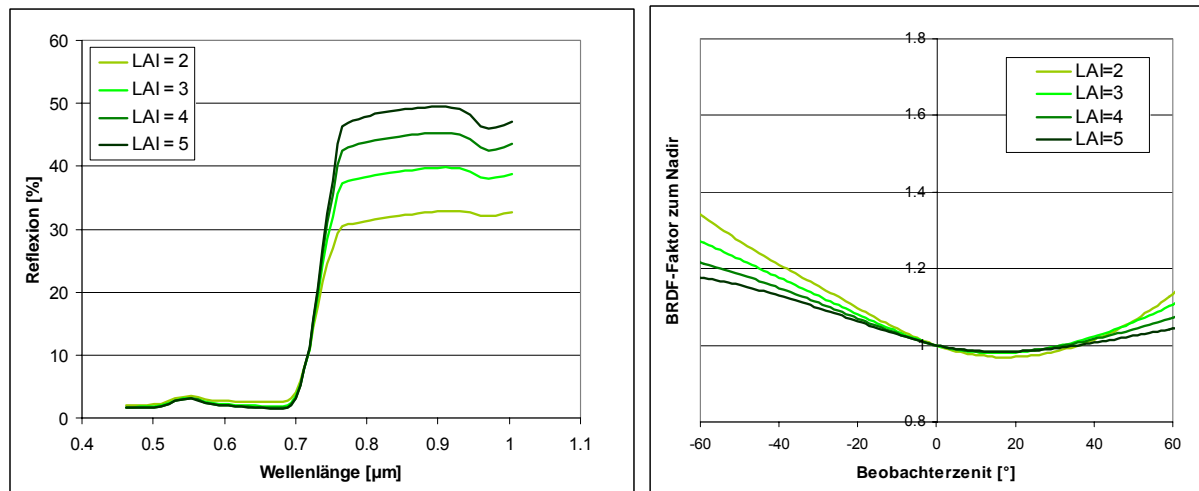


Abbildung 22: Mit SLC simulierte Veränderung der Reflexion mit dem LAI bei 60° mittlerem Blattwinkel (LAI = 3), links im spektralen Verlauf in Nadirblickrichtung, rechts als BRDF-Darstellung bei 780nm

Figure 22: Change of reflectance modelled with SLC for different LAI values at 60° average leaf angle (LAI = 3); on the left side as spectrum (nadir view), on the right as BRDF view at 780nm

Abbildung 23 rechts zeigt nun gemessene BRDF-Kurven des CHRIS-Sensors am 19.06.2005. Diese BRDF-Werte stammen von Pixeln, an denen das Monitoring des TP 14 durchgeführt wurde. So ist es möglich, die Punkte entsprechend der Geländeerhebung in „grün“ (10 – 17 % braunes Material), „ab-reifend“ (50 – 70 % braun) und „reif“ (90 % braun) aufzuteilen.

Deutlich sichtbar ist die Ähnlichkeit zu den simulierten BRDF-Kurven mit ansteigendem Blattwinkel. Daraus kann man schließen, dass auch für reifendes Getreide der Blattwinkel ansteigt.

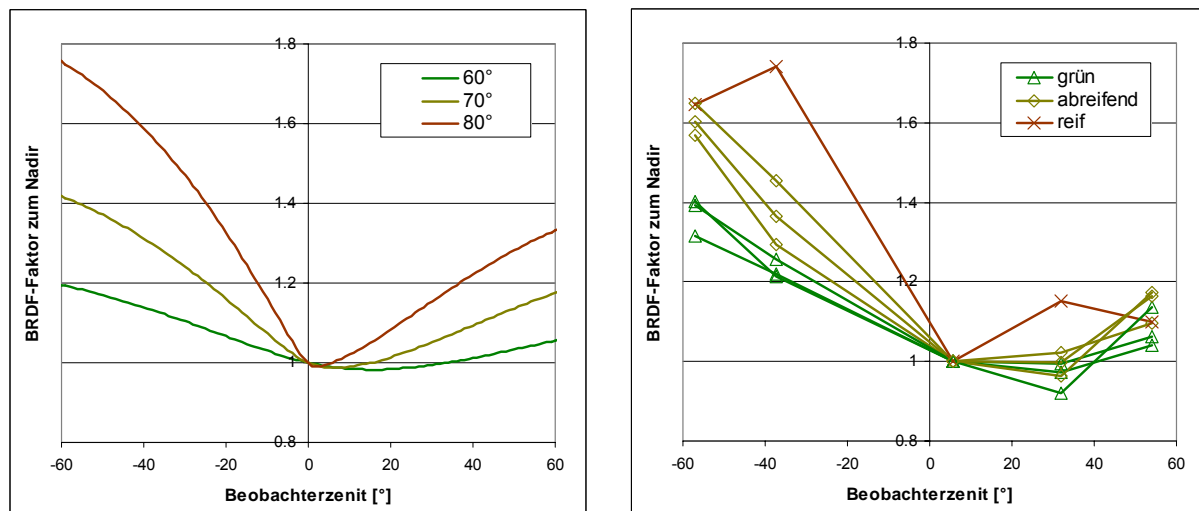


Abbildung 23: Links: BRDF-Faktoren zum Nadir für verschiedene mittlere Blattwinkel, rechts: gemessene BRDF-Verteilung für unterschiedlich reife Weizenbestände (CHRIS, 19.06.2005)

Figure 23: Left side: BRDF factor to nadir for different average leaf angles; right side: measured BRDF for wheat canopies in various stages of maturing (CHRIS, Jun 19th 2005)

Die CHRIS-Aufnahmen kann man nun weiterhin nutzen, um mit SLC unter Nutzung aller fünf Winkel von CHRIS flächenverteilt durch Inversion den am besten passenden Blattwinkel für jedes Pixel zu berechnen. Das Ergebnis sieht man in Abbildung 24. Die mittleren Blattwinkel variieren am 19.06.2005 zwischen 63° und 78° . Die weite Variationsbreite der Blattwinkel lässt sich durch den gewählten Aufnahmezeitpunkt begründen. Während das mittlere phänologische Stadium Milchreife war und die Bestände teilweise noch grün, waren andere Bereiche, die schlecht mit Wasser versorgt waren, bereits in ihrer Abreife fortgeschritten. Dieser Aufnahmetag eignet sich also hervorragend, um die Unterschiede im Blattwinkel zwischen grünen und braunen Beständen sichtbar zu machen.

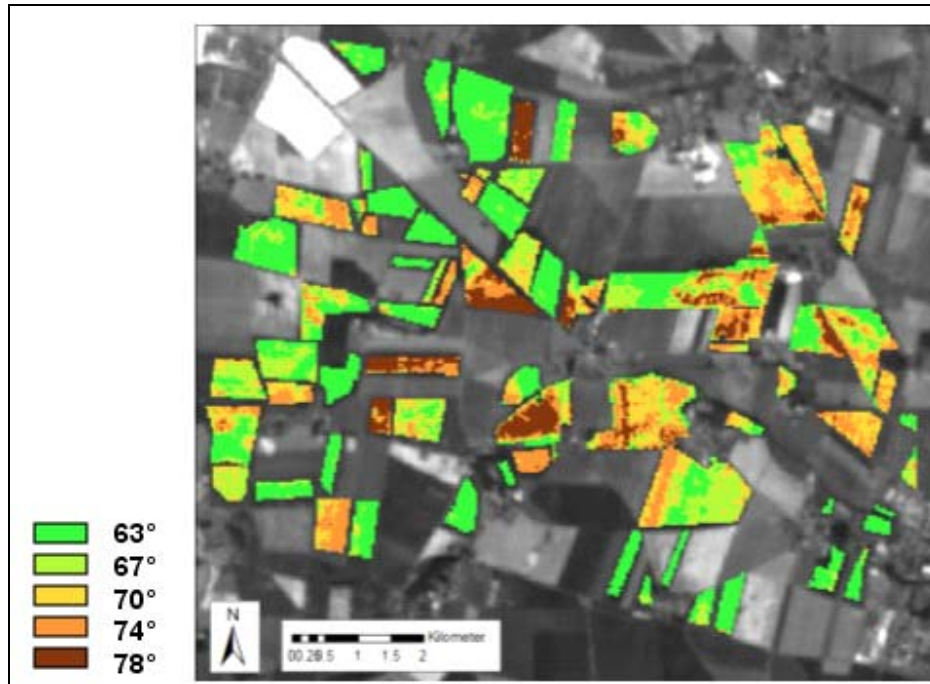


Abbildung 24: Karte des mittleren Blattwinkels in Getreidebeständen, abgeleitet mit SLC aus CHRIS-Daten vom 19.06.2005 unter Nutzung von fünf Beobachtungswinkeln

Figure 24: Map of the average leaf angle in wheat crops, derived with SLC from CHRIS data of Jun 19th 2005 using all five observation angles

Zur Validierung der Ergebnisse aus der Fernerkundung wurde eine Analyse der von TP 14 aufgenommenen Vertikalphotographien der Monitoringpunkte vorgenommen. Dabei wurden unabhängig voneinander die Stängel und Ähren sowie die Blätter als Linien digitalisiert (siehe Abbildung 25) und ihre Winkel berechnet. Dabei ergab sich, dass sowohl die mittleren Winkel von Stängel und Ähren bei 80° als auch die Winkel der reinen Blätter bei $50 - 55^\circ$ bei unterschiedlichen Terminen und Abreife-graden relativ stabil bleiben. Was sich jedoch ändert, ist das Verhältnis der beiden Komponenten zueinander. Während der Abreife verlieren die Blätter an Wasser und rollen sich zusammen, was sie im Vergleich zu den Ähren und Stängeln an Bedeutung für den gesamten mittleren Winkel verlieren lässt. Zur visuellen Verdeutlichung sind in Abbildung 25 in der unteren Reihe Senkrechtaufnahmen beige-fügt. Im noch grünen Bestand werden in der Draufsicht die Stängel von den Blättern fast vollständig verdeckt, im reifen Bestand sind die Stängel deutlich besser sichtbar. Die aus der Fernerkundung errechneten Werte von 63° für einen vollständig grünen bis 78° für einen Bestand mit 100 % seneszentem Material fügen sich hervorragend in diese Grenzwerte aus nur Blättern bzw. nur Stängeln/Ähren ein.



Abbildung 25: Digitalisierung der Blattwinkel, unterteilt in Stängel plus Ähren (pink) und Blätter (gelb) in grünem (links) sowie abgereiftem (rechts) Bestand. Oben Vertikalsicht, unten Senkrechtaufnahme als Vergleich
 Figure 25: Digitalisation of the average leaf angles, divided in stems plus heads (pink) and leaves (yellow) in a green (left) as well as mature (right) canopy. In the upper row a vertical view, in the lower row a nadir view

Dieser gefundene Zusammenhang zwischen dem mittleren Blattwinkel und dem Anteil seneszenten Materials wurde in das Modell SLC integriert, so dass die lineare Beziehung für alle Simulationen genutzt werden konnte.

Für das Projekt *pre agro* wurden sämtliche Winterweizenfelder auf AVIS-Aufnahmen, die nicht von Wolkenschatten beeinflusst waren, im Hinblick auf grünen LAI und Anteil seneszenten Materials ausgewertet. Aufgrund der Vielzahl der Felder können hier allerdings nur einzelne Beispiele vorgestellt werden.

In Abbildung 26 ist der Schlag 811 in WIMEX zu sehen, aufgenommen vom Sensor AVIS an den Terminen 13.06.06 und 03.07.06. In der gewählten Red-Edge-Farbkombination entsprechen wie bereits in Abbildung 16 Rottöne vitaler Vegetation und Blautöne abgereifter Vegetation bzw. offenem Boden. Unten links in der Abbildung 26 ist zusätzlich die Hofbodenkarte in Aufteilung in Bodentypen gezeigt, wie sie in *preagro I* erstellt wurde. Der größte Teil der Böden besteht zumindest zum Teil aus Schwarzerden und insgesamt ist die Qualität der Böden eher gut. Das Relief fällt parallel zum Schlag von der südwestlichen Seite nach Nordosten von über 74 m auf 58 m ab. Dabei quert den Schlag eine

Grenze der geologischen Gegebenheiten. Von Südwesten nach Nordosten wechselt jüngerer, kalkreiches Material zu älterem, kalkärmerem. Rechts unten in der Abbildung 26 ist die Messung der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit aus preagro I dargestellt, die diese geologische Grenze nachzeichnet. Diese Muster korrespondieren sehr gut mit denen der Fernerkundungsaufnahme vom 03.07.07. Betrachtet man z. B. den in Abbildung 26 rot eingekreisten Bereich, so sieht man, dass sich der „blaue Sporn“ schlechterer Vitalität auch im Bild vom 13.06.06 sowie in der scheinbaren Leitfähigkeit als ein Bereich niedrigerer Werte wieder findet.

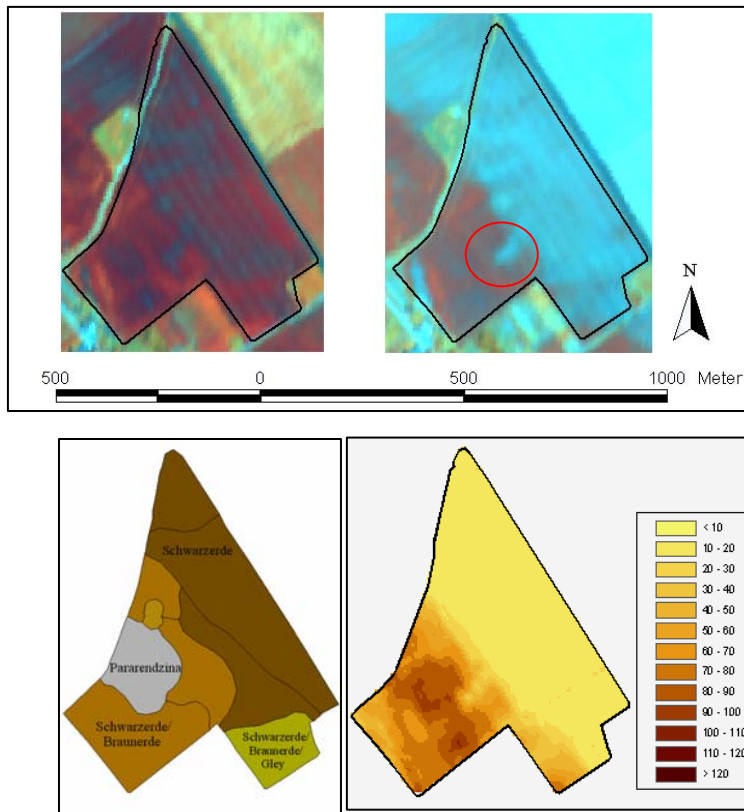


Abbildung 26: Schlag 811 in WIMEX in Red-Edge-Farbkombination, aufgenommen vom Sensor AVIS, links oben am 13.06.06, rechts oben am 03.07.06. Links unten die Hofbodenkarte aus *pre agro* I aufgeteilt in Bodentypen. Rechts unten die ECa-Messungen aus *pre agro* I in [mS/m]

Figure 26: Field 811 in WIMEX. In the upper row two red edge color composites, acquired with the AVIS sensor, left on Jun 13th 2006, right on Jul 03rd 2006. In the bottom row left the soil map derived in *pre agro* I showing the soil types. In the bottom row right the ECa-measurements from *pre agro* I in [mS/m]

Auch in Abbildung 27, die den Schlag 811 und zusätzlich noch den nördlich von ihm gelegenen Schlag 721 über den Verlauf der drei Untersuchungsjahre von *pre agro* II in seiner relativen Vitalität zeigt, findet sich dieser Bereich kontinuierlich wieder. In allen drei Jahren standen unterschiedliche Fruchtarten auf dem Schlag 811: 2005 Winterrraps, 2006 Winterweizen und 2007 Wintergerste. Deutlich sichtbar bleiben die Muster sowohl in mittleren Entwicklungsphasen (21.06.05 WR, 13.06.06 WW) als auch in der Abreife (03.07.06 WW, 11.06.07 WG) über die Jahre relativ zueinander erhalten. Dies lässt ebenfalls auf eine Ursache der Muster rein in den Standorteigenschaften, nicht in der Bewirtschaftung schließen. Allerdings finden sich kleinräumige Muster, wie der erwähnte Bereich niedrigerer Vitalität (vgl. roter Kreis Abbildung 26) zwar in der Leitfähigkeitsmessung, aber nicht in der stärker generalisierten Hofbodenkarte (ebenfalls Abbildung 26) wieder. Die reine Nutzung der Hofbo-

denkarte als Inputinformation in landwirtschaftlichen Produktionsmodellen, könnte also diese Differenzierung nicht wiedergeben.

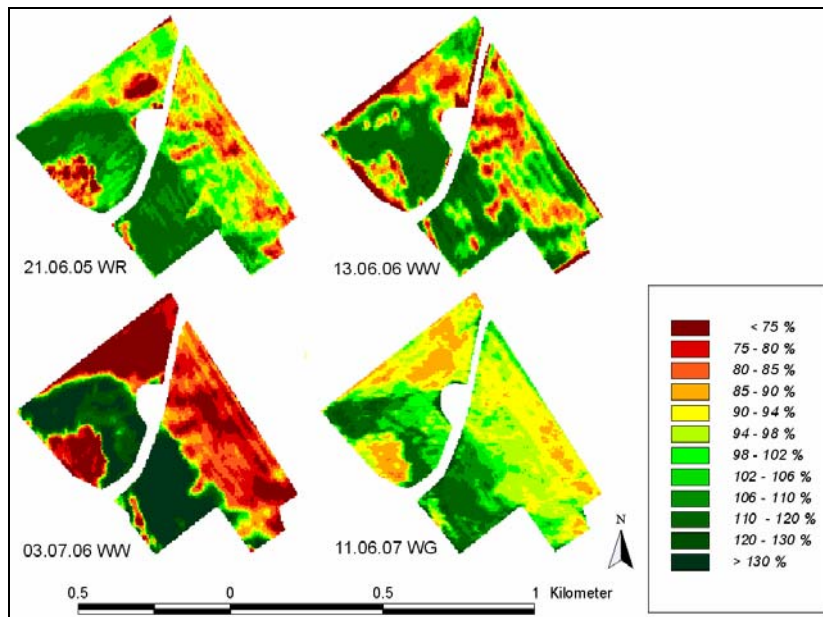


Abbildung 27: Relative Vitalität der Schläge 721 (nördlich) und 811 (südlich) über drei Jahre, berechnet aus AVIS-Daten (Winterraps WR, Winterweizen WW, Wintergerste WG)

Figure 27: Crop vigor of the fields 721 (north) and 811 (south) for three years, calculated from AVIS data (winter rape WR, winter wheat WW, winter barley WG)

Abbildung 28 und Abbildung 29 zeigen nun die Ergebnisse der Ableitung von Bestandesparametern durch Modellinversion von SLC.

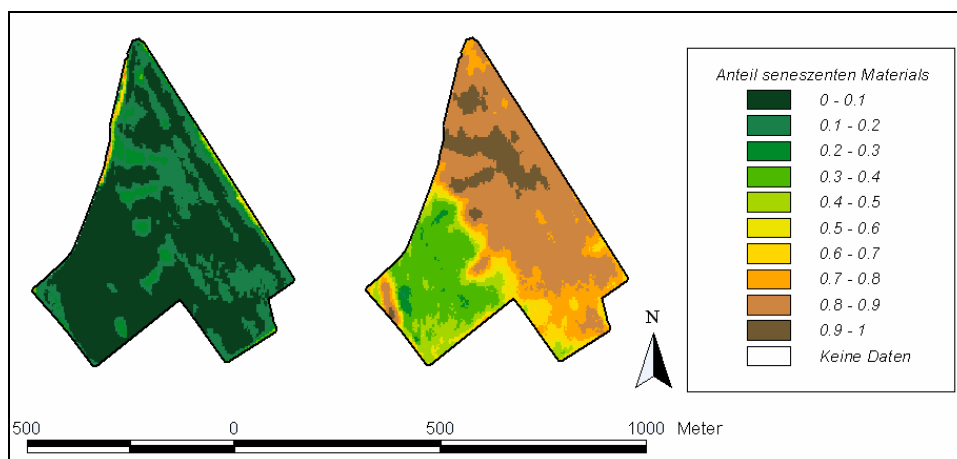


Abbildung 28: Anteil seneszenten Materials auf dem Schlag 811 am 13.06.06 (links) und 03.07.06 (rechts) modelliert mit SLC aus AVIS-Daten

Figure 28: Fraction of senescent material on field 811 on Jun 13th 2006 (left) and Jul 3rd 2006 (right), modelled with SLC from AVIS data

In Abbildung 28 ist der Anteil seneszenten Materials zu sehen. Mitte Juni ist er noch sehr gering, es gibt keine Ausprägung von deutlichen Mustern und der Anteil braun steigt nicht über 30 %. Anfang Juli dagegen ist die Abreife weit fortgeschritten. Nun zeigt sich auch eine deutliche Zweiteilung des Schlags. Der nordöstliche Teil ist schon fast komplett abgereift, während der südwestliche Teil nur zu etwa 50 % seneszenten Material aufweist.

In Abbildung 29 ist der grüne LAI zu den gleichen Terminen zu sehen. Mitte Juni ist auch hier die spätere Zweiteilung des Schlages noch nicht wirklich sichtbar, die Variabilität innerhalb des grünen LAIs ist jedoch höher als die innerhalb des Anteils seneszenten Materials. Am 03.07.2006 ist durch die bereits beinahe komplette Abreife im nördlichen sowie östlichen Teil des Schlages der grüne LAI beinahe auf Null zurückgegangen, im Südwesten hingegen ist der grüne LAI noch deutlich höher und weist ebenfalls eine relativ hohe Variabilität auf, die so im Anteil seneszenten Materials nicht zu beobachten ist.

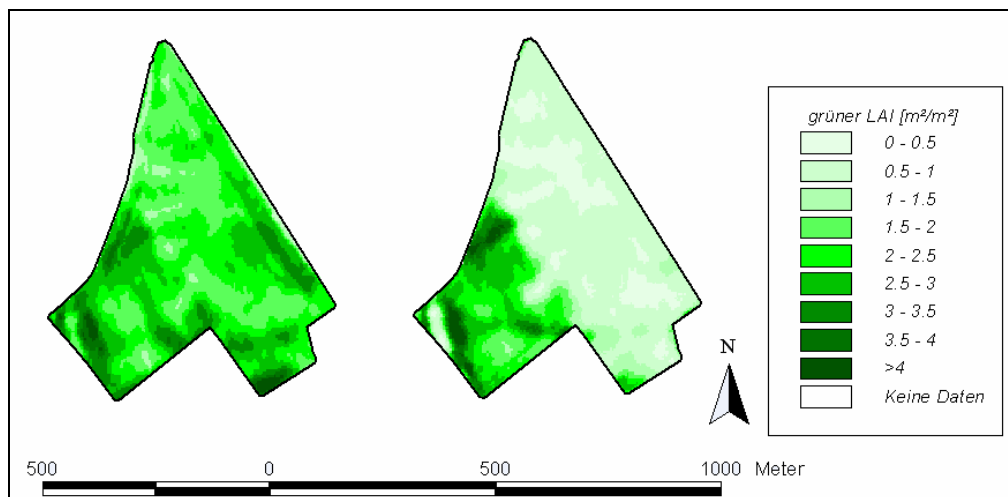


Abbildung 29: Grüner LAI auf dem Schlag 811 am 13.06.06 (links) und 03.07.06 (rechts) modelliert mit SLC aus AVIS-Daten

Figure 29: Green LAI on field 811 on Jun 13th 2006 (left) and Jul 3rd 2006 (right) modelled with SLC from AVIS data

Als zweites Beispiel für die Ableitung der Parameter grüner LAI und Anteil seneszenten Material soll der Schlag 141 ebenfalls Mitte Juni und Anfang Juli 2006 dienen. Dieser Schlag, der Finkenherd, wurde bereits in *pre agro* I intensiv bearbeitet und wurde vom Projektbereich 3 des *pre agro* II als Vergleichsschlag ausgewählt, um die verschiedenen Methoden am gleichen Schlag angewendet zu sehen. Der Finkenherd ist ein Beispiel für jene Schläge, wo sich die späteren Ertragsmuster schon relativ früh deutlich bemerkbar machen.

Abbildung 30 zeigt auf der linken Seite die ECa-Messungen aus *pre agro* I für diesen Schlag und auf der rechten die durch Inversion des Strahlungstransfermodells abgeleiteten grünen LAI-Werte für den 21.06.05. Auch hier trifft wieder zu, dass Werte mit einer höheren Vitalität, die sich am 21.06.05 durch einen höheren grünen LAI auszeichnen, auch eine höhere scheinbare elektrische Leitfähigkeit aufweisen.

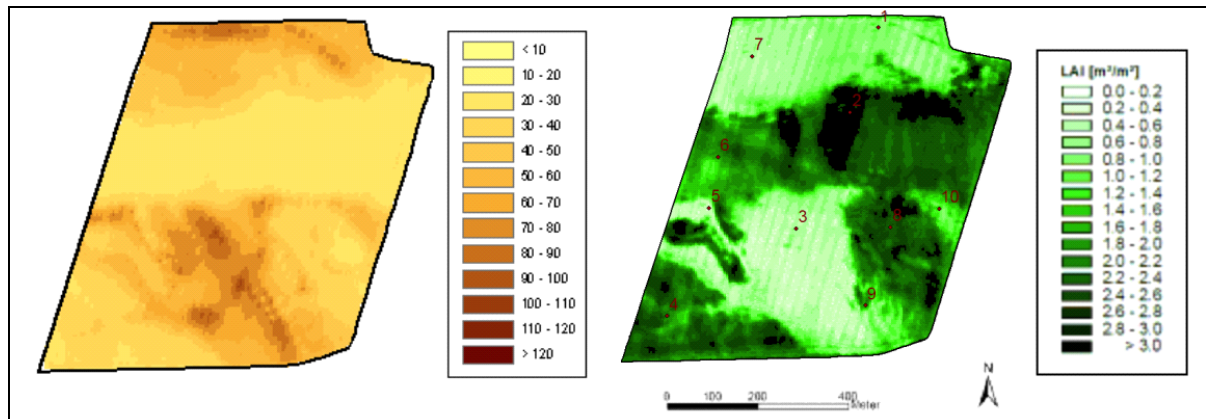


Abbildung 30: Links EC_a -Messungen vom Schlag 141 aus *pre agro* I in [mS/m] vom Schlag 141, rechts grüner LAI abgeleitet aus AVIS-Daten vom 21.06.05

Figure 30: On the left side EC_a -measurements of field 141 from *pre agro* I in [mS/m], on the right side green LAI derived from AVIS data of Jun 21st 2005

Abbildung 31 und Abbildung 32 zeigen den Schlag 141 multitemporal im Jahr 2006. In Abbildung 31 ist der Anteil seneszenten Materials aufgetragen. Wie schon beim Schlag 811 ist Mitte Juni der Bestand noch grün und der braune Anteil vernachlässigbar. Anfang Juli haben dann die schlechter mit Wasser versorgten Teile des Schlages mit der Abreife begonnen. Vergleicht man nun mit Abbildung 32, die den grünen LAI zu den beiden Terminen zeigt, so fällt auf, dass sich die Flächen, die früher abzureifen beginnen, bereits im Juni durch einen geringeren LAI als die späteren Hohertragszonen auszeichnen. Anfang Juli hat diese Diskrepanz zwischen den guten und schlechten Zonen noch zugenommen.

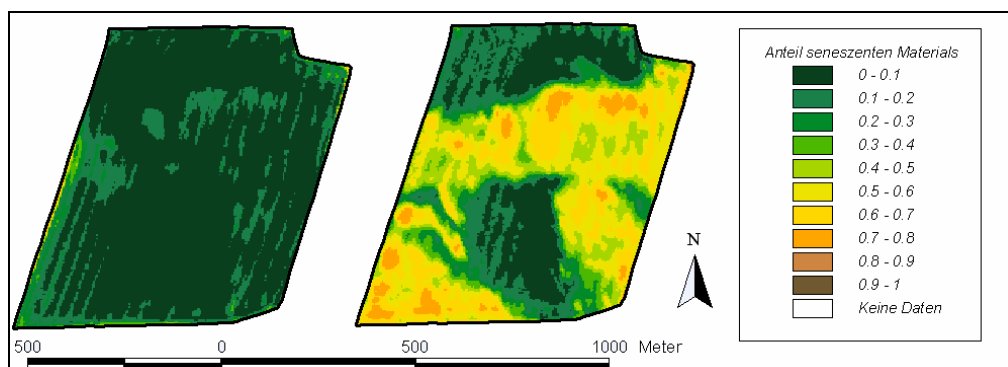


Abbildung 31: Anteil seneszenten Materials auf dem Schlag 141 am 13.06.06 (links) und 03.07.06 (rechts) modelliert mit SLC aus AVIS-Daten

Figure 31: Fraction of senescent material on field 141 on Jun 13th 2006 (left) and Jul 3rd 2006 (right) modelled with SLC from AVIS data

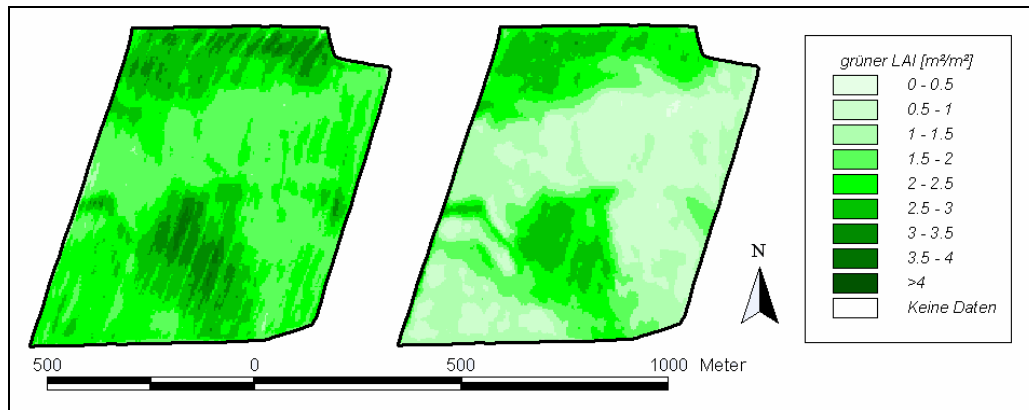


Abbildung 32: Grüner LAI auf dem Schlag 811 am 13.06.06 (links) und 03.07.06 (rechts) modelliert mit SLC aus AVIS-Daten

Figure 32: Green LAI on field 811 on Jun 13th 2006 (left) und Jul 3rd 2006 (right) modelled with SLC from AVIS data

Abbildung 33 zeigt die Validierung der errechneten grünen LAI-Werte in Form eines Korrelationsplots zu den gemessenen effektiven LAI-Werten.

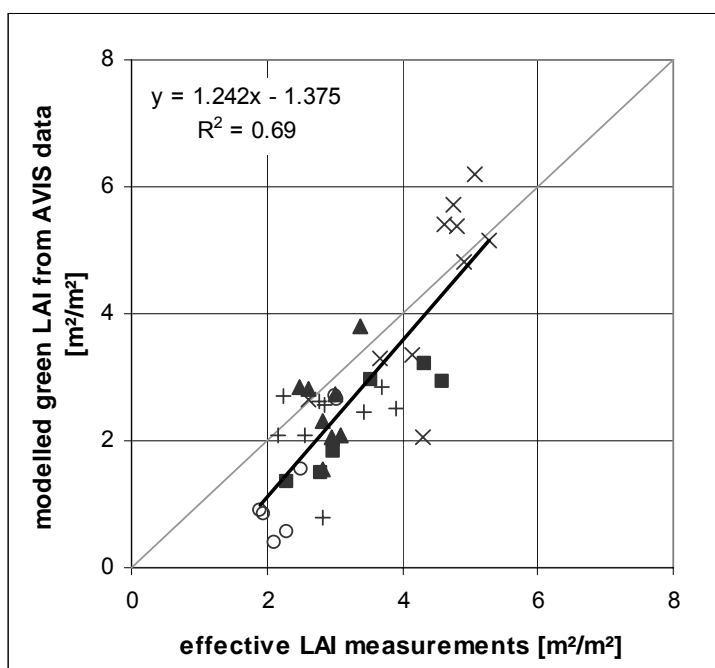


Abbildung 33: Validierung von modelliertem grünen LAI 2006 mit gemessenem effektivem LAI an allen Monitoringpunkten in fünf verschiedenen Feldern (verschiedene Symbole) in WIMEX

Figure 33: Validation of modelled green LAI 2006 using measured effective LAI for all monitoring points in five different fields (different symbols) in WIMEX

Eine direkte Validierung des grünen LAI mit den am Boden von TP 14 bzw. BioChem gemessenen Werten ist nicht möglich, da der Licor-Sensor nicht zwischen grüner und brauner Blattfläche unterscheidet. Ein Problem in allen Messungen 2006 war die weite zeitliche Distanz zwischen den Fernerkundungsterminen und den Ground Truth Terminen. Dies ist von daher problematisch, dass gerade

in dieser Phase der Abreife große Änderungen im grünen LAI in kurzer Zeit erfolgen, wie auch die in der Abbildung 29 und Abbildung 32 präsentierten Ergebnisse zeigen. Darum wurden die Werte des aus den AVIS-Daten berechneten LAI für die Validierung auf die Termine des Monitoring angepasst. Dies geschah über eine lineare Interpolation der Werte des ersten und zweiten Fernerkundungstermins für den Ground Truthing Termin zwischen den beiden Fernerkundungsaufnahmen (21.06.06). Für Ground Truthing Termine nach dem zweiten Fernerkundungstermin (06.07., 08.07., 10.07.06) wurden die Werte des zweiten Fernerkundungstermins beibehalten. Eine Extrapolation fand also nicht statt. Abbildung 33 zeigt das Ergebnis über alle Schläge mit Ground Truth 2006. Das R^2 liegt bei 0,69, der Gain bei 1,242 und der Offset bei -1,375. Gain und Offset sind hier durch die unterschiedlichen gemessenen Parameter zu erklären. Im Zuge des Abreifens nimmt der grüne LAI stärker ab als der effektive LAI.

Für den Anteil seneszenten Materials liegen nur im Jahr 2005 die passenden terrestrischen Fotos vor, die als Ground Truth zur Validierung der modellierten Werte dienen können. Mittels Bildverarbeitung wurde aus den Vertikalfotos der Bestände nach Ausmaskierung des Bodens und Klassifizierung der grünen und braunen Blätter der Anteil brauner Blätter im Gesamtbestand ermittelt. Abbildung 34 zeigt den Validierungsplot für die AVIS-Daten vom 21.06.2005, Schlag 141. Der RMS-Fehler beträgt 15.96 %. In Tabelle 15 ist noch einmal eine Übersicht über alle ausgewerteten Schläge der drei Jahre gegeben.

Tabelle 15: Zusammenfassung der nach ihren Bestandesparametern ausgewerteten Winterweizentestschläge in *pre agro* II, Grundlage AVIS-Daten; eine Auswertung der Testschläge unter Wolkenschatten war nicht möglich, daher konnten teilweise nicht alle Schläge an einem Termin ausgewertet werden

Table 15: Summary of all winter wheat fields for which canopy parameters were derived on the basis of AVIS data in *pre agro* II. An analyses of fields in cloud shadow is not possible, so not all fields could be analysed at all dates

Juni 2005	WIMEX	023, 141, 231, 431, 432, 441, 631, 752-2, 761
Juni 2006	WIMEX	023, 024, 141, 341, 352, 411, 431, 460, 541-1, 811, 821, 841
Juli 2006	WIMEX	023, 024, 141, 341, 352, 411, 431, 460, 811, 821, 841
	Groß-Twülpstedt	Espenberg, Finkenspring, Kamp, Kesselbrinkgehege, Mittelberge, Rabenberg
April 2007	WIMEX	221, 331, 341, 441, 541, 631, 818, 840
	Groß-Twülpstedt	H. d. Oehrwiesen, Kleiacker, Possenwinkel
Juni 2007	WIMEX	221, 818, 840
	Groß-Twülpstedt	Birkenhay, Birkenhay v. d. Bahn, Mittelberge, Mühlenwiese, Höhnefeld, Heiligenkamp, Papenröder, Döhrener, Langer Berg

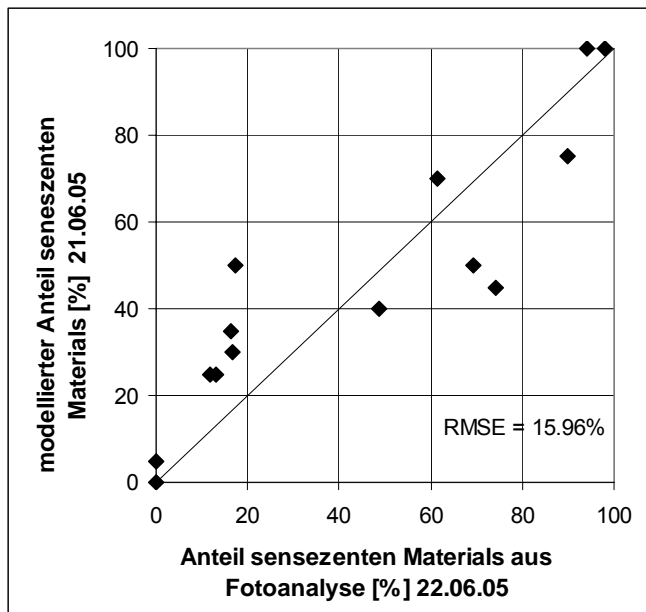


Abbildung 34: Validierung für den aus AVIS-Daten modellierten Anteil seneszenten Materials am 21.06.05, Schlag 141

Figure 34: Validation of the fraction of senescent material derived from AVIS data of Jun 21st 2005, field 141

Ertragsmodellierung

Der letzte Schritt der Auswertungen im TP 13 war die Kopplung mit dem Bestandeswachstumsmodell, um räumlich verteilt Ertrag zu modellieren. Dabei wurden die räumlich verteilt gerechneten Bestandesparameter am Tag ihrer Aufnahme als aktuelles Update in das in täglichen Zeitschritten rechnende Bestandeswachstumsmodell eingebracht. Ansonsten wird das Wachstum im Modell ausgehend von einem grundsätzlichen Verlauf, der für jede Nutzungsart parametrisiert ist, hauptsächlich von den Boden- und Wetterbedingungen sowie von der Düngung gesteuert.

Abbildung 35 zeigt das Ergebnis einer solchen Ertragsmodellierung mit dem Bestandeswachstumsmodell PROMET-V für den Vergleichsschlag des Projektbereichs 3, den Finkenherd (Schlag 141). Auf der linken Seite der Abbildung 35 ist die vom Mähdrescher aufgenommene Ertragskarte, in der Mitte sieht man die Modellierung mit Input aus CHRIS-Daten unter Nutzung aller fünf Beobachtungswinkel und auf der rechten Seite die Modellierung mit AVIS-Daten. Deutlich sichtbar ist, dass sich die gleichen Strukturen in allen drei Karten wieder finden lassen. Die räumliche Auflösung ist natürlich beim AVIS-Sensor erheblich höher als beim CHRIS-Sensor, so dass mehr Details sichtbar sind. Auch die absoluten Werte der drei Karten sind ähnlich, allerdings kann man sehen, dass in der Modellierung mit AVIS-Daten die Niedrigertragsbereiche in ihrem Ertrag unterschätzt werden (Spannweite 10 – 90 dt/ha, im Gegensatz zu sonst 30 – 90 dt/ha). Dies spiegelt sich auch im mittleren Ertrag über den Schlag wider. Gemessen wurde ein mittlerer Ertrag von 60 dt/ha, mit CHRIS unter Nutzung aller fünf Beobachtungswinkel ergibt sich ein mittlerer Ertrag von 55 dt/ha und für AVIS ein mittlerer Ertrag von 45 dt/ha.

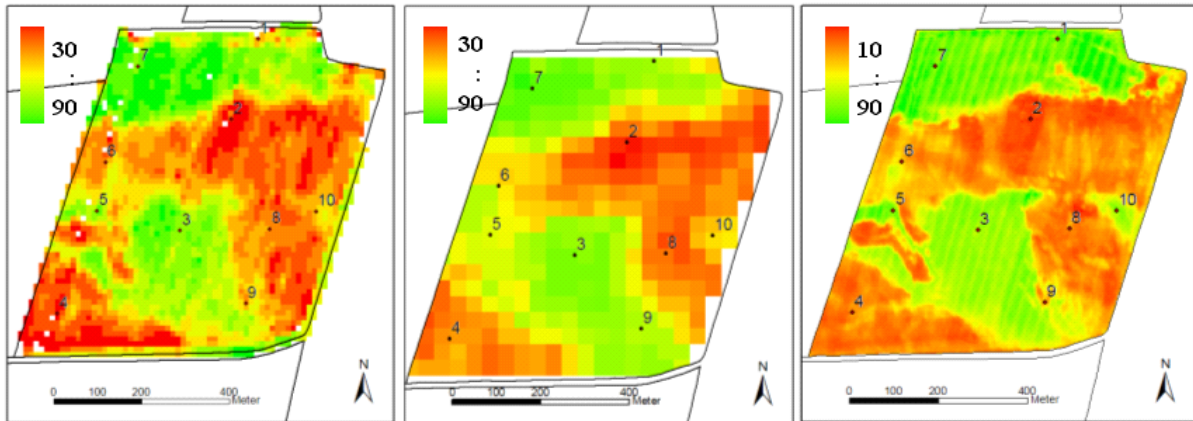


Abbildung 35: Gemessener und modellierter Ertrag. Einheiten sind [dt/ha]. Links mit dem Mähdrescher gemessener Ertrag am 01.08.05, Mitte modelliert mit Update aus CHRIS über alle fünf Winkel (19.06.05), rechts modelliert mit AVIS-Daten (21.06.05) als Input

Figure 35: Measured and modelled yield. Units are [dt/ha]. On the left side the yield as measured with the combine harvester on Aug 1st 2005. In the middle yield as modelled using multiangular CHRIS data of Jun 19th 2005 as update. On the right side yield as modelled using AVIS data of Jun 21st 2005 as input

Abbildung 36 zeigt den entsprechenden Validierungsplot für den Ertrag, wie er aus den CHRIS-Daten modelliert wurde.

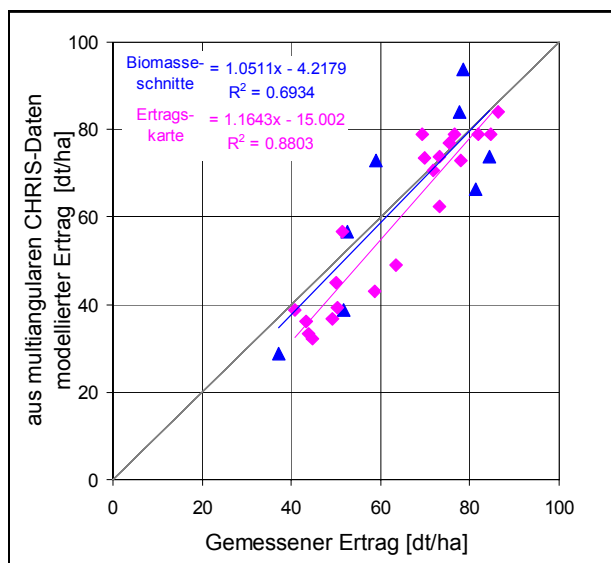


Abbildung 36: Validierung des modellierten Ertrags über alle 5 Winkel von CHRIS mit dem gemessenen Ertrag durch Handernte (blau) sowie durch den Mähdrescher (pink)

Figure 36: Validation of the modelled yield using multiangular CHRIS data with measured yield. Blue triangles mean field samples, pink squares combine harvester

Für die Validierung wurden sowohl die Ergebnisse der Handernte (blaue Dreiecke) als auch ein Vergleich mit der Ertragskarte (rosa Rauten) vorgenommen. Die beiden verschiedenen gemessenen Wertegruppen, Handernte und Ertragskarte, passen sehr gut zueinander, und auch die Korrelation mit den modellierten Werten ist hoch. Das R^2 beträgt für die simulierten zu den von Hand geernteten Punkten 0,69 und für die simulierten zu den vom Mähdrescher aufgezeichneten Punkten 0,88. Außerdem liegen

die Werte sehr nahe an der 1-zu-1-Linie. Die RMS-Fehler betragen 14,3 dt/ha für den Ertrag aus Biomasseschnitten und 14,1 dt/ha für den Ertrag vom Mähdrescher.

3.2.4 Diskussion und Ausblick

Wichtigstes Ziel für die nahe Zukunft der Fernerkundung für den Bereich des Precision Farming ist die Umsetzung der Methoden in rentable, operationelle praktische Anwendungen. Erste Schritte auf diesem Weg sind schon erfolgreich gewesen. Z. B. stellen im aktuellen KTBL-Heft für teilflächenspezifische Stickstoffdüngung (KTBL 2007) gleich drei verschiedene auf Fernerkundungsdaten basierende Systeme ihre Ansätze vor, unter anderem auch VISTA. In diesem Bereich wird momentan noch hauptsächlich auf eine Einteilung der Schläge in Zonenkarten unterschiedlicher Ertragsleistung gesetzt, aber ein Ziel ist hier sicherlich operationell zeitnah aktuelle Bestandesinformationen zum Stickstoffgehalt aus Fernerkundungsdaten zu liefern, die dann direkt auf dem Arbeitsrechner des Traktors abgerufen werden und den Düngerstreuer steuern.

Betriebswirtschaftlich gesehen wird die räumlich verteilte Ertragsschätzung zukünftig an Bedeutung gewinnen, da die Preise der landwirtschaftlichen Produkte wieder steigen, so dass das Erreichen des höchstmöglichen Ertrags für den Landwirt wirtschaftlich von Vorteil ist, aber gleichzeitig ein Über Einsatz von Düngemitteln aus ökonomischen wie naturschutztechnischen Gründen vermieden werden soll.

In der Fernerkundung selbst wird in näherer Zukunft eine Vielfalt an neuen satellitengetragenen Sensorsystemen zur Verfügung stehen, die neue Möglichkeiten der operationellen praktischen Anwendung ermöglichen. Satellitendaten haben den großen Vorteil gegenüber Befliegungsdaten, dass der Satellit in seinem Orbit ein großes Gebiet abdeckt, und keine eigene Befliegung geplant werden muss. Dies reduziert die Kosten. Allerdings können Satelliten nicht zu jedem beliebigen Zeitpunkt jedes Gebiet aufnehmen, sie haben ja nach Orbit eine bestimmte Wiederkehrrate. Somit dauert es eine bestimmte Zeit, bis sie wieder am selben Ort sind.

Um diese Wiederkehrrate im Hinblick auf die gelegentlich benötigte hohe zeitliche Auflösung für landwirtschaftliche Anwendungen möglichst kurz zu halten, startet das „RapidEye“-Satellitensystem gleich mit fünf Satelliten, auf denen sich Multispektralsensoren befinden, die in 5m räumlicher Auflösung aufnehmen. Die Wiederkehrrate wird etwa eine Woche betragen. Dieses System wird sich zum Beispiel für Anwendungen wie die zeitnahe Erkennung von Hagelschäden eignen. Die RapidEye-Satelliten sollen 2008 starten.

Eine etwas geringere räumliche Auflösung (10m im sichtbaren und nahen Infrarotbereich), aber dafür einen größeren Aufnahmebereich je Überflug mit einer ähnlichen Wiederkehrrate und einem erweiterten Spektralbereich bis ins mittlere Infrarot hat die aus zwei Satelliten bestehende ESA-Mission Sentinel-2. Der Start dieser Satelliten ist für 2012 geplant.

Und auch ein dritter Satellit, EnMAP, dessen Start für 2011 geplant ist, wird hervorragende Möglichkeiten zur Nutzung im landwirtschaftlichen Bereich bieten. Dieser Satellit hat einen etwas anderen Schwerpunkt als die beiden anderen Systeme. Er trägt einen hyperspektralen Sensor, der sich für hochpräzise Auswertungen kontinuierlicher Spektren eignet, allerdings ist bei ihm, da er ein Einzelsatellit ist, die Wiederkehrrate geringer.

Insgesamt wird sich die Verfügbarkeit sowohl in der geometrischen als auch in der spektralen Dimension sehr hochauflösender Satelliten stetig verbessern. Die bereits in Projekten wie *pre agro II* geleistete Methodenentwicklung wird sich hier auszahlen, und die Fernerkundungsprodukte werden stetig

vom Forschungsbereich in Standardprodukte übergehen. Ein großer Vorteil der hier präsentierten Methode ist dabei, dass sie problemlos auf die neuen Satellitensysteme sowie auf Flugzeugsysteme übertragbar ist, wie es hier schon demonstriert wurde.

Literatur

- BACH, H., S. BEGIEBING, D. WALDMANN & B. ROWOTZKI (2005): Analyses of hyperspectral and directional data for agricultural monitoring using the canopy reflectance model SLC – Progress in the Upper Rhine Valley and Baasdorf test-sites, 3rd CHRIS/Proba Workshop 2005, ESA Special Publication SP-593, CD-Rom.
- BEGIEBING, S., H. BACH, M. SCHNEIDER & P. WAGNER (2007a): Abschätzung der Heterogenität mit Hilfe der Fernerkundung zur Bestimmung des ökonomischen Potenzials von „Precision Farming“. *Landtechnik*, 62. Jahrgang, 4/2007, H 12772, p. 251.
- BEGIEBING, S., M. SCHNEIDER, H. BACH & P. WAGNER (2007b): Assessment of in-field heterogeneity for determination of the economic potential of precision farming, In: *Precision Agriculture '07, Proceedings of the 6th European Conference on Precision Agriculture*. Stafford, J. & A. Werner [Ed.]: Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, pp.811 – 818.
- JACQUEMOUD, S & F. BARET (1990): PROSPECT: A model of leaf optical properties spectra. In: *Remote Sensing of Environment*, 34, 75 – 91.
- KTBL (2007): Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung. ISBN 978-3-939371-51-9, 52 S.
- MAUSER, W. (2003): The Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer AVIS-2 – Multiangular und Hyperspectral Data for Environmental Analysis. In: *Proceedings IGARSS'03*. Toulouse, France.
- OPPELT, N. & W. MAUSER (2004): Hyperspectral monitoring of physiological parameters of wheat during a vegetation period using AVIS data. In: *International Journal of Remote Sensing*, 25 (1), pp.145 – 159.
- ROUSE, J.W. (1973): Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation of Natural Vegetation. NASA/GSFCT Type II Report, Greenbelt, MD, USA.
- SCHNEIDER, K. & W. MAUSER (2000): Using Remote Sensing Data to Model Water, Carbon and Nitrogen Fluxes with PROMET-V. In: *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems and Hydrology*, SPIE 4171, S. 12 – 23.
- VERHOEF, W. (1985): Earth observation modeling based on layer scattering matrices. In: *Remote Sensing of Environment*, 17, 165 – 178.
- VERHOEF, W. (1998): Theory of radiative transfer models applied in optical remote sensing of vegetation canopies, Ph D Thesis, Wageningen Agricultural University, 310 p.
- VERHOEF, W. & H. BACH (2003): Remote sensing data assimilation by coupling radiative transfer models to a process model. In: *Physics and Chemistry of the Earth*, 28, S. 3 – 13.
- VERHOEF, W. & H. BACH (2007): Coupled soil-leaf-canopy and atmosphere radiative transfer modeling to simulate hyperspectral multi-angular surface reflectance and TOA radiance data; *Remote Sensing of Environment* 109, 166 – 182.

Anschrift der Autoren:

Dr. Heike Bach

VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH

Gabelsbergerstr. 51

D-80333 München

Telefon: (089) 523 89 802

Telefax (089) 523 89 804

E-Mail: bach@vista-geo.de

Dipl. Geogr. Silke Begiebing

VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH

Gabelsbergerstr. 51

D-80333 München

Telefon: (089) 287 795 23

Telefax (089) 523 89 804

E-Mail: biebing@vista-geo.de

3.3 Entwicklung und Validierung eines Verfahrens zur interaktiven modellgestützten Generierung von Ertragszielkarten heterogener Ackerschläge

Development and validation of a procedure of interactive model supported generation of yield goal maps of heterogeneous fields

Jans Bobert, Wilfried Mirschel, Karl-Otto Wenkel, Ralf Wieland & Edward Nash

Zusammenfassung

Die Entwicklung und Bereitstellung praxisanwendbarer Methoden zur prospektiven teilflächenbezogenen Planung der Ertragsziele ist eine wesentliche Voraussetzung für die Weiterentwicklung und Breitenanwendung der Precision Farming Technologie. Speziell für die teilflächendifferenzierte Aussaat-, Düngungs- und Pflanzenschutzplanung ist die Ertragszielkarte die entscheidende Datengrundlage. Trotz der in den zurückliegenden Jahren in *pre agro* I und weiteren nationalen und internationalen Pilotprojekten zweifellos erreichten Fortschritte genügen die gegenwärtig verfügbaren Methoden zur räumlich differenzierten Planung der Ertragsziele den Anforderungen der breiten Praxis ebenso wenig wie der Einsatz dynamischer Agrarökosystemmodelle. Erforderlich sind deshalb Methoden, die den Landwirt bei der Risikoentscheidung zur Planung teilflächenbezogener Ertragszielwerte bestmöglich unterstützen, ohne ihn bezüglich der Datenbereitstellung zu überfordern. Vor diesem Hintergrund erarbeitete das Teilprojekt „Modellgestützte Generierung von Ertragszielkarten“ ein modellgestütztes Verfahren, das es ermöglicht, für konkrete Teilflächen innerhalb von landwirtschaftlichen Schlägen realistische Ertragsziele für die nächste Vegetationsperiode zu bestimmen. Als Datengrundlage für die Generierung von schlagbezogenen Ertragskarten sind Informationen über die den Ertrag beeinflussenden Standortparameter in einer räumlich und gegebenenfalls auch zeitlich hohen Auflösung erforderlich. Hinzu kommen noch folgende Anforderungen an die notwendigen Daten: Zuverlässigkeit, leichte Zugänglichkeit bzw. Beschaffbarkeit, geringe Kostenaufwendungen für ihre Erhebung bzw. Beschaffung (günstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis), Verarbeitung der Daten/Informationen ohne großen Aufwand. Die Methode zur Generierung von Ertragszielkarten, bei der auf das Spatial Analysis and Modeling Tool (SAMT), einer im Institut für Landschaftssystemanalyse des ZALF Müncheberg entwickelten Open-Source-Software zurückgegriffen wird, lässt sich in drei Stufen unterteilen. Im ersten Schritt wird der durchschnittliche standortabhängige Ertrag des gesamten Schlages ermittelt. Dies geschieht mithilfe des regionalen Modells YIELDSTAT. Alternativ können zur Bestimmung des durchschnittlichen Gesamtschlagenertrages auch Daten der Landessortenversuche oder das Expertenwissen des Landwirtes genutzt werden. Im zweiten Schritt erfolgt eine Korrektur des ermittelten durchschnittlichen Gesamtschlagenertrages, um Vorfrucht- und Sorteneffekte berücksichtigen zu können. Im dritten Schritt wird dann der teilflächenspezifische Ertrag bestimmt. Hierfür wird die räumliche Ausprägung von Parametern, die die teilflächenspezifische Ertragsbildung beeinflussen, ermittelt. Die fein gerasterte Ertragszielkarte lässt sich in der landwirtschaftlichen Praxis jedoch kaum einsetzen. Hier sind zonierte Karten, die an die betriebsspezifische Arbeitsbreite angepasst sind, sehr viel einfacher einzusetzen. Deshalb wurde in Zusammenarbeit mit Teilprojekt 7 eine Methode entwickelt, die es erlaubt, die in der fein gerasterten Ertragszielkarte enthaltenen Informationen zu aggregieren und dem Nutzer als zonierte Ertragszielkarte im Vektorformat zur Verfügung zu stellen. Das entwickelte Verfahren wurde in zwei landwirtschaftlichen Betrieben (WIMEX Agrarprodukte GmbH-Sachsen-Anhalt und Täger Farny, Groß Twülpstedt-Niedersachsen) erprobt und mit anderen Verfahren verglichen. Dabei konnte die generelle Anwendbarkeit des entwickelten Verfahrens nachgewiesen werden. Weite-

re Arbeiten sind jedoch erforderlich, um eine breite Praxisanwendbarkeit und Übertragbarkeit in unterschiedlichen Anbauregionen zu sichern.

Summary

The development and provision of practical methods for prospective site-specific planning of yield goals are essential prerequisites for the further development and application of the precision farming technology. In particular the yield goal map is a decisive data basis for site-specific planning of sowing, fertilisation and pest management. In spite of the general progress in the last years as result of *pre agro* I and further national and international pilot projects the today available methods for site specific planning of the yield goal do not meet the requirements of the agricultural practice. This is also true for the use of dynamic agro-ecosystem models. Thus methods have to be developed that support the decision making process of farmers concerning site-specific yield goals without overburden the farmer in terms of providing input data. Against this background the subproject "Model supported generation of yield goal maps" developed a method that allows the farmer to determine realistic yield goals for the next vegetation period of defined subareas of a field. As basis for a generation of site-specific yield goal maps spatially and timely high resolution information about site parameter influencing yield formation is necessary. In addition the data have to meet the following requirements: reliability, easy accessibility respectively availability as well as an appropriate cost-benefit ratio. The generation of yield goal maps is carried out with the Spatial Analysis and Modeling Tool (SAMT), an open source software developed by the institute of Landscape Systems Analysis of the Leibniz-Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF) in Muencheberg. The method is subdivided into three steps: In the first step the site depending yield for the entire yield is determined. This is done with the regional model YIELDSTAT. Alternatively results of local field trials or the farmers expert knowledge can be used to derive the fields average yield goal. In the second step the determined average yield goal is adjusted to account for the effects of preliminary crops and variety. In the third step the site-specific yield goal is identified. For this purpose the spatial occurrence of parameter influencing the site-specific yield formation is used for. The model output is a high resolution raster map. This map is hardly applicable under practical farming conditions. It needs to be adapted to the applied working width and machinery. Zonal maps can be used much easier for this purpose. Therefore in cooperation with subproject TP 7 a method was developed, that allows the aggregation of the information contained in the yield goal raster maps and provides the user with a zonal yield goal map in vector format. The developed procedure was tested and compared to other approaches on two farms (WIMEX Agrarprodukte GmbH in Saxony-Anhalt and Täger-Farny in Lower Saxony). The general applicability of the method could be verified. Nevertheless further research is necessary to ensure a broader application and transferability of the procedure.

3.3.1 Einleitung und Problemstellung

Die Entwicklung und Bereitstellung praxisanwendbarer Methoden zur prospektiven teilflächenbezogenen Planung der Ertragsziele (Ertragserwartungswerte für die jährliche Anbauplanung) ist eine wesentliche Voraussetzung für die Weiterentwicklung und Breitenanwendung der Precision Farming Technologie. Speziell für die teilflächendifferenzierten Planungen zur Aussaat, zur Düngung und zum Pflanzenschutz ist die Ertragszielkarte die entscheidende Datengrundlage. Sie bestimmt wesentlich die räumliche Ausprägung dieser Maßnahmen auf einem Schlag und damit auch entscheidend die hierdurch zu erzielenden ökonomischen Effekte bzw. die mit den Maßnahmen verbunden ökologischen

Wirkungen. Die Festlegung realistischer Ertragsziele ist somit ein kritischer Punkt im gesamten Produktionsverfahren. Sind die Planziele zu hoch gesteckt, besteht die Gefahr überhöhter landwirtschaftlicher Inputs (Saat- und Düngermengen, Pflanzenschutzintensität, ...). Verbunden damit sind Risiken für überhöhte Produktionskosten und die Umwelt. Werden die Ertragsziele zu konservativ geplant, besteht die Gefahr, dass die Vorteile günstiger Wachstumsbedingungen ökonomisch nicht verwertet werden können, was wiederum negative Einflüsse auf das gesamte Betriebsergebnis hat. Die Festlegung der Ertragsziele ist daher immer eine Risikoentscheidung des Landwirts und kann folglich nur von ihm unter Berücksichtigung der konkreten Standortbedingungen und der betrieblichen Situation getroffen werden.

Trotz der in den zurückliegenden Jahren in *pre agro I* und weiteren nationalen und internationalen Pilotprojekten zweifellos erreichten Fortschritte genügen die gegenwärtig verfügbaren Methoden zur räumlich differenzierten Planung der Ertragsziele, wie „Regressionsmodell Roth“ (ROTH 1995) (Abschätzung des Zielertrages Winterweizen aus durchschnittlicher Jahresniederschlagsmenge und Bodenzahl) bzw. „Methode Lisso“ (HASERT et al. 2003) (Abschätzung der teilflächendifferenzierten Ertragsbewertungswerte aus mehrjährigen standardisierten Ertragskarten, die in einem zweiten Schritt mit Hilfe von aus on-farm Experimenten gewonnenen Erkenntnissen über sortenspezifische Leistungsmerkmale und Vorfrucht-Nachfruchtwirkungen im Betrieb modifiziert werden), den Anforderungen der breiten Praxis ebenso wenig wie der Einsatz dynamischer Agrarökosystemmodelle, wie z. B. CERES, STICS, AGROSIM (RITCHIE & OTTER 1985, WENKEL & MIRSCHEL 1995, MIRSCHEL et al. 2001, BRISSON et al. 1998) u. a. Die Methoden sind entweder zu grob (Regressionsmodell Roth), setzen vor ihrer Anwendung mehrjährige, zuverlässig kalibrierte und bearbeitete Ertragskarten sowie eigene sorgfältig geplante und ausgewertete On-Farm Experimente voraus, bzw. sind zu daten- und rechenzeitintensiv, schlecht überschaubar und bezüglich der Anzahl der einbezogenen Wirkfaktoren unvollständig (dynamische Agrarökosystemmodelle). Erforderlich sind deshalb Methoden, die den Landwirt bei der Risikoentscheidung zur Planung teilflächenbezogener Ertragszielwerte bestmöglich unterstützen, ohne ihn bezüglich der Datenbereitstellung zu überfordern. Neben der Berücksichtigung der konkreten Standort- und Bodenfruchtbarkeitsbedingungen, der konkreten Sortenpotenziale, der Vorfrucht- Nachfrucht-Effekte sowie der erreichten Erträge zurückliegender Jahre müssen solche Methoden vor allem szenariotauglich sein (Analyse von möglichen Situationen: was wäre, wenn eine Maßnahme z. B. vom Zeitpunkt oder von der Intensität her geändert wird) und räumlich explizit arbeiten können. Des Weiteren müssen diese Methoden, wenn sie eine praktische Akzeptanz finden sollen, möglichst einfach, transparent, flexibel sowie anpassungs- und erweiterungsfähig sein. Schließlich sollten sie es ermöglichen, den Landwirt bei der Entscheidung mit einzubeziehen.

3.3.2 Material und Methoden

3.3.2.1 Untersuchungsgebiete

Für die Erstellung des Verfahrens zur interaktiven modellgestützten Generierung von Ertragszielkarten heterogener Ackerschläge sowie der Validierung des Verfahrens wurde auf Ackerschläge der *pre agro II*-Beispielsbetriebe WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH in Baasdorf (Sachsen-Anhalt) und Täger-Farny in Groß-Twülpstedt (Niedersachsen) zurückgegriffen.

3.3.2.1.1 Betrieb WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH, Baasdorf (Sachsen-Anhalt)

Die Betriebsflächen der WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH liegen in der Köthener Ebene im Umland von Köthen. Die Köthener Ebene zeichnet sich durch ein vergleichsweise ebenes Relief in Höhen zwischen 60 und 80 m über Normalnull aus. Bedingt durch den saaleeiszeitlichen Einfluss sind die Bodeneigenschaften auch kleinräumig zum Teil sehr heterogen. Neben teils mächtigen Lössböden finden sich Parabraunerden und Böden mit hoch anstehenden Sanden und Kiesen.

Durch die Lage im Regenschatten des Harzes fallen nur geringe Niederschläge in der Region. Zwischen 1975 und 2006 fielen im Mittel 504 mm Niederschlag pro Jahr. Die maximale mittlere Tagestemperatur lag in diesem Zeitraum bei 13,8 °C, die minimale mittlere Tagestemperatur bei 5,6 °C (EUROPEAN JOINT RESEARCH CENTRE 2007).

Als Versuchsschläge wurden in Kooperation mit den anderen *pre agro* II-Teilprojekten die Schläge *Finkenherd* (Wu 141), *Trappenberg* (Wu 541), *Stangenbreite* (Wu 221) und *Weinberg* (Wu 631) ausgewählt (siehe Abbildung 37).



Abbildung 37: Lage der Versuchsschläge und der Monitoringpunkte auf dem Betrieb WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH

Figure 37: Location of trial plots and monitoring points at WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH

3.3.2.1.2 Betrieb Träger-Farny, Groß-Twülpstedt (Niedersachsen)

Die aus dem Betrieb Träger-Farny verwendeten Ackerschläge liegen in der Nähe von Groß Twülpstedt, etwa 12 km südöstlich von Wolfsburg. LORENZ (2005) beschreibt die Böden in der Region wie folgt: „Das Untersuchungsgebiet Groß Twülpstedt wird durch Verwitterungs- und Glazialdecken über Tonstein (aus dem Jura) und von Altmoränensedimenten geprägt. Die daraus entstandenen Pelosole wei-

sen eine sehr dichte Lagerung auf und neigen zu Haftnässe. Moränensande und Lehme bilden in diesem Gebiet die Basis für Braunerden und Pseudogleye“.

Zwischen 1975 und 2006 fielen im Mittel 608 mm Niederschlag pro Jahr. Die maximale mittlere Tagestemperatur lag in diesem Zeitraum bei 13,3 °C, die minimale mittlere Tagestemperatur bei 5,5 °C (EUROPEAN JOINT RESEARCH CENTRE 2007).

Als Versuchsschläge wurden in Kooperation mit den anderen *pre agro* II-Teilprojekten die Schläge *Rabenberg*, *Auf dem Mittelberge*, *Kamp* und *Finkenspring* ausgewählt (siehe Abbildung 38).



Abbildung 38: Lage der Versuchsschläge und der Monitoringpunkte auf dem Betrieb Täger-Farny

Figure 38: Location of trial plots and monitoring points at Täger-Farny's farm

3.3.2.2 Datengrundlage

Als Datengrundlage für die Generierung von schlagbezogenen Ertragskarten sind Informationen über die den Ertrag beeinflussenden Standortparameter in einer räumlich und gegebenenfalls auch zeitlich hohen Auflösung erforderlich. Hinzu kommen noch folgende Anforderungen an die notwendigen Daten: Zuverlässigkeit, leichte Zugänglichkeit bzw. Beschaffbarkeit, geringe Kostenaufwendungen für ihre Erhebung bzw. Beschaffung (günstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis), Verarbeitung der Daten/Informationen ohne großen Aufwand. Im Rahmen des Projektes *pre agro* II wurden die notwendigen Flächen- und Punktdaten sowohl von einzelnen Teilprojekten, als auch teilprojektübergreifend erhoben und über die *pre agro* II-Projekt Datenbank den einzelnen Projekten zur Verfügung gestellt. Neben diesen Daten wurden hier aber auch externe Datenquellen verwendet.

3.3.2.2.1 Flächendaten

Zur Entwicklung und Validierung eines Verfahrens zur interaktiven modellgestützten Generierung von Ertragszielkarten für heterogene Ackerschläge wurden folgende flächenhaft erhobene Daten herangezogen:

Karte der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit des Bodens (ECa)

Die ECa-Daten wurden auf den *pre agro* II-Schlägen mit dem EM 38 Sensor erhoben. Eine Spule erzeugt ein magnetisches Wechselfeld im Boden, das wiederum ein sekundäres Feld erzeugt, welches von einer zweiten Spule registriert wird. Aus dem Verhältnis beider Felder lässt sich die mittlere ECa über ca. 1,5 m Tiefe bestimmen (SCHMIDHALTER et al. 2002). Die Messwerte werden bei einer Erhebung per GPS georeferenziert. In einer Nachbearbeitung werden die Daten kalibriert und interpoliert. Die resultierende Karte zeigt die scheinbare elektrische Leitfähigkeit in Millisiemens ($\text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$). Die scheinbare Leitfähigkeit wird primär durch die Textur des Bodens, den Bodenwassergehalt, den Gehalt an organischer Bodensubstanz und der Leitfähigkeit der Bodenlösung bestimmt.

Karten von Vegetationsindizes

Mit einem auf einem Schlepper montierten YARA N-Sensor kann die Reflexion der Bestandesoberfläche einer Kulturart gemessen werden (LINK et al. 2003). Über zwei eingebaute Spektrometer werden die Pflanzenreflexion und die Referenzstrahlung des Himmels im Wellenlängenbereich zwischen 450 und 850 nm erfasst. Im praktischen Einsatz werden aus unterschiedlichen Wellenlängen Vegetationsindizes errechnet und über einen Algorithmus die Stickstoffbedürftigkeit der Kulturpflanze ermittelt. Hier wurden Daten im sogenannten FieldScan-Modus erhoben, d. h. die vom Sensor erhobenen Reflexionsdaten von 20 frei wählbaren Wellenlängen wurden per GPS georeferenziert in einer Datei abgespeichert. In einer Nachbearbeitung wurden die Daten dann in ein GIS-taugliches Datenformat transferiert. Im GIS wurden dann durch Interpolationen Reflexionskarten der jeweiligen Wellenlängen erzeugt. Auf dieser Basis lassen sich dann zahlreiche Vegetationsindizes bilden. Die Karten der Vegetationsindizes werden über Regressionsmodelle mit auf Punktbasis erhobenen Parametern wie Frischmasse, Trockenmasse oder Wassergehalt verknüpft, um Flächenkarten dieser Parameter zu erhalten.

Ein weiterer im Rahmen von *pre agro* II zum Einsatz gekommener Sensor zur Erfassung von Daten zur Erstellung von Vegetationsindex-Karten ist der **AVIS-Sensor**. Er ist ein multispektraler Fernerkundungssensor (OPPELT & MAUSER 2004), der im Wellenlängenbereich zwischen 400 – 900 nm mit einer spektralen Auflösung von 2 – 4 nm die Reflexion von Pflanzenoberflächen erfasst. Im *pre agro* II -Projekt wurde dieser Sensor bis zu dreimal pro Jahr zu Befliegungskampagnen eingesetzt, in denen die Projektgebiete großräumig in einer Höhe von ca. 1000 m überflogen wurden, so dass die erhobenen Spektraldaten eine räumliche Auflösung von 2 – 4 m aufweisen. Die Daten wurden vom Teilprojekt (TP) 13 (Bestandeszustandserfassung durch Fernerkundung) nachbearbeitet und den Projektteilnehmern in Form von mehrkanaligen binären Bilddateien zur Verfügung gestellt.

Digitale Geländekarte

Im Auftrag von TP 14 (Integrative Standortanalyse) wurde von der Region Wulfen, in der die Flächen des *pre agro* II-Beispielsbetriebes WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH liegen, per Laserscanverfahren ein **digitales Höhenmodell** erstellt. Aus diesem hochgenauen Höhenmodell (Höhen-

fehler < 5 cm) wurden GIS Reliefparameter und Indices abgeleitet, die als Eingangsparameter in die Modellierung der Ertragszielkarte eingingen. Für den Betrieb Träger-Farny standen dafür hochgenaue Höhenmodelle der Niedersächsischen Landesvermessung zur Verfügung.

Digitale Hofbodenkarten

Aus den Datenbeständen des Projektes *pre agro* I standen für viele *pre agro* II-Projektschläge digitale Hofbodenkarten zur Verfügung (LAMP et al. 2002). Sie enthalten neben Daten zur Textur des Bodens auch Informationen zur nutzbaren Feldkapazität, der Durchwurzelungstiefe und dem Stein- und Humusgehalt.

Karte der Reichsbodenschätzung

Die Daten der **Reichsbodenschätzung** standen digitalisiert und aufbereitet (REICHE et al. 2002) für viele Beispielschläge aus dem Datenbestand des Projektes *pre agro* I zur Verfügung und wurden im Projekt *pre agro* II genutzt.

Ertragskartierung mit Mähdrescher

Die Kalibrierung und Validierung des Verfahrens zur modellgestützten Generierung von Ertragszielkarten wurde mit Hilfe von **Ertragskarten** vorgenommen. Die mit unterschiedlichen Mähdruschsystemen erhobenen Ertragsdaten wurden von den Betrieben zur Verfügung gestellt und von der Projektkoordination in GIS-fähige Datenformate konvertiert. Die Transformation der Daten in das im Projekt verwendete Koordinatensystem, die Feuchtekorrektur sowie die Interpolation wurde vom TP 15 (Generierung von Ertragszielkarten) durchgeführt.

3.3.2.2 Punktdaten

Im Gegensatz zu den verwendeten flächenbezogenen Daten (Karten), die in der Regel in einer räumlichen Auflösung von 5 m vorliegen, wurden andere Parameter nur an jeweils ausgewählten Monitoringpunkten der im Projekt berücksichtigten Praxischläge erhoben. Von diesen Monitoringpunkten wurden je nach Schlaggröße und Heterogenität des einzelnen Beispielschlages in Zusammenarbeit mit TP 14 (Integrative Standortanalyse) und TP 16 (potenzieller Wurzeltiefgang) 6 – 12 Punkte ausgewählt. Ziel war das Erfassen und Abdecken des Spektrums der Standortheterogenität auf dem jeweiligen Beispielschlag anhand der repräsentativen Auswahl der Monitoringpunkte. An diesen Monitoringpunkten wurden dann im Vegetationsverlauf in Zusammenarbeit mit TP 14 und TP 16 Vegetationsparameter wie Biomasse, Wassergehalt, Entwicklungsstadium, Blattflächenindex, Wuchshöhe, Bestandesentwicklung und auftretender Stress in unterschiedlichen Zeitabständen gemessen und erfasst. Physikalische und chemische Bodenparameter wurden vom TP 14 erhoben und den Projektpartnern auf den gemeinsam bearbeiteten Beispielschlägen zur Verfügung gestellt. TP 15 und TP 16 führten gemeinsam ein Monitoringprogramm zur Bestimmung des gravimetrischen Bodenwassergehaltes auf den Schlägen *Finkenherd* und *Trappenberg* in der WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH sowie dem Schlag *Rabenberg* in Groß Twülpstedt durch. An den Monitoringpunkten wurden dafür 3 – 4mal (zu Beginn und während der Vegetationsperiode zu definierten Wachstumsstadien (Schossen, Blüte, Abreife) Bodenproben bis zu einer Tiefe von 120 cm entnommen und der gravime-

trische Bodenwassergehalt horizontweise bestimmt. Das TP 14 stellte hierfür Profilbeschreibungen, Textur- und Lagerungsdichtedaten zur Verfügung.

3.3.2.3 Methodik

Die Methode zur Generierung von Ertragszielkarten, bei der auf das Spatial Analysis and Modeling Tool (SAMT), einer im Institut für Landschaftssystemanalyse des ZALF Müncheberg entwickelten Open-Source-Software (WIELAND et al. 2004, WIELAND et al. 2006a, MIRSCHEL et al. 2006c), zurückgegriffen wird, lässt sich in drei Stufen unterteilen (siehe Abbildung 39). Im ersten Schritt wird der durchschnittliche standortabhängige Ertrag des gesamten Schlages ermittelt. Dies geschieht mithilfe des regionalen Modelles YIELDSTAT (MIRSCHEL et al. 2006a, MIRSCHEL et al. 2006b). Alternativ können zur Bestimmung des durchschnittlichen Gesamtschlagertrages auch Daten der Landessortenversuche oder das Expertenwissen des Landwirtes genutzt werden. Das Modell YIELDSTAT und die Alternativansätze werden im Abschnitt 3.3.2.3.1 beschrieben. Im zweiten Schritt erfolgt eine Korrektur des ermittelten durchschnittlichen Gesamtschlagertrages, um Vorfrucht- und Sorteneffekte berücksichtigen zu können. Die Vorgehensweise wird im Kapitel 3.3.2.3.2 beschrieben. Im dritten Schritt wird dann der teilflächenspezifische Ertrag bestimmt. Hierfür wird die räumliche Ausprägung von Parametern, die die teilflächenspezifische Ertragsbildung beeinflussen, ermittelt. Mit Hilfe eines im Rahmen von SAMT erstellten Fuzzy-Ansatzes werden die die Ertragsbildung auf dem Schlag am intensivsten beeinflussenden Parameter bzw. Faktoren zu einer kombinierten Wirkungsgröße, einer auf den mittleren Ertrag des Schlages bezogenen Relativertragsgröße, die sich in $[0,2]$ bewegt, zusammengefasst. Dies geschieht zunächst auf Rasterkartenebene. Jeder Rasterzelle des Schlages kann somit eine berechnete Wirkungsgröße zugeordnet werden. Die Größenausdehnung der Rasterzellen richtet sich nach den Erfordernissen des Anwenders. So kann die Rasterzellengröße der im Betrieb verwendeten Arbeitsbreite der Maschinen entsprechen. Die TP's 14, 15, 16 und 17 haben zu Beginn des Projektes *pre agro* II eine gemeinsam anzuwendende Rasterzellengröße von 5×5 m vereinbart, um den Datenaustausch zu erleichtern. Durch Multiplikation der rasterbezogenen Wirkungsgröße mit dem in den vorangegangenen Schritten der Methodik ermittelten korrigierten Durchschnittsertrages für den Gesamtschlag wird für jede Rasterzelle ein Ertragsziel berechnet (Beschreibung siehe Kapitel 3.3.2.3.3). Die rasterorientierte Ertragszielkarte enthält räumlich hoch aufgelöste Informationen und ist bei einer Rasterung von 5×5 m für den praktischen Einsatz in den landwirtschaftlichen Betrieben in der vorliegenden Form nur bedingt geeignet. Deshalb wird die Ertragszielkarte mit feingerasterten Informationen in einem weiteren Verarbeitungsschritt zu Ertragszonen aggregiert. Dies geschieht mithilfe eines Clustering-Verfahrens. In einem iterativen Prozess werden die Rasterzellen einer vorher durch den Nutzer festgelegten Anzahl von Clustern zugeteilt. Die Ertragsziele in den Rasterzellen eines Clusters sind sich weitestgehend ähnlich, während sich die Ertragsziele der einzelnen Cluster voneinander deutlich unterscheiden. In Zusammenarbeit mit TP 7 (Workflow-Modellierung) wurde dafür eine Methode entwickelt, mit der das Clustering und die Datenausgabe in ein nutzerfreundlicheres Datenformat über internetbasierte Web Services durchgeführt werden kann. In Kapitel 3.3.2.3.4 wird diese Methode näher erläutert. Zum Schluss wird dem Nutzer die so ermittelte Ertragsziel-Zonenkarte noch einmal zur Korrektur angeboten, die schließlich die Grundlage für die Ableitung von teilflächenspezifischen Managementmaßnahmen im Rahmen von Precision Farming bildet.

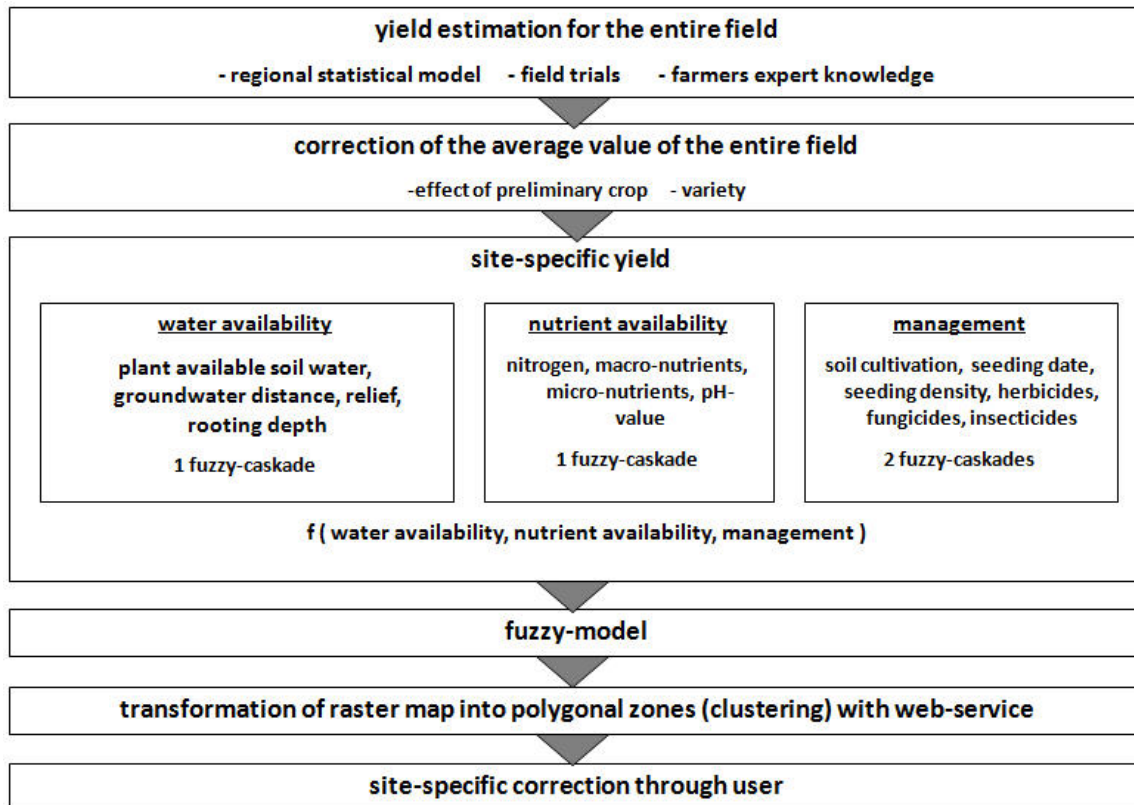


Abbildung 39: Verfahrensschritte für die Generierung von Ertragszielkarten

Figure 39: Procedural steps for the generation of yield target maps

3.3.2.3.1 Schätzung des mittleren Ertragsniveaus für den Gesamtschlag

Ausgangspunkt für die teilflächenspezifische Abschätzung der Ertragsziele ist die Abschätzung des mittleren Ertragsniveaus für den Gesamtschlag. Um bereits hier einen möglichst flexiblen Ansatz für die Gesamtmethodik zu garantieren, soll auf drei mögliche Ansätze zur Abschätzung des mittleren Ertragsniveaus für den Gesamtschlag zurückgegriffen werden können, d. h.:

- auf das regionale Ertragsschätzungsmodell YIELDSTAT
- auf Ergebnisse der Landessortenversuche und
- auf das Erfahrungswissen des Landwirtes.

3.3.2.3.1.1 Das regionale Modell YIELDSTAT

Grundlage für die Abschätzung des standortabhängigen Ertragszieles des Gesamtschlages mit dem regionalen Modell YIELDSTAT (MIRSCHER et al. 2006a, MIRSCHER et al. 2006b) bildet ein dreistufiger statistisch basierter Schätzalgorithmus, der sich aus einer standorttypabhängigen Naturalertragsmatrix, einem Korrekturalgorithmus nach Standortmerkmalen sowie einem Ertragstrend-Overlay zusammensetzt. Die drei Stufen sind dabei additiv verknüpft. Die Naturalertragsmatrix ist eine Erweiterung der Schätzmatrix nach Kindler (KINDLER 1992). Für 56 Standorttypen der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK, SCHMIDT & DIEMANN 1991) können die Basis-Naturalerträge für 16 Ackerkulturen (u. a. Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste, Sommergerste, Winterraps, Silomais, Kartoffeln) und zwei Grünlandnutzungen (intensiv und extensiv) geschätzt werden. Die dafür notwendige Datengrundlage basiert auf Erhebungen in 288 repräsentativen Betrieben

aus dem Zeitraum von 1975 bis 1989 (Datenspeicher DASKE, KÜHN et al. 1974). Beispielhaft für Winterweizen und Triticale sind die standorttypabhängigen Basis-Naturalerträge in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Basis-Naturalertrag (NE, dt ha⁻¹) für Winterweizen (WW) und Triticale (TR) in Abhängigkeit von MMK-Standortstypen (StT) (nach KINDLER 1992, modifiziert und erweitert)

Table 16: Basic natural yield (NE, dt ha⁻¹) of winter wheat (WW) and triticale (TR) in dependence on MMK-Classification (StT) (according to KINDLER 1992, modified and enhanced)

Diluvialböden			Aluvialböden			Lössböden			Verwitterungsböden		
StT	NEWW	NETR	StT	NEWW	NETR	StT	NEWW	NETR	StT	NEWW	NETR
D1a	35	37	Al1a	61	56	Lö1a	76	71	V1a	70	65
D2a	37	42	Al1b	58	53	Lö1b	72	67	V2a	65	60
D2b	40	46	Al1c	55	50	Lö1c	68	63	V2c	61	57
D3a	44	46	Al2b	56	51	Lö2c	66	61	V3a	61	57
D3b	47	47	Al2c	52	48	Lö2d	64	59	V3b	60	55
D3c	45	44	Al3a	62	57	Lö3a	76	71	V3c	50	46
D4a	54	52	Al3b	59	54	Lö3c	68	63	V4a	56	52
D4b	57	55	Al3c	57	53	Lö4b	68	63	V4b	50	48
D4c	57	54				Lö4c	63	58	V5a	59	54
D5a	60	54				Lö5b	67	62	V5b	58	55
D5b	65	57				Lö5c	65	60	V5c	50	54
D5c	65	56				Lö6b	64	59	V6b	55	53
D6a	62	58				Lö6c	60	55	V7a	54	49
D6b	67	62							V7b	55	51
D6c	67	62							V7c	48	47
									V8a	55	55
									V9a	44	49

Die Basis-Naturalerträge werden in Abhängigkeit von MMK-Standortmerkmalen, wie der Steinigkeit, der Hangneigung, dem Hydromorphieflächentyp, der Ackerzahl, der Höhe über NN und dem Neigungsflächentyp, sowie von klimatischen Größen, wie der wachstumswirksamen Temperatur nach Adler (ADLER 1987), dem mesoskaligen Klimatyp (ADLER 1987) und der Klimatischen Wasserbilanz (KWB) für die Hauptwachstumsphase der Kulturpflanzen, mit Zu- und Abschlägen versehen. Die dabei zur Anwendung kommenden statistisch ermittelten Algorithmen für die Berechnung der Zu- und Abschläge gehen auf Kindler (KINDLER 1992) zurück, wurden aber in Abhängigkeit von der Standortdatenverfügbarkeit unterschiedlich stark modifiziert und erweitert. Die Klimatische Wasserbilanz ist dabei die Differenz zwischen Niederschlagshöhe (NIED, mm) und potenzieller Verdunstung (PET, mm):

$$KWB = NIED - PET \quad (1)$$

Für die Berechnung der PET wird auf die für den Osten Deutschlands angepasste Formel nach Wendling (WENDLING 1991), die auf der Globalstrahlung (G , J cm⁻²) und der Tagesmitteltemperatur (T , °C) basiert, verwendet:

$$PET = (G + K) \frac{T + 22}{150 (T + 123)} \quad (2)$$

Die Konstante K berücksichtigt dabei den Einfluss der maritim bedingt höheren Luftfeuchte ($K = 54$ im Küstenbereich bis 30 km; $K = 93$ für das Binnenland < 400 m über NN).

Wie bereits oben erwähnt wird die KWB dabei nicht für das Gesamtjahr, sondern fruchtartabhängig für die Anbauperiode bestimmt.

Der Zu- und Abschlagsalgorithmus des dreistufigen Schätzalgorithmus für den Ertrag ist für Wintergetreide (Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen) im Detail bei MIRSCHEL et al. (2003) und für Winterraps bei MIRSCHEL et al. (2006a) beschrieben.

Der nur schwer quantifizierbare ertragswirksame Fortschritt durch die Züchtung neuer Sorten und die Anwendung neuer Anbautechnologien und Managementstrategien wird in erster Näherung über einen linearen Trend (E_{Trend})

$$E_{Trend} = K_{FA} \cdot (Jahr - 1990) \quad (3)$$

erfasst, wobei das Züchtungs- und Managementniveau des Jahres 1990 den Ausgangspunkt bildet. Hierbei ist Jahr das aktuelle Jahr, für das eine Ertragszielkarte erstellt werden soll. K_{FA} ($dt\ ha^{-1}$) ist der fruchtartspezifische statistisch ermittelte durchschnittliche jährliche Ertragszuwachs. Diese landesweit ermittelten durchschnittlichen Werte basieren auf langjährigen (teilweise bis 23 Jahre) Datenreihen. Für die Getreidearten sind die K_{FA} -Werte für die Länder Brandenburg, Sachsen und Sachsen-Anhalt in Tabelle 17 zusammengefasst.

Tabelle 17: KFA-Werte für Getreidefruchtarten für die Länder Brandenburg, Sachsen und Sachsen-Anhalt

Table 17: KFA-value of grain crops for Brandenburg, Saxony and Saxony-Anhalt

Fruchtart	Brandenburg	Sachsen	Sachsen-Anhalt
Winterweizen (KWW)	1.21	1.43	1.51
Wintergerste (KWG)	0.81	0.83	0.98
Winterroggen (KWR)	0.81	1.09	1.31
Triticale (KTR)	1.10	0.54	1.18
Sommergerste (KSG)	0.25	0.86	0.62
Hafer (KHA)	0.23	0.27	0.40

Der hier dargestellte dreistufige statische Algorithmus für die Abschätzung des Naturalertrages wurde für eine räumliche Berechnung in das Spatial Analysis and Modeling Tool (SAMT, WIELAND et al. 2004, WIELAND et al. 2006a) implementiert. Das Schema der Implementierung ist in Abbildung 40 wiedergegeben.

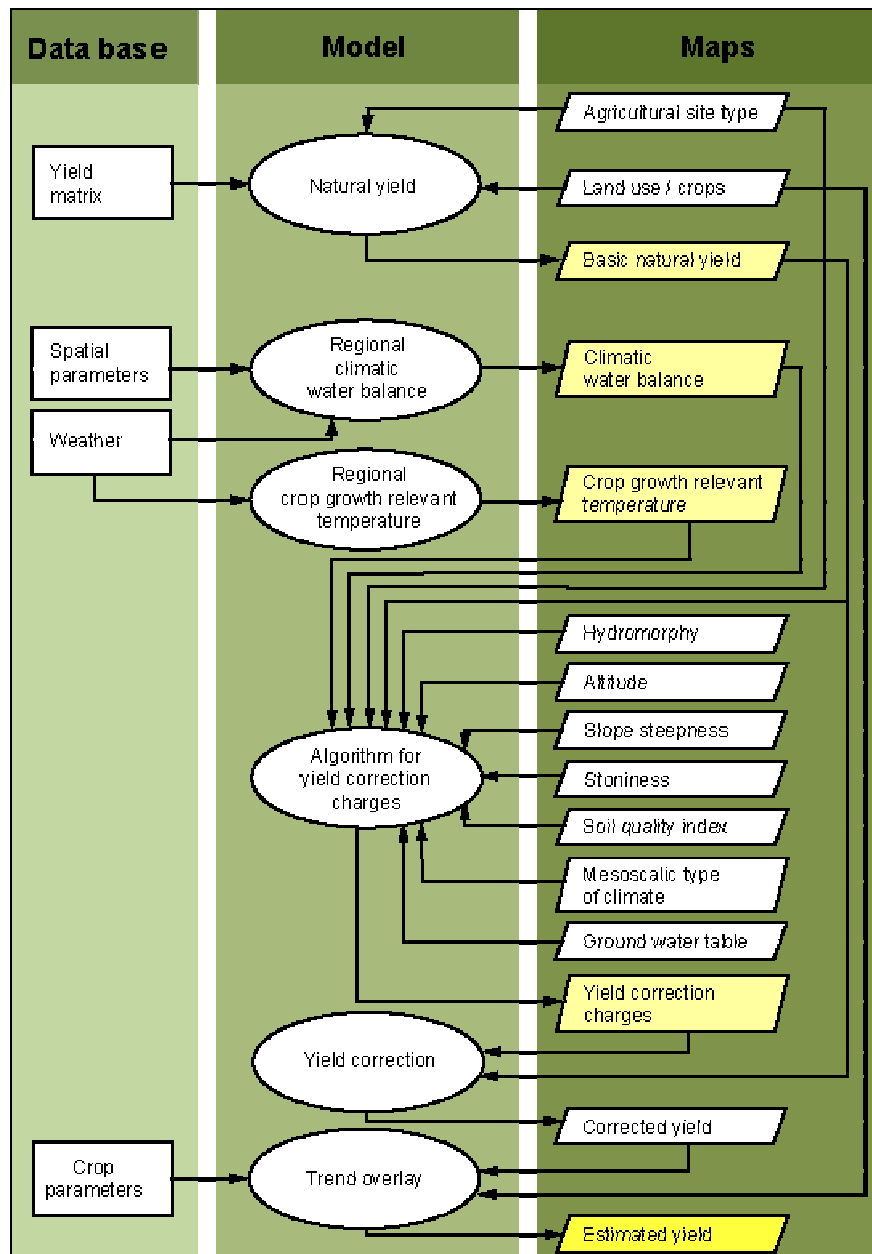


Abbildung 40: Schema für die Implementierung des Algorithmus für die Abschätzung des standortabhängigen Basisnaturaertrages in SAMT

Figure 40: Implementation scheme of the natural yield estimation algorithm into the Spatial Analysis and Modeling Tool (SAMT)

3.3.2.3.1.2 Ergebnisse der Landessortenversuche

Zur Abschätzung des mittleren Ertragsniveaus für den Gesamtschlag kann orientierungsweise auch auf die Ergebnisse der Landessortenversuche zurückgegriffen werden. Bundesweit, d. h., in jedem Bundesland werden für alle landwirtschaftlich wichtigen Kulturen in einem hinsichtlich der Standorte wohldurchdachten Versuchsstationsnetz Sortenversuche durchgeführt. Die Ergebnisse aus diesen Versuchen, in denen die verschiedenen aktuellen Sorten unter jahresspezifisch bestmöglichen agrotechnischen Bedingungen sowohl mit als auch ohne Pflanzenschutz angebaut werden, sind allen Landwirten frei verfügbar und werden ihnen über das Internet:

Brandenburg (mehrere Versuchsjahre):

<http://www.mlur.brandenburg.de/cms/detail.php/144151>;

Sachsen (z. B. für Versuchsjahr 2007):

<http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/7980.htm>;

Sachsen-Anhalt (z. B. Wintergetreide 2007):

http://lsa-st23.sachsen-anhalt.de/lfg/infothek/dokumente/bab_2_07_hartmann.pdf

schnell und kostenfrei zur Verfügung gestellt.

Die Ergebnisse aus den Landessortenversuchen (hier ist immer die zum Betrieb des Landwirtes am nächsten gelegene Versuchsstation zu berücksichtigen) stellen eine wertvolle Hilfe bei der Einschätzung des Ertragszieles für eine bestimmte landwirtschaftliche Kultur und Sorte auf einem Gesamtschlag im regionalen Kontext dar. Da die Sortenversuche in der Regel unter produktionstechnisch optimalen Bedingungen durchgeführt werden, ist es sinnvoll bei der Übertragung der Versuchsergebnisse auf Schläge in der landwirtschaftlichen Praxis einen Abschlag in Höhe von 10 – 15 % vorzunehmen.

3.3.2.3.1.3 Erfahrungswissen des Landwirtes

Eine weitere Möglichkeit der Abschätzung des mittleren Gesamtschlagtrages ist durch das Erfahrungswissen des Landwirtes gegeben. Erfahrene Landwirte, die lange in einer Region wirtschaften, kennen in der Regel die Vor- und Nachteile der angebotenen Kulturen / Sorten auf ihren Standorten. Mittlerweile gehören auch eigene Feldversuche (On-Farm-Research) zum Repertoire vieler Landwirte, die die Precision-Farming-Technologie anwenden, um sich das notwendige standort- und schlagspezifische Wissen zu erschließen. Zu diesen Landwirten zählt auch H. Lisso, Geschäftsführer der „Neu-Seeland“ Agrar GmbH aus Falkenstein/Harz (HASERT et al. 2003, WAGNER et al. 2005). Das TP 11 (On-Farm Experimente im Precision Farming) hat Methoden zu betrieblichen On-Farm Experimenten im Precision Farming entwickelt.

3.3.2.3.1.4 Modell-Experiment-Vergleich zum mittleren Ertragsniveau für den Gesamtschlag

In Tabelle 18 wird für ausgewählte Winterweizenschläge des im Verbundprojekt *pre agro* II integrierten Projektbetriebes WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH (Sachsen-Anhalt) ein Vergleich zwischen den mit dem Mähdrescher erfassten Erträgen und den mit der unter 3.3.2.3.1.1 beschriebenen dreistufigen Methodik berechneten Erträgen vorgenommen. Im Mittel über 12 Schläge aus den Anbaujahren 2000 – 2005 beträgt dabei die Abweichung 7,5 %. In der Regel liegen dabei die berechneten Erträge über den in der Praxis mit dem Mähdrescher ermittelten. Dies ist auch verständlich, wird doch bei der Ertragspotenzialschätzung von idealen Anbaubedingungen ausgegangen, d. h., es werden weder Schädlings- oder Krankheits- noch Pilz- oder Unkrautbefall berücksichtigt; auch wird eine optimale Nährstoffversorgung unterstellt.

Tabelle 18: Vergleich zwischen in der Praxis mit dem Mähdrescher gemessenen und mit dem Modell YIELDSTAT geschätzten Winterweizenenerträgen für Einzelschläge des Projektbetriebes WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH (Sachsen-Anhalt) im Zeitraum 2000 – 2005

Table 18: Comparison of winter wheat yields for fields of the agricultural enterprise WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH (Saxony-Anhalt) during 2000 – 2005, measured by combine on the one hand and calculated using YIELDSTAT model on the other hand

Schlag-Nr.	Jahr	Ertrag (Modell) (dt ha ⁻¹)	Ertrag (Betrieb) (dt ha ⁻¹)	Δ (%)
141	2005	66,4	65,6	1,22 (+)
761	2005	78,4	73,8	6,23 (+)
811	2004	76,4	72,4	5,52 (+)
231	2003	79,5	71,2	11,65 (+)
541_1	2001	76,7	65,5	17,09 (+)
761	2001	73,5	74,7	1,61 (-)
811	2001	72,7	72,2	0,69 (+)
141	2000	58,9	51,8	12,1 (+)
231	2000	75,9	79,0	3,92 (-)
325	2000	80,4	75,0	7,20 (+)
631	2000	71,5	51,0	40,19 (+)
441	2000	79,0	75,0	5,33 (+)
Mittel	2000 – 20005	74,1	68,9	7,55 (+)

3.3.2.3.2 Abschätzung der ertragswirksamen Vorfrucht- und Sortenwirkung

Bei der Schätzung des mittleren Ertragsniveaus für einen Schlag mit den oben beschriebenen Methoden wird sowohl von einer mittleren Vorfruchtwirkung als auch von einer Sorte mittlerer Ertragsleistung ausgegangen. Aber gerade Vorfrucht und Sorte haben einen deutlichen Einfluss auf die Ertragsleistung einer angebauten Fruchtart. Auf der Grundlage von Ergebnissen verschiedener Fruchtfolgeversuche im Rahmen von Feldexperimenten und Praxiserhebungen (PIORR 1999) sowie auf der Grundlage allgemeiner Literaturdaten (FAUSTZAHLEN 2005) wurde eine Matrix für die Vorfruchtwirkung abgeleitet (siehe Tabelle 19).

Tabelle 19: Relativierte Wirkung der Vorfrucht auf den Nachfruchertrag für wichtige Ackerkulturen

Table 19: Relative effect of preliminary crop on the yield of important agricultural crops

Vorfrucht	Nachfrucht					
	Winterweizen	Wintergerste	Winterroggen	Hafer	Kartoffeln	Zuckerrüben
Winterweizen	1	1	0.9	0.91	0.99	1
Winterroggen	0.92	0.9	0.9	0.95	0.99	0.98
Wintergerste	0.98	0.9	1.05	0.91	0.99	0.97
Triticale	1	0.9	0.9	0.94	0.99	1
Sommerweizen	1	0.98	0.9	0.94	0.99	1
Sommerroggen	1	0.98	0.9	0.94	0.99	0.98
Sommergerste	1	0.98	1	0.96	0.99	0.97
Hafer	0.99	1	0.95	0.98	0.99	1
Körnermais	1.02	0.95	0.95	1.02	0.95	0.98
Futtererbsen	1.04	1.04	1.05	1.15	1.02	1.03
Ackerbohne	1.04	1.04	1.05	1.15	1.02	1.03
Ölfrüchte	1.05	1.05	0.9	1.05	1.05	1.08
Kartoffeln	1.05	0.95	1	1.07	0.95	1.04
Zuckerrüben	1.1	1.02	1	1.07	0.95	1
Klee	1.04	1.02	1.08	1.04	1.06	1.05
Weidelgras	1	1	1.02	1	1.02	1
Luzerne	1.04	1.02	1.08	1.04	1.06	1.05
Silomais	1.02	0.95	0.95	1.02	0.95	0.98
Tabak	1.05	0.95	1	1.07	0.95	1.04
Stilllegung	1	1	1.02	1	1.02	1

Bei den landwirtschaftlichen Hauptkulturen lassen sich je nach Anbauform und Verwendungszweck die einzelnen Sorten, die sich im aktuellen Anbau befinden, hinsichtlich ihrer Ertragsleistung in unterschiedliche Sortengruppen einteilen. Am Beispiel des Landes Brandenburg hat eine Auswertung der Sortenprüfungsergebnisse für Winterweizen ergeben, dass, bezogen auf das Ertragsmittel über alle Sortenprüfungen zu Winterweizen im 3jährigen Mittel, der relative Ertrag für die Elite-Sorten [E] 96,3 % beträgt, für die Qualitäts-Sorten [A] 98,2 %, für die Brotweizen-Sorten [B] 101,1 %, für die Futterweizen-Sorten 106,9 % und für die Hybridsorten 112,1 %.

Die Ertragswirkungen von Vorrucht und Sorte wurden dabei auf Gesamtschlagebene multiplikativ mit dem bis dahin geschätzten mittleren gesamtschlagbezogenen Ertragsziel verknüpft.

3.3.2.3.3 Teilflächenspezifische Ertragsvariation

Die Berechnung der teilflächenspezifischen Relativvertragsgröße erfolgt mit dem SAMT-Modul SAMT-Fuzzy. Als Eingangsdaten für die Modellierung dienen räumlich hoch aufgelöste Daten, die den Einfluss dieser Parameter auf die Ertragsbildung und damit den Ertrag abbilden. Im Modellansatz werden die Parameter in drei Gruppen unterteilt: Parameter, die die Wasserverfügbarkeit, die Nährstoffverfügbarkeit sowie das Produktionsmanagement beschreiben (siehe Abbildung 39). Da sich im Projektverlauf herauskristallisierte, dass die Wasserverfügbarkeit in beiden Projektbetrieben den entscheidenden Einfluss auf die Ertragsbildung bei Wintergetreide besitzt, wurde das Hauptaugenmerk auf Parameter gelegt, die diesen Faktor abbilden. Ein guter Anzeiger für die Wasserverfügbarkeit ist die Klimatische Wasserbilanz (KWB). Mit Hilfe von regionalisierten Wetterdaten der Datenbank des European Joint Research Centres (JRC 2007) wurden die Klimatischen Wasserbilanzen für den Zeitraum 1975 bis 2006 berechnet.

Abbildung 41 zeigt, dass die KWB für das Gesamtjahr im Mittel der betrachteten Jahre einen Wert von -160 mm aufweist. Es gab lediglich 4 Jahre in denen die KWB des Gesamtjahres positiv war, also mehr Wasser als Niederschlag fiel als potenziell verdunstete. Betrachtet man die Hauptvegetationszeit für Wintergetreide von März bis Juli ging die KWB im Mittel auf -203 mm zurück und es gab kein einziges Jahr mit einer positiven KWB.

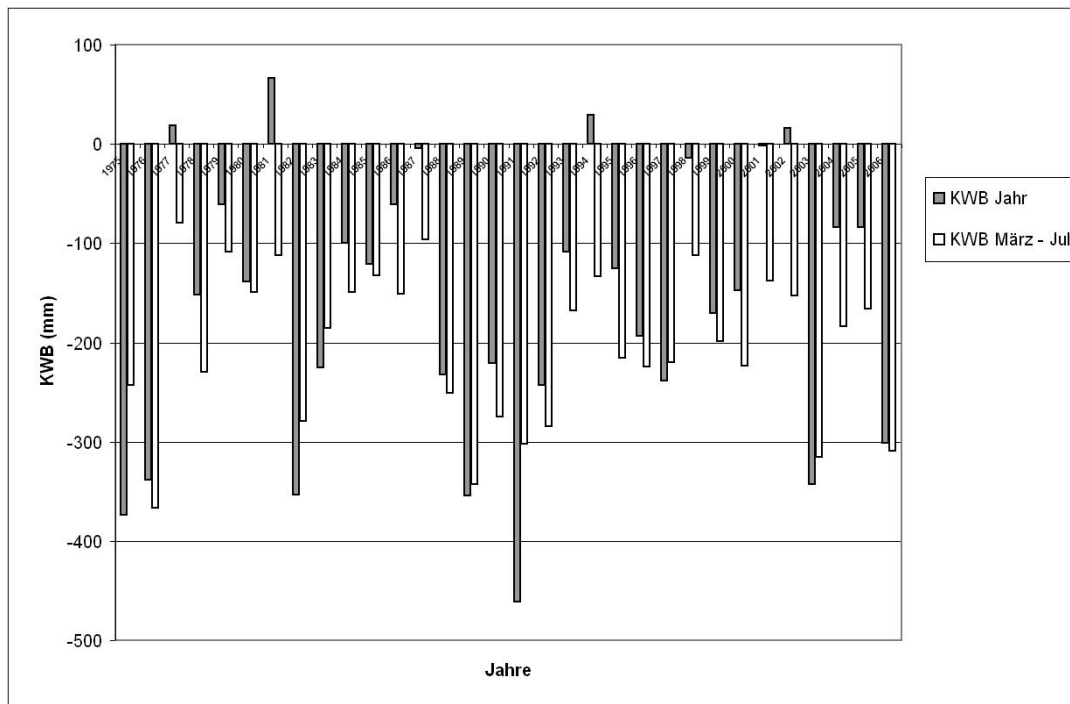


Abbildung 41: Klimatische Wasserbilanz für die Anbauregion des Projektbetriebes WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH (Sachsen-Anhalt) für den Zeitraum 1975 – 2006

Figure 41: Climatic water balance in the cropping region of the agricultural enterprise WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH during the time period 1975 – 2006

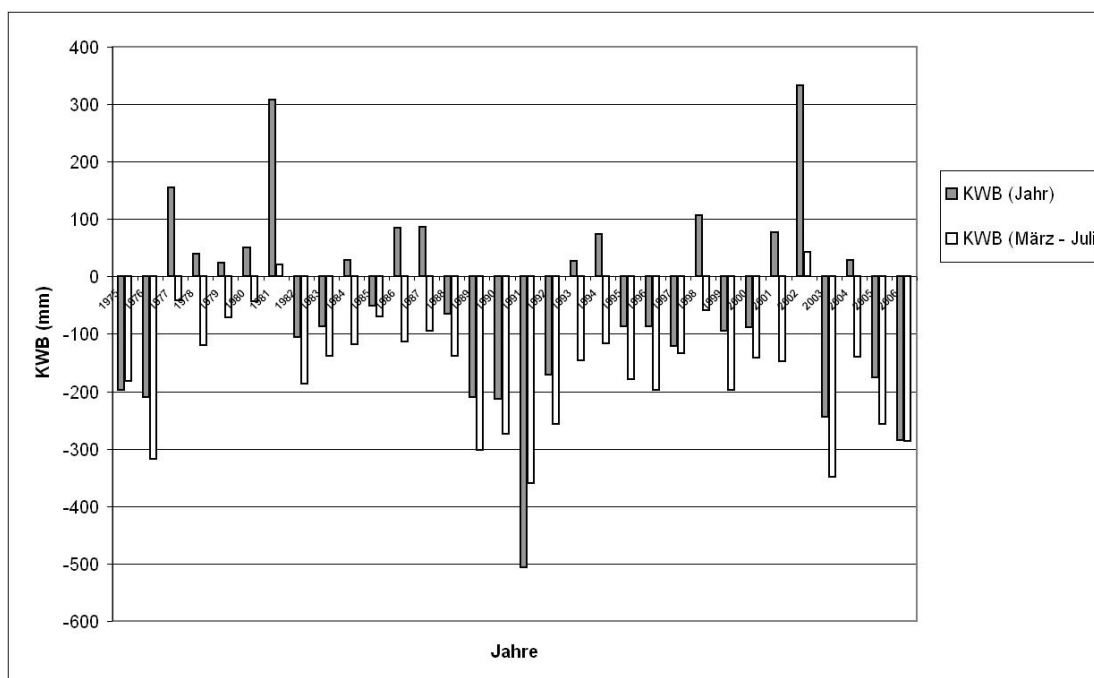


Abbildung 42: Klimatische Wasserbilanz für die Anbauregion des Projektbetriebes Täger Farny Groß-Twülpstedt für den Zeitraum 1975 – 2006

Figure 42: Climatic water balance in the cropping region of the agricultural enterprise Täger Farny Groß-Twülpstedt during the time period 1975 – 2006

Abbildung 42 zeigt, dass die KWB für den Betrieb Träger-Farny in Niedersachsen für das Gesamtjahr im Mittel der betrachteten Jahre einen Wert von -49 mm aufweist. Es gab 14 Jahre in denen die KWB des Gesamtjahres positiv war. Betrachtet man die Hauptvegetationszeit für Wintergetreide von März bis Juli ging die KWB im Mittel auf -160 mm zurück, und es gab nur 2 Jahre mit einer positiven Klimatischen Wasserbilanz. Es wird deutlich, dass die Wasserversorgung der Bestände in der Hauptvegetationszeit überwiegend durch den Wasservorrat im Bodenspeicher gewährleistet werden muss. Pflanzenwachstum und Ertrag verhalten sich unter diesen Bedingungen proportional zur Wasserverfügbarkeit (PUGNAIRE & PARDOS 1999, DOORENBOS et al. 1979). Da die in Deutschland verfügbaren Bodenkarten, die Informationen über die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens zur Verfügung stellen, eine viel zu geringe räumliche Auflösung aufweisen und digitale Hofbodenkarten wie sie in *pre agro I* erstellt wurden (LAMP et al. 2002), nur für relativ wenige Schläge zur Verfügung standen, mussten zur Modellierung Parameter verwendet werden, die die Wasserverfügbarkeit beschreiben, eine hohe räumliche Auflösung aufweisen sowie einfach und preisgünstig zu beschaffen sind. Folgende Parameter wurden verwendet, um die Wasserverfügbarkeit abbilden zu können:

Karte der **scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit des Bodens (ECa)**. Die ECa-Daten wurden im Projekt mit dem EM 38 Sensor erhoben (siehe dazu auch Kapitel 3.3.2.2.1). Da die ECa-Karte ein über eine Bodentiefe von etwa 1,5 m integriertes Signal darstellt, dass von unterschiedlichen physikalischen und chemischen Bodenparametern beeinflusst wird, muss die Karte sorgfältig interpretiert werden, gleiche Signalstärken können an unterschiedlichen Standorten unterschiedliche Ursachen haben. Die ECa-Karte kann preisgünstig von vielen Dienstleistern erworben werden.

Der **Topographische Wetness Index (TWI)** stellt eine Kombination aus dem spezifischen Einzugsgebiet (A_S) eines Punktes und der lokalen Geländeneigung ($\tan\beta$) dar.

$$TWI = \ln(A_S / \tan\beta) \quad (4)$$

Der TWI basiert auf der Annahme, dass die Geländeform die Wasserbewegung auf einer Oberfläche und im oberflächennahen Boden bestimmt und somit über die Verteilung des Bodenfeuchtemusters entscheidet. Hohe Indexwerte sind charakteristisch für konvergierendes, flaches Gelände. Niedrige Werte treten in steilem Gelände mit kleinem Zufluss auf. Die Ableitung des TWI erfordert ein hochgenaues digitales Geländemodell mit einer hohen Auflösung und glatter Oberfläche (BILL & SCHMIDT 2002). Für die Schläge der Anbauregion der WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH wurden von TP 14 hochgenaue Laserscandaten zur Verfügung gestellt. Für die Schläge des Projektgebietes Träger Farny um Groß Twülpstedt wurden hochgenaue digitale Höhenmodelle der Niedersächsischen Landesvermessung verwendet. Mit einer frei verfügbaren Version des Systems für Automatisierte Geowissenschaftliche Analysen (SAGA-GIS 2007) wurden aus den digitalen Höhenmodellen die Topographischen Wetness Indices abgeleitet und in das ASCII-Rasterformat überführt, um die Daten als Griddaten in SAMT einlesen zu können.

Der **Photochemical Reflectance Index (PRI)** ist ein spektraler Index im grünen Bereich.

$$PRI = (R_{531nm} - R_{570nm}) / (R_{531nm} + R_{570nm}) \quad (5)$$

Hier sind $R_{531\text{nm}}$ der Reflexionswert bei einer Wellenlänge von 531 nm und $R_{570\text{nm}}$ der Reflexionswert bei einer Wellenlänge von 570 nm.

Der PRI reagiert sensitiv auf Änderungen des Gehaltes an Carotinoiden wie z. B. Xanthophyll in grünen Blättern. Von mehreren Autoren wurde beschrieben, dass diese Sensitivität als indirektes Maß von Pflanzenwasserstress genutzt werden kann (PENUÉLAS et al. 1994, THENOT et al. 2002). Bei vielen Kulturpflanzen wird durch die Induktion von mehrtägigem Wasserstress der Gehalt an Carotinoiden signifikant erhöht. Die Erhöhung der Carotinoidkonzentration ist streng korreliert mit dem Pflanzenwasserstatus, bzw. dem Pflanzenwassergehalt. Nach Thenot (THENOT et al. 2002) ist der PRI unter der Voraussetzung, dass die betrachteten Pflanzen ein vergleichbares Alter aufweisen und der Wasserstress bei den Pflanzen nicht zu starken Seneszenzerscheinungen geführt hat, ein zuverlässiger Wasserstress Anzeiger. Eigene Untersuchungen belegen den Zusammenhang zwischen dem PRI und dem Pflanzenwassergehalt. Der stärkste Zusammenhang zwischen PRI und Pflanzenwassergehalt wurde beim Winterweizen während der Milchreife beobachtet. Um den PRI flächenhaft erfassen zu können, wurde entweder der Yara N-Sensor (betrieben im FieldScan Modus) verwendet bzw. Daten des AVIS-Sensors, die vom Teilprojekt 13 zur Verfügung gestellt wurden, genutzt. Der Yara N-Sensor misst mit seinen Sensoren die Reflexion von 20 frei wählbaren Wellenlängen im Wellenlängenbereich zwischen 400 und 850 nm. Die Daten wurden per GPS georeferenziert und in einer Datei abgespeichert. In einer Nachbearbeitung wurden die Daten dann in ein GIS-taugliches Datenformat transferiert. Im GIS wurden durch Interpolation Reflexionskarten der jeweiligen Wellenlängen erzeugt. Nach Gleichung 5 wurde dann der Photochemical Reflectance Index gebildet. Die Daten vom AVIS-Sensor mussten vom binären Ursprungsdateiformat in ein GIS-fähiges Dateiformat überführt werden. Analog zu den Daten des Yara N-Sensors wurden die Reflexionskarten der Wellenlängen 531 nm und 570 nm nach Gleichung 5 erzeugt. Für die Verwendung im Fuzzy-Modell wurde der PRI durch Division mit dem jeweiligen Schlagmittelwert normiert.

Die räumlichen Inputdaten für die Erstellung des Fuzzy-Modells, das die Wasserverfügbarkeit beschreibt, müssen für eine Anwendung des SAMT-Fuzzy Tools als ASCII-Griddaten mit gleicher Rasterzellengröße vorliegen und völlig deckungsgleich sein, denn nur über das ASCII-Rasterformat können sie in SAMT importiert werden.

Nach dem Import der Inputdaten in SAMT wurden alle drei Inputparameter, die das Fuzzymodell zur Wasserverfügbarkeit eingangsdatenseitig speisen, in Klassen eingeteilt. In diese Klassifikation floss das Anwenderwissen des Landwirtes mit ein. Gemeinsam mit ihm wurde festgelegt, welche Wertebereiche für welchen Inputparameter als sehr schlecht, schlecht, mittel, gut oder sehr gut in Bezug auf den jeweiligen Einfluss auf die Ertragsbildung zu bewerten sind. Um bei drei Inputgrößen für ein Fuzzymodell die Anzahl der zu formulierenden Regeln nicht zu groß werden zu lassen, wurden für jeden Parameter 5 Klassen gebildet. Abbildung 43 zeigt dies am Beispiel der ECa-Karte, der Karte für die scheinbare elektrische Leitfähigkeit. Im vorliegenden Fuzzymodell wurden die Teile des Schläges, die einen ECa-Wert bis 18 mS/m aufweisen als sehr schlechte Standorte bezüglich der Wasserverfügbarkeit klassifiziert. Standorte die eine Leitfähigkeit von 15 – 30 mS/m besitzen wurden in diesem Modell als schlecht eingestuft. Insgesamt wurden 5 Klassen von sehr schlecht bis sehr gut festgelegt. Mit diesem Fuzzy-Ansatz ist es möglich, das Anwenderwissen des Landwirtes direkt in die Modellbildung mit einzubeziehen. Dadurch wird das Modell für den Nutzer transparent und nachvollziehbar. Darüber hinaus erlaubt der Fuzzy-Ansatz das Arbeiten mit unscharfem Wissen, d. h. die Zuordnung von Messwerten der einzelnen Parameter in die gebildeten Klassen erfolgt nicht nach den Zuständen „wahr (true, 1)“ und „falsch (false, 0)“, sondern es gibt auch Zwischenabstufungen im Bereich zwischen 0 und 1. Damit erleichtert dieser Ansatz die Darstellung von unscharfem Wissen über die Input-Output-Relationen. Angaben wie „ein bisschen“, „ziemlich“ oder „stark“ können so mathematisch

abgebildet werden. Die einzelnen Klassen werden in der gewählten Methodik mit trapezförmigen Funktionen beschrieben.

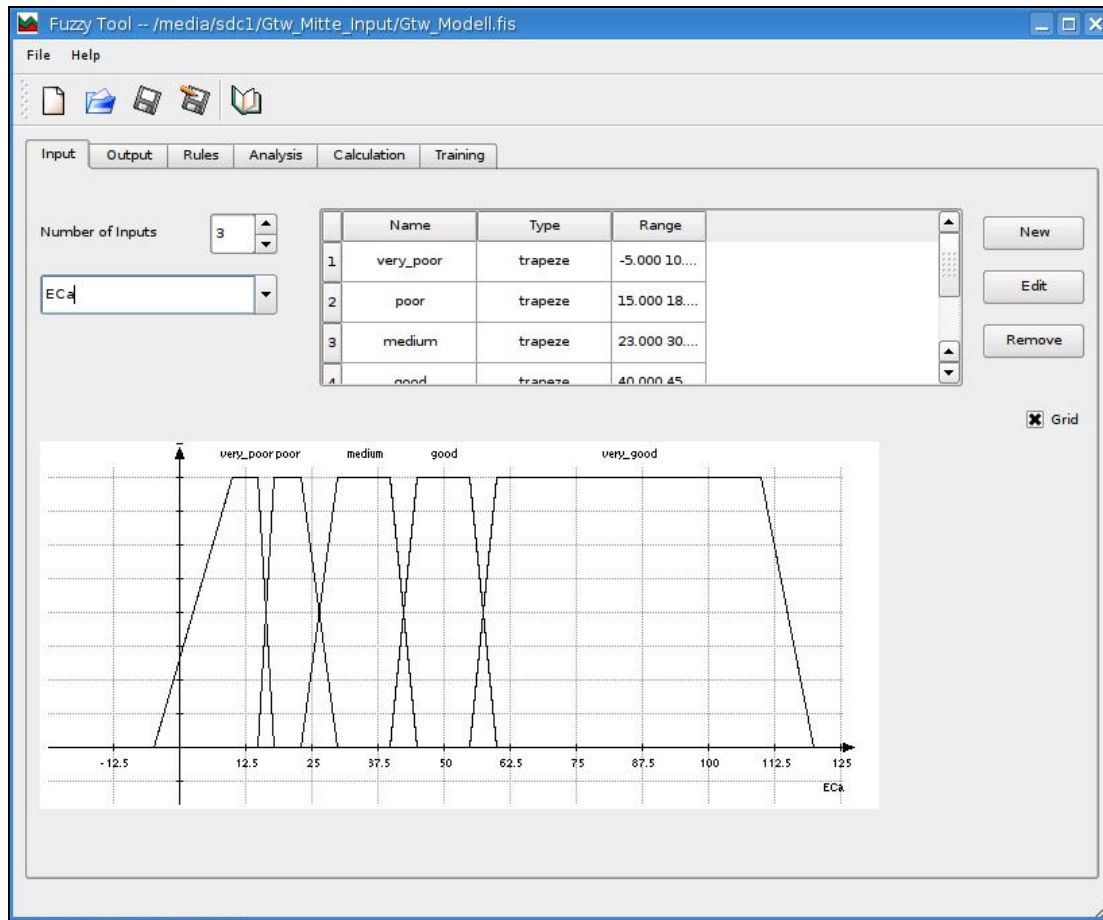


Abbildung 43: Screen-Shot vom SAMT-Fuzzy Tool mit dem Interface zur Inputgrößenklassifizierung (hier: ECa-Input)

Figure 43: Screen-shot from the SAMT-Fuzzy tool with the interface for the input data classification (here: ECa input)

Nach der Klassifizierung aller Inputparameter erfolgt im nächsten Schritt die Zuordnung von Singleton-Outputs zu den einzelnen Outputklassen. Die Singleton-Outputs beschreiben in diesem Modell als auf $[0,2]$ normierten Multiplikator den Einfluss der Inputparameter auf den Ertrag. Abbildung 44 zeigt so z. B. für die Klasse sehr schlecht ($vp = \text{very poor}$) den Outputfaktor 0,350, für die Klasse gut ($g = \text{good}$) den Faktor 1,300. Entsprechend dieser Festlegung wird durch Multiplikation des jeweiligen Singleton Outputs mit dem am Ende des zweiten Teils des Verfahrens zur Generierung von Ertragszielkarten ermittelten Ertragsdurchschnitt des Gesamtschlages der Ertragszielwert der konkreten Rasterzelle des betrachteten Schlages ermittelt. Realisiert man dies für alle Rasterzellen, ergibt sich unter der damit möglichen Berücksichtigung der Heterogenitäten bezüglich der Wasserversorgung der Bestände, die Ertragszielkarte für den gesamten Schlag.

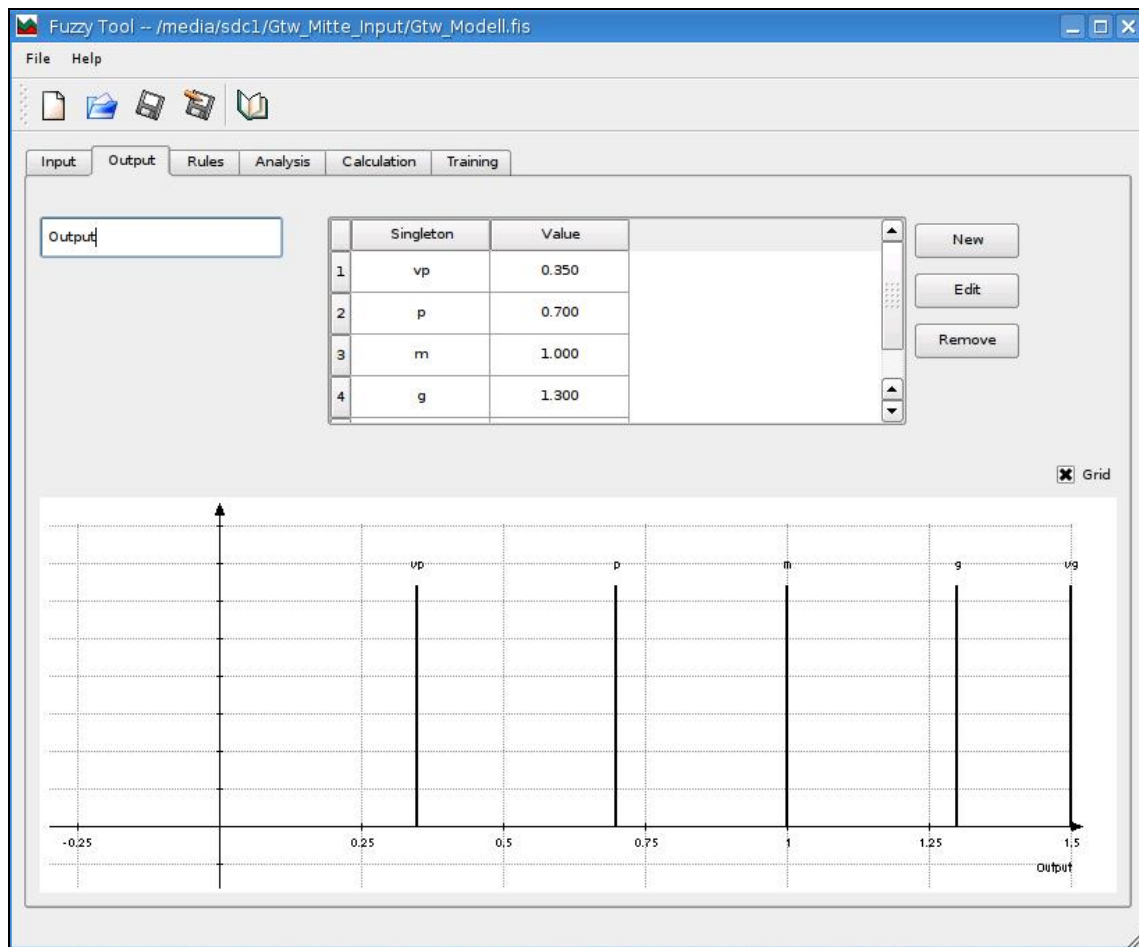


Abbildung 44: Screen-shot vom SAMT-Fuzzy Tool mit dem Interface zur Definition der Singleton Outputs für die einzelnen Outputklassen

Figure 44: Screen-shot from the SAMT-Fuzzy tool with the interface for the definition of singleton outputs for the output classes

Um den resultierenden und damit kombinierten Einfluss der einzelnen Inputparameter auf den Ertrag abbilden zu können, müssen entsprechende experten- oder wissensbasierte Fuzzy-Regeln erstellt werden. Abbildung 45 zeigt, wie allen möglichen Inputklassenkombinationen (hier: $5 \times 5 \times 5 = 125$) Outputklassen zugeordnet werden. So wird z. B. der Inputparameterkombination aus ECa = mittel (medium), PRI = sehr schlecht (very poor) und TWI = schlecht (poor) die Outputklasse schlecht (p = poor) zugeordnet. Hingegen wird einer Inputdatenkombination aus ECa = gut (good), PRI = gut (good) und TWI = sehr gut (very good) die Outputklasse gut (g = good) zugeordnet. Diese Regelbildung stellt einen wesentlichen Teil der Modellbildung dar. Wie schon bei der Klassifikation der Inputparameter geht das unscharfe Anwenderwissen auch in den Prozess der Regelbildung mit ein.

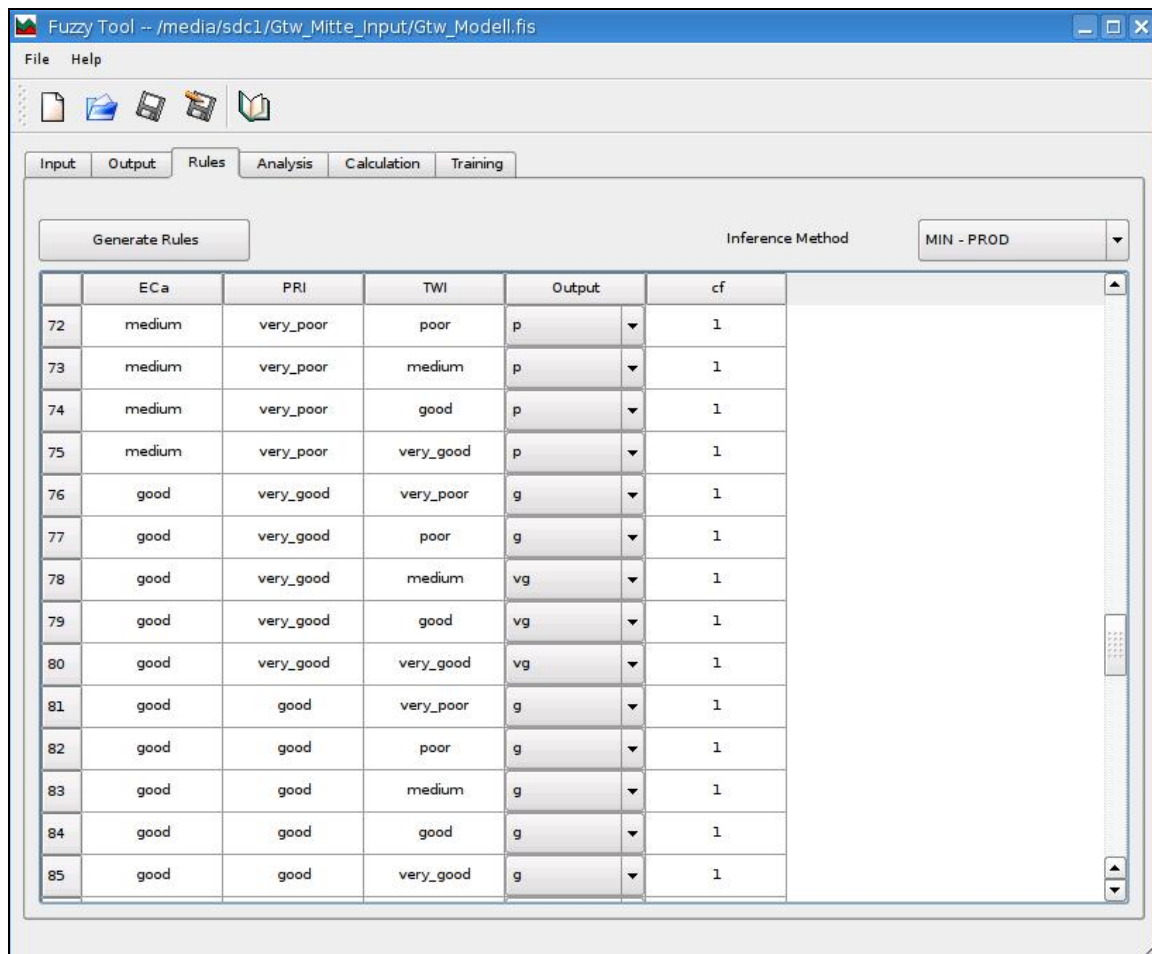


Abbildung 45: Screen-shot vom SAMT-Fuzzy Tool mit dem Interface zur Aufstellung der Fuzzy-Regeln

Figure 45: Screen-shot from the SAMT-Fuzzy tool with the interface for definition of fuzzy rules

Der Fuzzyregelsatz muss möglichst kohärent und ohne inhaltliche Sprünge festgelegt werden. Abbildung 46 zeigt, wie mit Hilfe der Analysefunktion die Regelbildung in SAMT überprüft werden kann. Für unterschiedliche Eingangsparameterkombinationen können die Outputfaktorwerte visualisiert und auf Unstimmigkeiten bzw. Unregelmässigkeiten überprüft werden.

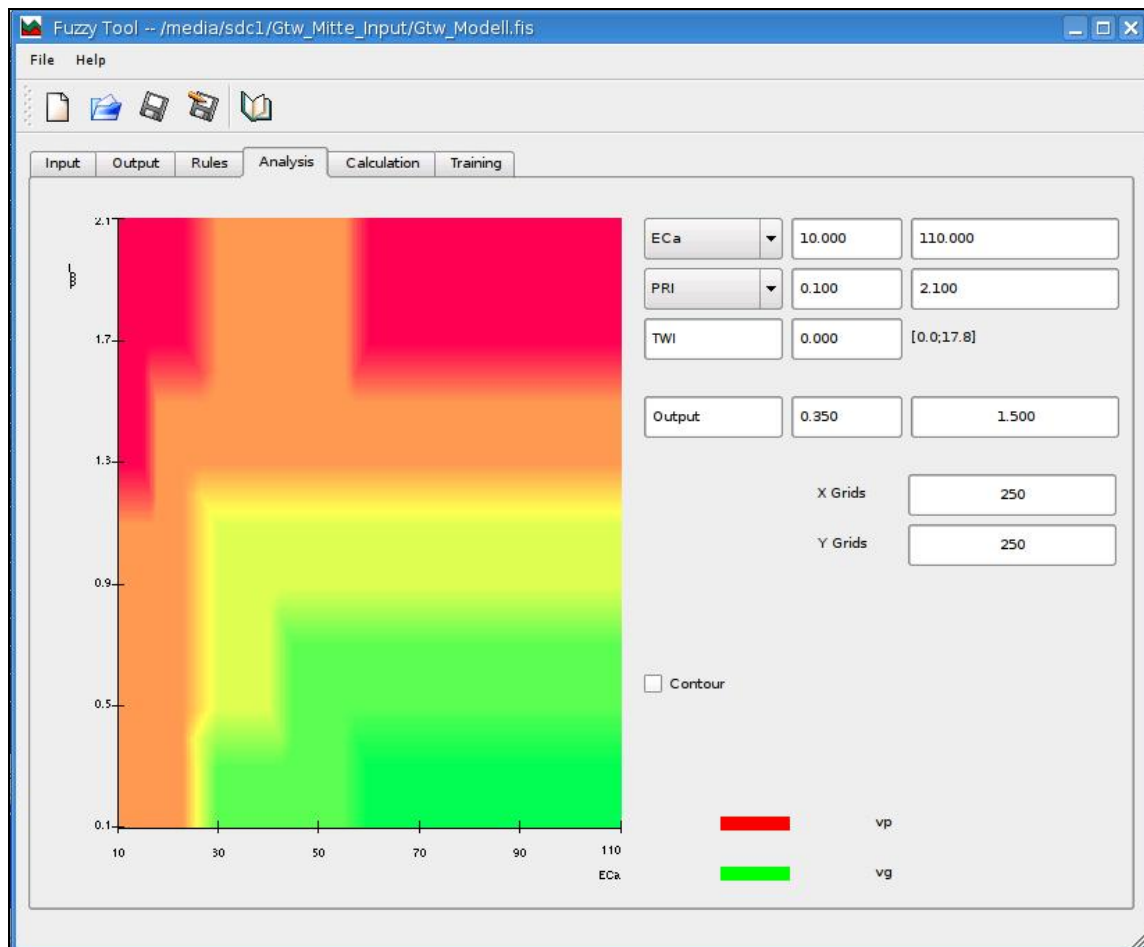


Abbildung 46: Screen-shot vom SAMT-Fuzzy Tool mit dem Interface zur Analyse des Regelsatzes

Figure 46: Screen-shot from the SAMT-Fuzzy tool with the interface for the analysis of the rule set

Eine wesentliche Hilfe bei der Modelloptimierung, aber auch bei dem Modelltransfer in andere Regionen stellt die Möglichkeit des Trainings des Fuzzy-Modelles dar. Dabei besteht im Rahmen der Fuzzy-Modell-Optimierung die Möglichkeit der Anpassung (1) der Fuzzifizierung der Inputgrößen, (2) der Fuzzy-Regeln und (3) der Singleton Outputs. Unter der Annahme einer richtigen Klassifizierung und einer richtigen, das Expertenwissen berücksichtigenden Formulierung der Fuzzy-Regeln, wurde hier auf die dritte Möglichkeit orientiert. Bei einer iterativen Optimierung des Singleton Outputs werden diese solange entlang der X-Achse verschoben, bis der RMSE-Wert ein Minimum annimmt (RMSE = Root Mean Square Error). Abbildung 47 zeigt, wie durch Anpassung der Singleton Outputs der Klassen schlecht ($p = \text{poor}$), mittel ($m = \text{medium}$) und gut ($g = \text{good}$) der RMSE von 0,208 des untrainierten Modelles auf 0,142 beim trainierten Modell verbessert werden konnte. Eine detaillierte Beschreibung des Trainingsprozesses von Fuzzy-Modellen ist bei WIELAND et al. (2006b) beschrieben.

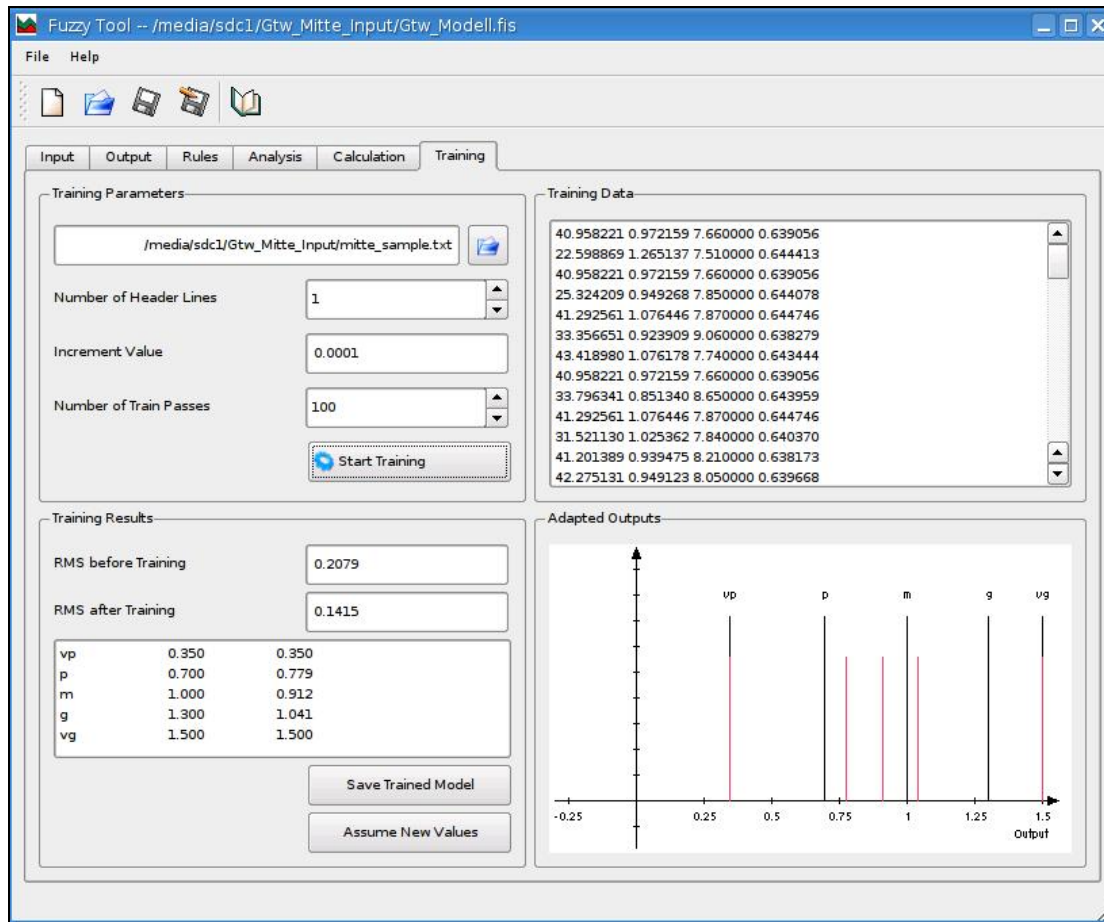


Abbildung 47: Screen-shot vom SAMT-Fuzzy Tool mit dem Interface zum Fuzzy-Modell Training
 Figure 47: Screen-shot from the SAMT-Fuzzy tool with the intercafe for the fuzzy model training

Nach dem Training des Fuzzy-Modells wird von SAMT eine Karte des relativen Ertragszieles mit Werten aus $[0,2]$ im ASCII-Rasterformat erzeugt, indem für jede Rasterzelle des Schläges nach dem soeben in Kapitel 3.3.2.3.3 beschriebenen Verfahren unter Anwendung des optimierten Fuzzy-Modells der relative Ertrag berechnet wird. Diese Karte spiegelt die schlaginterne Heterogenität des Ertrages wieder. Die Abbildung 48 und Abbildung 49 zeigen am Beispiel der Schläge *Finkenherd*, *Stangenbreite*, *Trappenberg* und *Weinberg* (WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH) solche relativen Ertragszielkarten. Durch eine rasterbezogene Multiplikation dieser Relativkarte mit dem Durchschnittsertrag des Gesamtschlages, wie er am Ende des zweiten Schrittes des Gesamtverfahrens zur Generierung von Ertragszielkarten berechnet wurde, wird letztendlich die konkrete schlagbezogene Ertragszielkarte berechnet, die aber noch feingerastert ist.

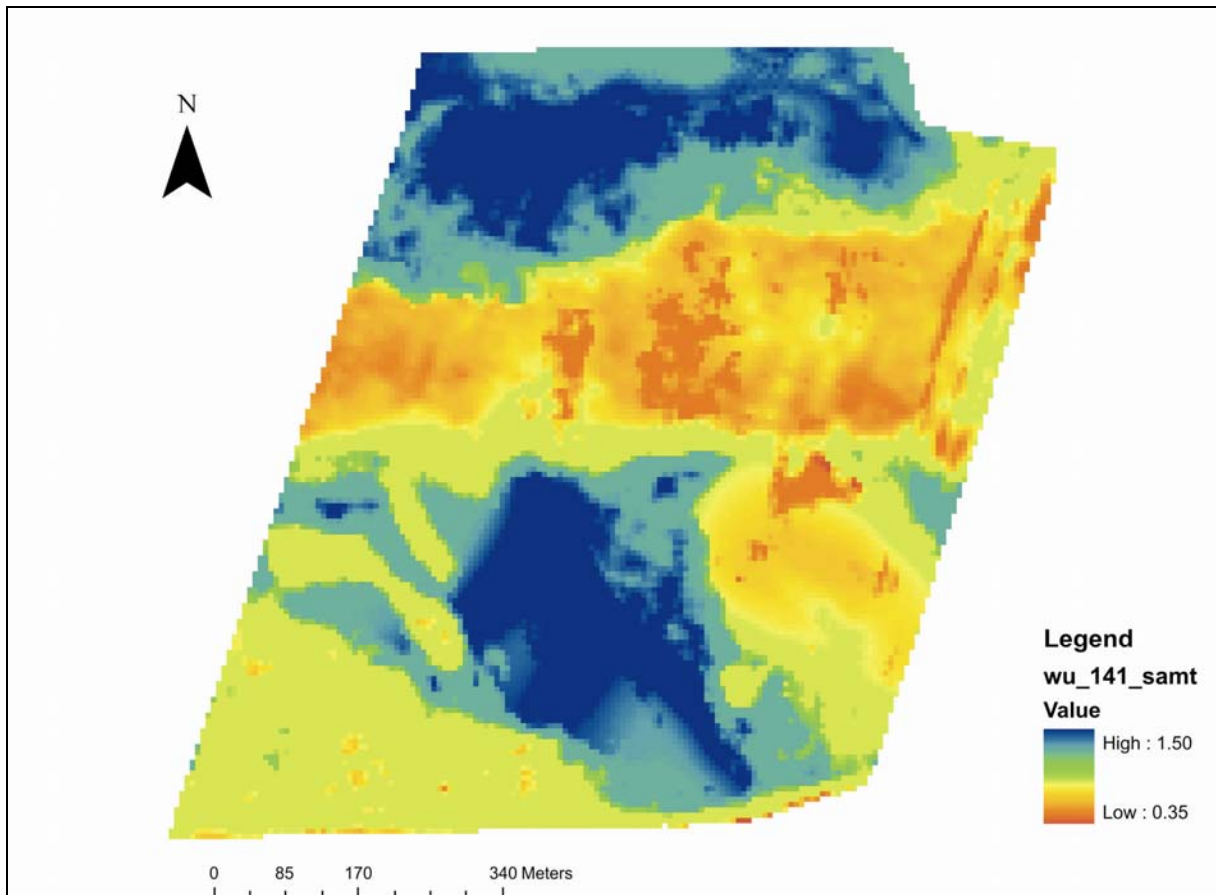


Abbildung 48: Relativierte Ertragszielkarte des Schlages Finkenherd

Figure 48: Relative yield target map for the field Finkenherd

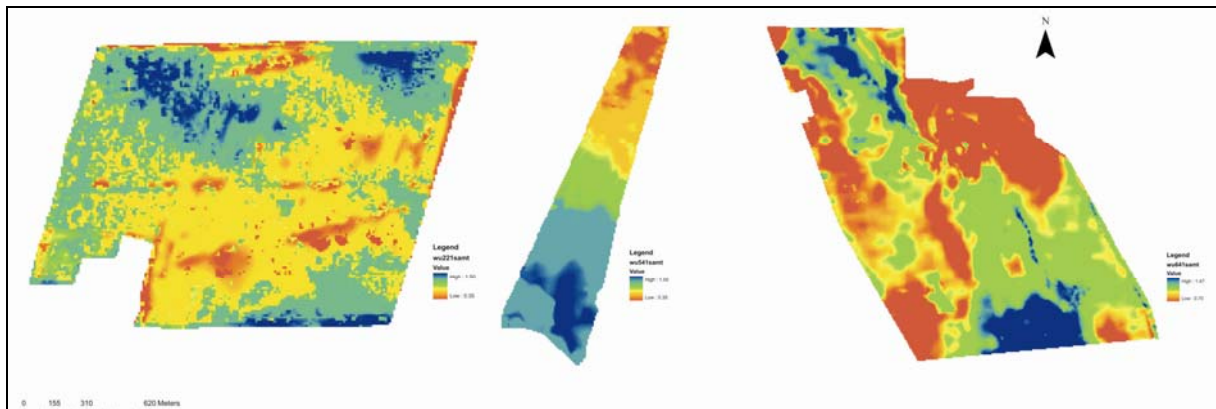


Abbildung 49: Relativierte Ertragszielkarten der Schläge Stangenbreite (links), Trappenberg (Mitte) und Weinberg (rechts)

Figure 49: Relative yield target maps for the fields Stangenbreite (left), Trappenberg (middle) and Weinberg (right)

3.3.2.3.4 Clustering und Überführung der Rasterkarte in eine Polygonkarte

Die Ertragszielkarte liegt nach der Generierung mit SAMT im Rasterformat vor und besteht aus einzelnen 5 x 5 m großen Rasterzellen. Dieses Format ist im Fall der Berücksichtigung sehr kleinräumiger Heterogenitäten für statistische Auswertungen und eine Weiterverarbeitung mit geografischen

Informationssystemen gut geeignet, für den Einsatz in der landwirtschaftlichen Praxis im Rahmen der Precision-Agriculture-Technologie eignet sich ein solches Format jedoch nicht. Hier sind größere, nicht in sehr engen Abständen wechselnde und für die eingesetzte Technik umsetzbare Bearbeitungszonen gefragt.

In Zusammenarbeit mit TP 7 wurde eine Methode entwickelt, die es erlaubt, die in der fein gerasterten Ertragszielkarte enthaltenen Informationen zu aggregieren und dem Nutzer als zonierte Ertragszielkarte im Vektorformat zur Verfügung zu stellen (NASH et al. 2007). Die Konvertierung wird automatisiert über Webservices durchgeführt und ist recht einfach, z. B. durch den Landwirt oder einen Dienstleister, auszuführen.

Zur Datenaggregation wurde der „Hill-Climbing“-Algorithmus (RUBIN 1967) verwendet. Der Algorithmus ist ein iterativer partitionierender Clusteralgorithmus, der dem Nutzer die Festlegung der Anzahl der zu bildenden Ertragszonen erlaubt. Iterativ werden Cluster festgelegt, in denen die Rasterzellen sich möglichst ähnlich sind, während die einzelnen Cluster voneinander möglichst verschieden sind. Für jedes Cluster werden der Mittelwert und die Varianz berechnet. Um den „Hill-Climbing“-Algorithmus anwenden zu können, müssen die Daten vorverarbeitet werden. Die Rasterdaten werden dabei entzerrt und auf einen zuvor festgelegten Schlagumriss ausgeschnitten. Nach dem Clustering wird die Ertragszielkarte nachbearbeitet, um für den Nutzer anwendbare Bearbeitungszonen zu erhalten. Die Zonen werden in Polygone überführt. Anschließend werden Zonen, die zu klein für eine Bearbeitung mit der betriebsüblichen Arbeitsbreite sind, durch einen Filteralgorithmus mit der nächstgelegenen Zone, die die Minimalgröße besitzt, vereinigt. Die Minimalgröße für eine Zone wird vom Nutzer festgelegt. Anschließend erfolgt die Datenausgabe in einem vom Nutzer gewähltem Format. Zur Verfügung stehen die Formate GoogleEarth KML und ESRI Shapefile. Eine Implementierung von agroXML wird einen einfachen Austausch mit unterschiedlichster Agrarsoftware ermöglichen. Der Webservice steht auf Servern der Universität Rostock zur Verfügung und kann unter <http://www.preagro.de/wps-test/managementzones> getestet werden. Abbildung 50 zeigt das Ablaufschema und die Implementierung des Verfahrens von der Datenein- bis zur Datenausgabe. Abbildung 51 zeigt als Beispiel für ein Ergebnis die polygonisierte Ertragszielkarte vom Schlag *Finkenherd* von der WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH. In diesem Beispiel wurden 3 Ertragszonen verwendet, die Mindestgröße der Zonen wurde auf 500 m² festgelegt. Das Datenformat ist in diesem Fall das GoogleEarth KML. Die Keyhole Markup Language (KML) ist ein XML basiertes Format und dient hier in erster Linie der Visualisierung der polygonisierten Ertragszielkarte mit der Freeware Google Earth (GOOGLE EARTH 2008). Die Datenformate ESRI Shapefile und agroXML dienen als Austauschformate mit Agrarsoftware unterschiedlichster Anbieter.

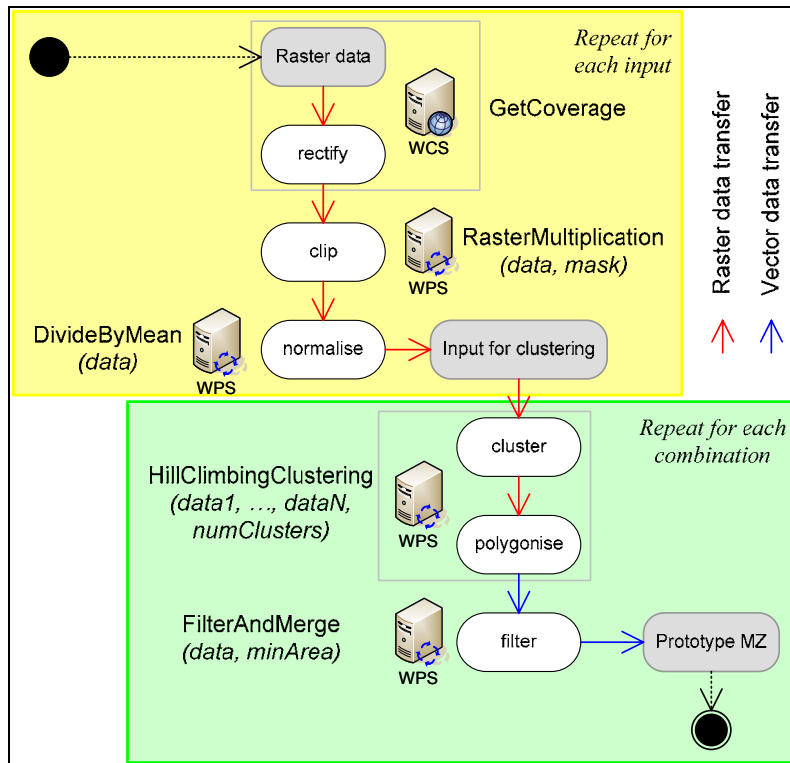


Abbildung 50: Illustration des Workflows zur Umwandlung von Raster- in Polygonkarten für die Ableitung von ertragszielkartenorientierten schlagbezogenen Ertragszonen

Figure 50: Workflow diagram for transformation of a grid into a polygon map as basis for preparation of yield target map oriented field specific yield zones



Abbildung 51: Ertragszonen-Karte für den Schlag Finkenherd, visualisiert unter Nutzung von Google Earth

Figure 51: Yield zone map for the field "Finkenherd" visualised using Google Earth

3.3.2.3.5 Nutzerkorrektur

Für den praktischen Einsatz ist vorgesehen, dass der Nutzer die Option erhält, die einzelnen Ertragszonen verändern zu können, falls ihm dies aus seinen bewirtschaftungsbedingten Erfahrungen heraus erforderlich erscheint. Diese Nutzerkorrektur sollte direkt innerhalb der verwendeten Agrarsoftware, in die die Ertragszonenkarte eingelesen werden kann, erfolgen, ohne dass ein weiterer zu entwickelnder Web Services davor geschaltet wird. Mit den flexiblen Datenaustauschformaten ESRI Shapefile und agroXML sollte dies einfach zu gewährleisten sein.

3.3.3 Ergebnisse und Diskussion

3.3.3.1 Ertragszielkarte

Im Projektverlauf wurden mehrere unterschiedliche Ansätze zur Generierung von Ertragszielkarten getestet. Der oben beschriebene Ansatz erwies sich aufgrund der relativ einfach und preiswert zu beschaffenden Eingangsdaten für die *pre agro* II-Projektgebiete am geeignetsten. Um die Güte der erstellten Ertragszielkarten zu überprüfen, wurde die auf eine Rasterzellengröße von 5 x 5 m generierte Ertragszielkarte mit Ertragskarten, die von Mähdreschern erhoben wurden, verglichen. Als Vergleichsmaß wurde der Korrelationskoeffizient (r) herangezogen. Die Berechnung des Korrelationskoeffizienten wurde mit dem Korrelationstool von SAMT durchgeführt. Da es sich bei den Ertragszielkarten um eine Vorplanung handelt, in den Ertragskarten sich jedoch alle jahresbedingten Ertragseinflussfaktoren integrativ widerspiegeln, muss in der Regel davon ausgegangen werden, dass der Korrelationsfaktor nicht 1,00 sein kann.

Als immer noch recht schwierig erwies sich die Beschaffung von qualitativ hochwertigen und flächendeckenden Mähdrescherertragsdaten. Insbesondere die Daten von großen Schlägen, die mit mehreren Mähdreschern abgeerntet wurden, fielen durch teilweise schlechte Qualität auf. Deshalb konnten auch nur von wenigen Schlägen mehrjährige Ertragsdaten mit der Ertragszielkarte verglichen werden. Ein häufig auftretendes Problem war die ungenaue Aufzeichnung der Kornfeuchte. Die Kornfeuchte musste bei Fehlen entsprechender Informationen geschätzt werden. Da sich immer noch kein internationaler Standard zur Erstellung etabliert hat, wurden die Ertragskarten nach den Empfehlungen des Australian Centre for Precision Agriculture (ACPA 2008) erstellt. Ein Vergleich von so generierten Ertragskarten mit Ertragsdaten, die per Handernte an den Monitoringpunkten einiger Projektschläge erhoben wurden, zeigt, dass auch Mähdrescherkarten, die von scheinbar guter Qualität waren, zum Teil erhebliche Qualitätsunterschiede aufwiesen. Abbildung 52 zeigt einen Vergleich der Ertragswerte der Mähdrescherertragskarte vom Schlag *Trappenberg* im Jahr 2006 (Winterweizen) an den Monitoringpunkten mit Vergleichswerten der Handernte. Die Werte der Handernte wurden aus vier Ernteschnitten von jeweils 1 m² Größe gemittelt, während die Werte für die Mähdrescherernte in den Monitoringpunkten berechnet wurden, und zwar als Mittel aus den Mähdrescherertragskartendaten im Umkreis von 15 m um die Monitoringpunkte. Das Bestimmtheitsmaß (R^2) liegt dabei bei 0,85. Der Mähdrescherertrag auf dem untersuchten Beispielsschlag liegt im Mittel 6 % höher als der per Handernte ermittelte Ertrag und weist in diesem Beispiel eine gute Qualität auf. Abbildung 53 zeigt den analogen Vergleich für den Schlag *Finkenherd* im Jahr 2006 (Winterweizen). Hier beträgt das Bestimmtheitsmaß nur 0,59 und der Mähdrescherertrag liegt im Mittel 19 % über dem Handernteertrag. Die Qualität der Mähdrescherertragskarte kann für den Schlag *Finkenherd* nur als mittelmäßig bezeichnet werden.

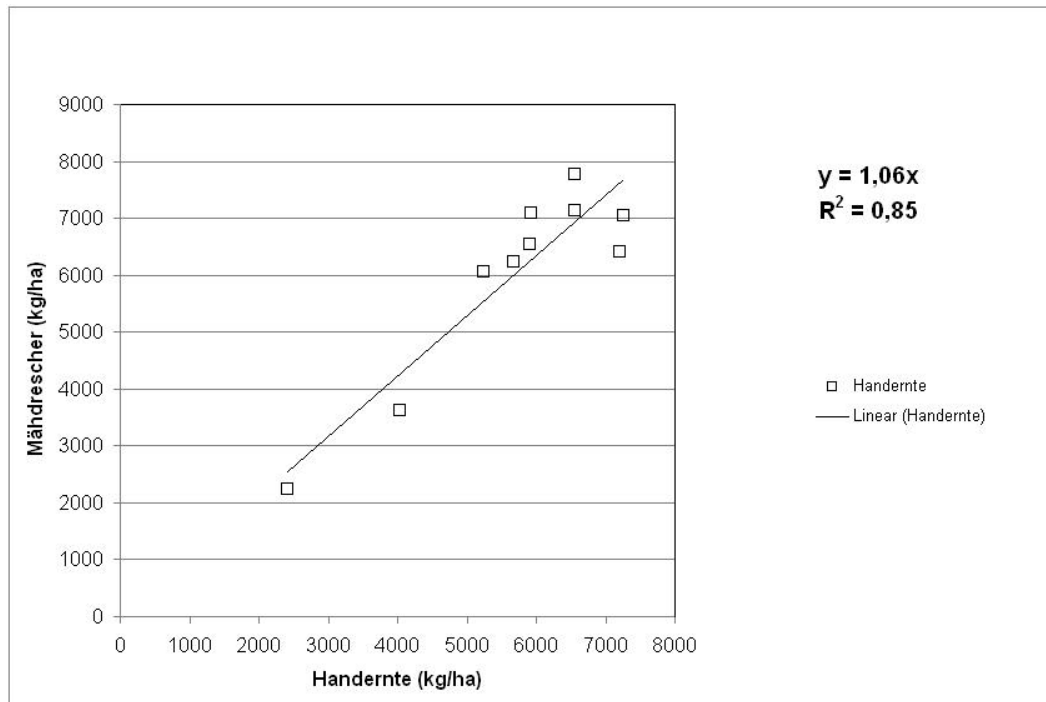


Abbildung 52: Vergleich von Mähdrescher- mit Handernte an den Monitoringpunkten des Schlags Trappenberg in 2006 (Winterweizen)

Figure 52: Comparison of yield harvested by combine and by hand at different monitoring points for the field Trappenberg in 2006 (winter wheat)

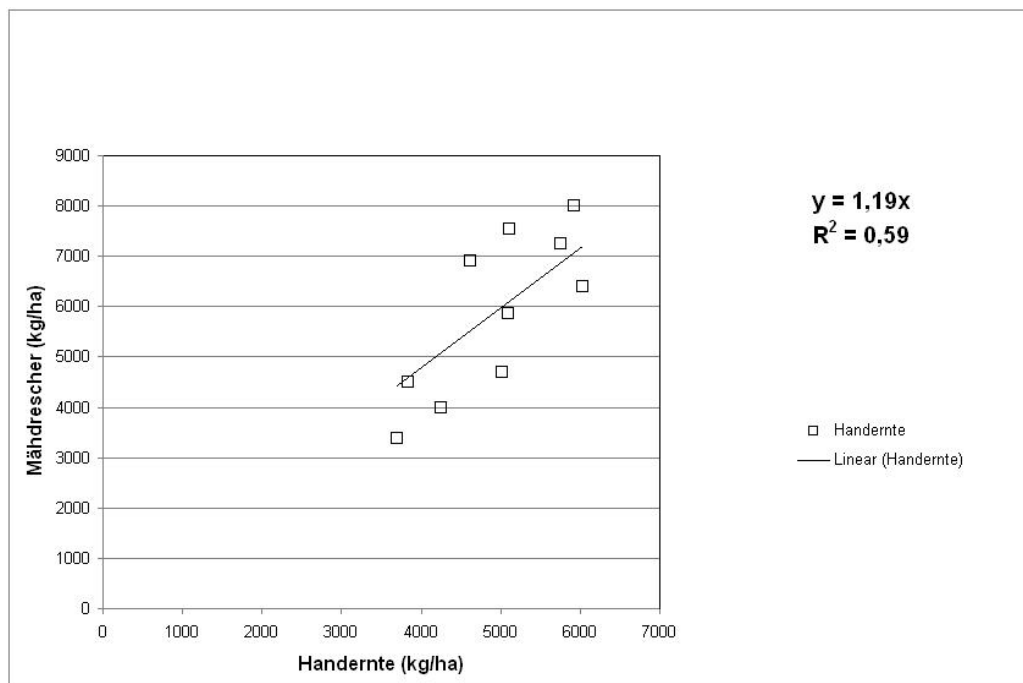


Abbildung 53: Vergleich von Mähdrescher- mit Handernte an den Monitoringpunkten des Schlags Finkenherd in 2006 (Winterweizen)

Figure 53: Comparison of yield harvested by combine and by hand at different monitoring points for the field Finkenherd in 2006 (winter wheat)

Es wird deutlich, dass trotz der bestehenden grundsätzlichen methodischen Probleme, eine realistische Einschätzung der Qualität der Ertragszielkarten nur auf Grundlage qualitativ guter Ertragskarten möglich ist. Insgesamt wurde das Verfahren zur interaktiven modellgestützten Generierung von Ertragszielkarten heterogener Ackerschläge auf 8 Schlägen überprüft. Jeweils 4 befanden sich in der WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH (*Finkenherd, Trappenberg, Weinberg* und *Stangenbreite*) und im Betrieb Träger Farny Groß Twülpstedt (*Rabenberg, Mittelberge, Finkenspring* und *Kamp*).

Für die vier Ackerschläge von der WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH zeigt Tabelle 20 für Winterweizen einen Vergleich zwischen der Mährescherertragskarte und der Ertragszielkarte, zum einen generiert mit dem untrainierten Fuzzy-Modell und zum anderen generiert mit dem trainierten Fuzzy-Modell.

Tabelle 20: Schlagspezifischer Vergleich der Mährescherertragskarte mit der Ertragszielkarte, zum einen generiert mit dem untrainierten Fuzzy-Modell und zum anderen generiert mit dem trainierten Fuzzy-Modell (WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH)

Table 20: Field-specific comparison between the winter wheat yield maps based on combine harvest and yield target maps (1) generated with trained fuzzy-model and (2) generated with untrained fuzzy-model (WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH)

Mährescherertragskarte vs. Ertragszielkarte mit untrainiertem Fuzzy-Modell		Mährescherertragskarte vs. Ertragszielkarte mit trainiertem Fuzzy-Modell		Schlag
(r)	RMSE	(r)	RMSE	
0,75	0,26	0,75	0,18	Finkenherd
0,70	0,24	0,84	0,14	Trappenberg
0,57	0,25	0,59	0,17	Stangenbreite
0,54	0,19	0,54	0,16	Weinberg

Die Korrelation zwischen der Mährescherertragskarte und der Ertragszielkarte, generiert mit dem trainierten Fuzzy-Modell beträgt bei den Schlägen *Finkenherd* und *Trappenberg* $r = 0,75$ bzw. $r = 0,84$. Bei den Schlägen *Stangenbreite* und *Weinberg* ist sie mit $r = 0,59$ bzw. $r = 0,54$ deutlich geringer. Die Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehler (RMSE = Root Mean Square Error) beträgt über alle vier Schläge von der WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH bei Verwendung des untrainierten Fuzzy-Modell zur Ertragszielkartengenerierung im Mittel 0,24. Bei Verwendung des trainierten Fuzzy-Modells verringert sich der Wert auf 0,16. Die relativ schlechte Beziehung zwischen den Mährescherertragskarten und den generierten Ertragszielkarten der Schläge *Stangenbreite* und *Weinberg* lässt sich zum Teil durch die relativ schlechte Qualität der vorliegenden Mährescherertragsdaten erklären. Da es keine Handerntedaten von diesen Schlägen gibt, kann diese Vermutung jedoch nicht belegt werden. Die visuelle Überprüfung der interpolierten Ertragskarten zeigt bei beiden Schlägen Streifenbildungen, die auf eine relativ schlechte Ertragserfassung durch den Mährescher hindeuten.

Ein weiterer Grund dürfte in der geringeren Spannweite der Ertragsdaten der Schläge *Stangenbreite* und *Weinberg* im Vergleich zu den Schlägen *Finkenherd* und *Trappenberg* zu sehen sein. Während der durchschnittliche Minimalertrag bei den untersuchten Schlägen der WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH bei 45 % des Durchschnittsertrages und der durchschnittliche Maximalertrag bei 147 % des Durchschnittsertrages lagen, ergeben die entsprechenden Werte für die Schläge *Weinberg* und *Stangenbreite* mit 55 und 52 % (Minimalertrag) bzw. 141 und 142 % (Maximalertrag) eine geringere Spannweite zwischen Minimal- und Maximalertrag (siehe Tabelle 21).

Tabelle 21: Relative Ertragsspannen (in % zum Ertragsmittel des Gesamtschlages) bei Winterweizen für vier Beispielsschläge der WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH

Table 21: Relative yield range (in % to the average yield of the whole field) for four fields at the WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH cropped with winter wheat

Finkenherd (2006)		Trappenberg (2006)		Stangenbreite (2007)		Weinberg (2007)	
Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
40 %	160 %	32 %	143 %	52 %	141 %	55 %	141 %

Diese geringere Variabilität beeinflusst den Korrelationskoeffizienten negativ.

Insgesamt bleibt festzustellen, dass mit dem gewählten Verfahren zur modellgestützten Generierung von Ertragszielkarten unter den klimatischen Bedingungen der Anbauregion der WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH und der dort herrschenden großen Heterogenität der Standorteigenschaften das Ertragsziel für die untersuchten Schläge gut festgelegt werden kann. Qualitativ bessere Mährescherertragsdaten würden die Resultate der Fuzzy-Modellierung weiter verbessern.

Im Gegensatz dazu zeigen die Ergebnisse aus der modellgestützten Generierung von Ertragszielkarten für die Anbauregion des Betriebes Täger Farny Groß Twülpstedt eine geringere Übereinstimmung mit der vom Mährescher erfassten Ertragskarte. Im Mittel liegt die Korrelation zwischen untrainiertem Fuzzy-Modell und der Ertragskarte vom Mährescher bei 0,40 und zwischen trainiertem Fuzzy-Modell und der Mährescher-Ertragskarte bei 0,43 (siehe Tabelle 22). Der RMSE-Wert beträgt bei den untersuchten Schlägen mit dem untrainierten Fuzzy-Modell im Mittel 0,23 und beim trainierten Fuzzy-Modell verringert er sich auf einen Wert von 0,11. Hier können mehrere Ursachen für die relativ schlechte Korrelation zwischen der berechneten Ertragszielkarte und der Mährescher-Ertragskarte identifiziert werden. Das Verfahren zur modellgestützten Generierung von Ertragszielkarten wurde für den Standort der WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH kalibriert und unverändert auf den Betrieb Täger Farny Groß Twülpstedt übertragen. Durch das Training des Fuzzy-Modelles konnte zwar der RMSE-Wert auf einen durchschnittlichen Wert von nur 0,11 verringert werden, die Korrelation zwischen Mährescher-Ertragskarte und Ertragszielkarte blieb aber trotzdem unbefriedigend. Das zeigt, dass eine Übertragung des modellgestützten Verfahrens auch in eine klimatisch ähnliche Region ohne Kalibrierung keine guten Ergebnisse erwarten lässt. Ein weiterer Grund für die im Betrieb Täger Farny Groß Twülpstedt erzielten schlechteren Ergebnisse dürfte in der geringeren Heterogenität der ertragsbeeinflussenden Standortparameter zu suchen sein. Auch ist nicht auszuschließen, dass hier die Ertragsbildung von Faktoren abhängig ist, die zurzeit aufgrund mangelnden Wissens noch nicht in dem beschriebenen Verfahren berücksichtigt sind.

Tabelle 22: Schlagspezifischer Vergleich der Mährescherertragskarte mit der Ertragszielkarte, zum einen generiert mit dem untrainierten Fuzzy-Modell und zum anderen generiert mit dem trainierten Fuzzy-Modell (Betrieb Täger Farny Groß Twülpstedt)

Table 22: Field-specific comparison between the winter wheat yield maps based on combine harvest and yield target maps (1) generated with trained fuzzy-model and (2) generated with untrained fuzzy-model (Betrieb Täger Farny Groß Twülpstedt)

Mährescherertragskarte vs. Ertragszielkarte mit untrainiertem Fuzzy-Modell		Mährescherertragskarte vs. Ertragszielkarte mit trainiertem Fuzzy-Modell		Schlag
(r)	RMSE	(r)	RMSE	
0,41	0,28	0,49	0,08	Finkenspring
0,47	0,21	0,49	0,14	Kamp
0,42	0,18	0,42	0,11	Mittelberg
0,31	0,26	0,31	0,09	Rabenberg

Die Spannweite zwischen Minimal- und Maximalertrag liegt in der Anbauregion des Betriebes Täger Farny Groß Twülpstedt bei den untersuchten Schlägen auf einem wesentlich geringeren Niveau als in der Anbauregion der WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH. Tabelle 23 zeigt, dass der Minimalertrag in Groß Twülpstedt im Mittel bei 65 % des relativen Durchschnittsertrages lag, während der Maximalertrag im Mittel 120 % des relativen Durchschnittsertrages betrug. Diese geringe Ertragsschwankung ist eine Ursache für die geringe Korrelation zwischen modellgestützt generierter Ertragszielkarte und Mährescher-Ertragskarte. Als Ursachen für die gegenüber der Anbauregion der WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH geringere Ertragsvariabilität kommen neben einer geringeren Heterogenität der ertragsbeeinflussenden Standortparameter auch die ausgeglichene Klimatische Wasserbilanz in Frage. Insgesamt muss festgestellt werden, dass die Ergebnisse der modellgestützten Generierung der Ertragszielkarten für die Anbauregion des Betriebes Täger Farny Groß Twülpstedt weiter verbessert werden müssen. Inwieweit eine Berücksichtigung weiterer ertragsbeeinflussender Parameter in das Fuzzy-Modell hierzu beitragen kann, ist wissenschaftlich weiter zu prüfen.

Tabelle 23: Relative Ertragsspannen (in % zum Ertragsmittel des Gesamtschlages) bei Winterweizen für vier Beispielschläge des Betriebes Täger Farny Groß Twülpstedt

Table 23: Relative yield range (in % to the average yield of the whole field) for four fields at the Täger Farny enterprise in Gross Twülpstedt cropped with winter wheat

Finkenspring (2006)		Mittelberg (2006)		Rabenberg (2006)		Kamp (2006)	
Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
67 %	115 %	48 %	121 %	73 %	130 %	71 %	113 %

3.3.3.2 Ertragszonenkarte

Die gesamte Prozedur zur Umwandlung von rasterbezogenen Ertragszielkarten in Polygonkarten für Ertragszonen wurde auf der Basis des Testschlages *Kamp* aus dem *pre agro* II Testbetrieb Täger Farny Groß Twülpstedt (Niedersachsen) überprüft. Dabei wurden Ertragskarten von 5 Anbaujahren genutzt, um die Managementzonen-Karte zu erstellen. Abbildung 54 zeigt eine Drei-Zonen-Karte, die mithilfe der Anbaujahre 2001, 2003, 2004, 2005 und 2006 erstellt wurde und bei der die minimale Zonengröße 100 m² beträgt. Die Darstellung erfolgt mit Hilfe von Google Earth.

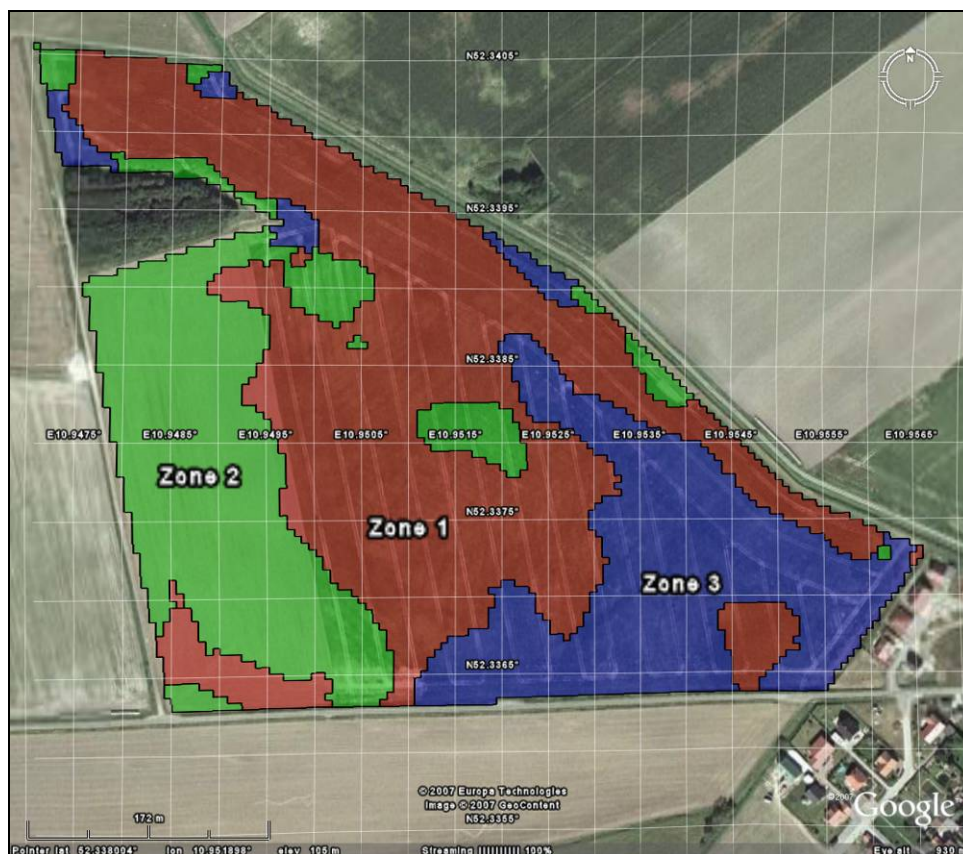


Abbildung 54: Drei-Zonen-Karte für den Testschlag Kamp, visualisiert mit Google Earth

Figure 54: Three-zone-Map for the field Kamp visualised using Google Earth

In Tabelle 24 ist für den Testschlag *Kamp* und für die einzelnen betrachteten Jahre 2001, 2003, 2004, 2005 und 2006 pro Ertragszone der mittlere Ertrag angegeben. Zusätzlich auch der relative Anteil jeder Ertragszone am Gesamtschlag sowie der mittlere Ertrag des gesamten Schlages.

Tabelle 24: Mittlere Winterweizen-Erträge für den Testschlag Kamp, bezogen sowohl auf den Gesamtschlag als auch auf die einzelnen Ertragszonen der Drei-Zonen-Karte in einem 5jährigen Vergleich

Table 24: Averaged winter wheat yields for the field Kamp for the whole field as well as for each of the different yield zones of the three-zone-map in a comparison over five years

Zone	Flächenanteil (%)	Cluster-varianz	Mittlerer Ertrag (dt/ha) [Fruchtart]				
			2001 [WW]	2003 [WW]	2004 [WW]	2005 [WR]	2006 [WW]
1	48.27	1,91	54,8	49,4	76,5	27,8	63,6
2	26.92	1,38	45,0	53,6	76,5	23,1	63,0
3	24.61	1,41	50,7	35,8	67,6	26,0	57,5
Mittel			51,2	47,1	74,2	26,0	61,8

Wie sich die aufgrund von Ertrags- bzw. Ertragszielkarten erstellten Ertragszonen auf die Entscheidungsfindung des Landwirts bei der ertragszonenbezogenen (teilschlagbezogenen) Ermittlung der auszubringenden Düngermenge auswirken, ist in Tabelle 25 gezeigt. Dabei wird davon ausgegangen, dass pro 1 dt Winterweizenertrag 2,1 kg ha⁻¹ an Stickstoff über eine Düngierzufuhr notwendig sind. In Tabelle 25 sind für die vier einzelnen Winterweizen-Anbaujahre und für die einzelnen drei Ertrags-

zonen die relativen Düngermengenaufwendungen, die zur Ertragsbildung notwendig sind, aufgezeigt. Dabei wurde die Zone 1 mit 100 % angesetzt.

Im Mittel über die Jahre sind die für den Ertrag notwendigen Düngermengen in den Ertragszonen 1 und 2 nur geringfügig unterschiedlich, während die notwendige Düngermenge, die in Ertragszone 3 auszubringen ist, im Vergleich zur Ertragszone 1 um ca. 15 % niedriger liegt. Dies erbringt insgesamt einen Gewinnzuwachs bei gleichzeitiger Schonung der Umwelt.

Tabelle 25: Berechnete relative Stickstoffaufnahme bei Winterweizen auf dem Testschlag Kamp in den einzelnen Ertragszonen und Jahren

Table 25: Calculated relative nitrogen uptake by winter wheat for different yield zones and years at the field Kamp

Zone	Relative Stickstoffaufnahme (Zone 1 = 100 %)				
	2001	2003	2004	2006	Mittel
1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	82,2	108,6	100,0	99,0	97,5
3	92,5	66,7	88,3	90,3	84,5

Abbildung 55 zeigt für den Schlag *Finkenherd* einen Vergleich der auf der Basis des Verfahrens zur modellgestützten Generierung von Ertragszielkarten erstellten Ertragszonenkarte mit der 3-Zonenkarte, wie sie in der WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH zur Anwendung kommt. Die Lage sowohl der Hohertrags- als auch der Niedrigertragszonen ist sehr ähnlich. Deutlich wird der gegenüber der WIMEX-Karte sehr viel größere Anteil der schlechtesten Ertragszone (Gridcode 0) der mit dem vorgestellten Verfahren erstellten Ertragszonenkarte. Während bei der WIMEX-Karte lediglich 35,3 % der Fläche des Gesamtschlages der Niedrigertragszone zugeordnet werden, sind es bei der hier erstellten Ertragszonenkarte 58,6 % (siehe Tabelle 26). Demgegenüber werden bei der WIMEX-Karte 25,2 % der Schlagfläche der mittleren Ertragsklasse und 39,6 % der Hohertragszone zugeordnet, während bei der erstellten Ertragszonenkarte 20,5 % der Schlagfläche die mittlere Ertragszone und 20,9 % die Hohertragszone bilden. Der durchschnittliche Winterweizenertrag der Niedrigertragszone betrug im Jahr 2006 gemäß der WIMEX-Karte 39 dt ha⁻¹ gegenüber 42 dt ha⁻¹ bei der erstellten Ertragszonenkarte. Hier erscheint der größere Flächenanteil der Niedrigertragszone der erstellten Ertragszonenkarte vorteilhaft zu sein. Berechnet man unter der Annahme, dass für die Produktion von 1 dt Winterweizen 2,1 kg Stickstoffdünger erforderlich sind, den Gesamtstickstoffbedarf des Schlages verteilt auf die Ertragsklassen, ergibt sich für beide Zonenkarten ein nahezu identischer Wert. Der Vorteil der einen gegenüber der anderen Karte wird sich erst bei der Analyse der Ertragsdaten mehrerer Jahre zeigen. Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Generierung von Ertragszielkarten mit dem beschriebenen Verfahren zur modellgestützten Generierung von Ertragszielkarten unter Nutzung des Fuzzy-Ansatzes unter den klimatischen Bedingungen in der Anbauregion der WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH gute Ergebnisse zeigt. Für die Anbauregion des Betriebes Täger Farny Groß Twülpstedt muss weiter untersucht werden, ob die Berücksichtigung zusätzlicher ertragsbeeinflussender Parameter die Ergebnisse verbessern kann oder die im Vergleich zur WIMEX-Anbauregion geringere ertragswirksame Heterogenität von Standort und Klima limitierend wirken.

In der Praxis einsetzbar ist das hier praktizierte Gesamtverfahren beginnend bei der modellgestützten Generierung von Ertragszielkarten bis hin zur Ableitung von Ertragszonenkarten insbesondere auch durch die Ergebnisbereitstellung in Datenformaten, die von Agrarsoftwarepaketen unterstützt werden.

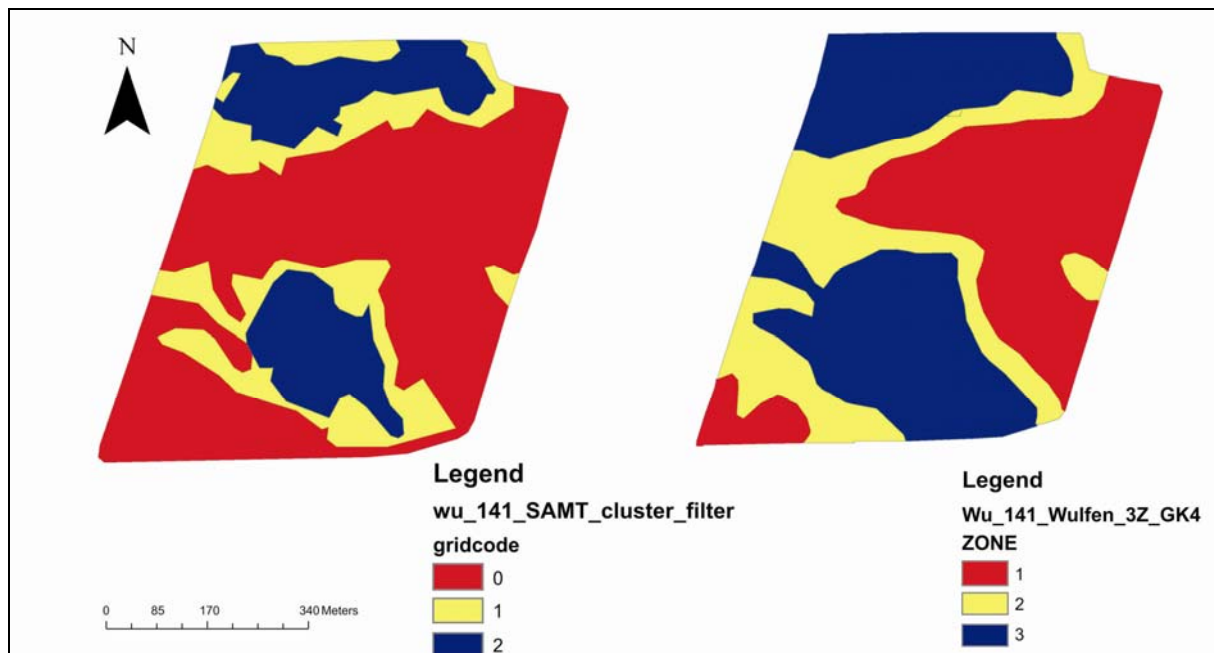


Abbildung 55: Vergleich der für den Schlag Finkenherd durch das Gesamtverfahren erstellten Ertragszonenkarte (links) mit der im Betrieb WIMEX praktizierten 3-Zonenkarte (rechts)

Figure 55: Comparison of yield zone maps for the field Finkenherd created using the project procedure described above (left) and practiced in the WIMEX enterprise (right)

Tabelle 26: Flächenanteil und Zonenertrag für die durch das Verfahren erstellte Ertragszonenkarte (oben) und für die WIMEX-Zonenkarte (unten), dargestellt am Schlag Finkenherd (Winterweizen, 2006)

Table 26: Areas and yields of different zones of the yield zone map created by the procedure described above (top), and for the yield zone map practised in the WIMEX enterprise (down), shown for the field Finkenherd (winter wheat, 2006)

	Zone	Ertragsniveau	Ertrag (dt ha ⁻¹)	Flächenanteil (%)
Ertragszonenkarte (pre agro II)	0	schlecht	42,3	58,6
	1	mittel	62,6	20,5
	2	gut	68,2	20,9
WIMEX-Zonenkarte	1	schlecht	39,1	35,3
	2	mittel	48,6	25,2
	3	gut	65,0	39,5

Danksagung

Wir möchten an dieser Stelle dem BMBF für die finanzielle Unterstützung dieses Projektes danken. Weiterhin gilt unser Dank auch den Kollegen und Kolleginnen aus der Projektkoordination und der Projektleitung, die dieses große Verbundprojekt routiniert und professionell geleitet haben. Darüber hinaus möchten wir auch besonders den Kollegen aus den anderen Teilprojekten für die angenehme, konstruktive und fruchtbare Zusammenarbeit danken, genau wie auch den Leitern und Mitarbeitern der *pre agro* II-Beispielsbetriebe WIMEX Agrarprodukte Import und Export GmbH und Träger Farny Groß Twülpstedt, deren ständige Unterstützung wir gewiss sein konnten.

Literatur

- ACPA (2008): Australian Centre for Precision Agriculture. Im Internet unter <http://www.usyd.edu.au/agric/acpa/> [Stand: 14.05.2008].
- ADLER, G. (1987): Zur mesoskaligen Kennzeichnung landwirtschaftlich genutzter Standorte von Pflanzenbaubetrieben. *Z. Meteorologie* 37, pp. 291-298.
- BILL, R. & F. SCHMIDT (2002): Relief. In: Werner, A. & A. Jarfe [Hrsg.]: Precision Agriculture. Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis – Tagungsband, Bonn 2002, KTBL Sonderveröffentlichung 038, S. 65 – 76, ISBN 3-9808279-09.
- BRISSON N., B. MARY, D. RIPOCHE, M.H. JEUFRROY, F. RUGET, B. NICOLLAUD, P. GATE, F. DEVIENNE-BARRET, R. ANTONIOLETTI, C. DURR, G. RICHARD, N. BEAUDOIN, S. RECOUS, X. TAYOT, D. PLENET, P. CELLIER, J.M. MACHET, J.M. MEYNARD & R. DELECOLLE (1998): STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balance. I. Theory and parametrization applied to wheat and corn. *Agronomie* 18, S. 311 – 346.
- DOORENBOS, J, A.H. KASSAM, C.L.M. BENTVELSEN, V. BRANSCHIED, J.M.G.A. PLUSJE, M. SMITH, G.O. UITTENBOGAARD & H.K. van der WAL (1979): Yield Response to Water, FAO Irrigation and Drainage Paper 33, FAO, Rome, 1979. ISBN: 92-5-100744-6.
- JRC (2007): European Joint Research Centre: MARS STAT Data Base, [Online]. Im Internet unter: <http://mars.jrc.it/marsstat/> [Stand: 14.05.2008].
- FAUSTZAHLEN (2005): Vorfruchteignung der Kulturarten. In: KTBL [Hrsg.]: Faustzahlen für die Landwirtschaft, 13. Auflage, S. 292.
- GOOGLE EARTH (2008): Geodaten Visualisierungssoftware, Version 4.3., 2008. Im Internet unter <http://earth.google.de> [Stand: 14.05.2008].
- HASERT, G., U. MERKEL, H. MATTHES, E. NEUBAUER, S. JÄGER, H. LISSO, K. TRUNK, E. ALBERT, D. EHLERT, U. VÖLKER, K.-H. DAMMER, J. PROCHNOW, M. QUINCKHARDT, P. JÜRSCHIK & O. WIBWEDEL (2003): Zukunftsträchtiger Ackerbau – Systeme der computer- und GPS-gestützten teilflächenspezifischen Bewirtschaftung praxisnah bewertet. – Deutscher Bauernverlag, 207 S.
- KINDLER, R. (1992): Ertragsschätzung in den neuen Bundesländern. – Verlag Pflug und Feder GmbH, 230 S.
- KÜHN, G., G. BARTHOLOMÄUS, E. BUHTZ, J. GÖRLICH, E. ROSTOCK, S. SCHÖDEL, H. STIELICKE, K. WERNER, H. WESCHKE, G. WISSING & W. ZEHLER (1974): Einheitliche, EDV-gerechte Schlagkartei – Empfehlungen für die Praxis. *agra-buch*, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, 58 S.
- LAMP, J., R. HERBST & G. REIMER (2002): Digitale Hofbodenkarten. In: Werner, A. & A. Jarfe [Hrsg.]: Precision Agriculture. Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis – Tagungsband, Bonn 2002, KTBL Sonderveröffentlichung 038, S. 35 – 52, ISBN 3-9808279-09.
- LINK, A., M. PANITZKI & S. REUSCH (2003): Hydro N-Sensor: tractor-mounted remote sensing for variable nitrogen fertilization. In: Proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture and Other Precision Resources Management, Minneapolis, MN, USA, 14 – 17 July, 2002. 2003.

- LORENZ, K. (2005): Nutzung der räumlichen Variabilität von ausgewählten Standorteigenschaften für die ortsspezifische N-Düngung – Messung und Simulation, Dissertation, HU Berlin, 2005, [Online]. Im Internet unter: <http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/lorenz-karsten-2005-02-25/HTML/front.html> [Stand: 14.05.2008].
- MIRSCHER, W., A. SCHULTZ & K.-O. WENKEL (2001): Assessing the Impact of Land Use Intensity and Climate Change on Ontogenesis, Biomass Production, and Yield of Northeast German Agro-landscapes. – In: Tenhunen, J.D., R. Lenz & R. Hantschel [Hrsg.]: Ecosystem Approaches to Landscape Management in Central Europe. Ecological Studies, Vol. 147, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, S. 299 – 313.
- MIRSCHER, W., R. WIELAND & K.-O. WENKEL (2003): Bedeutung der Modellwahl bei der Ertrags-schätzung – Bauernschläue vs. Agrarwissenschaft – . In: Gnauck, A. [Hrsg.]: Theorie und Modellierung von Ökosystemen: Workshop Kölpinsee 2001. (Berichte aus der Umweltinformatik), Shaker Verlag Aachen, 2003, S. 162 – 186.
- MIRSCHER, W., R. WIELAND & K.-O. WENKEL (2006a): Spatial Analysis and Modeling Tool V2.0 – applications to the landscape indicators crop yield and crop coverage. In: Studzinski, J. & O. Hryniewicz [Eds.]: Eco-Info and Systems Research. Series: Systems Research [Ed.: Gutenbaum, J.], Polish Academy of Sciences/Systems Research Institute, Warsaw 2006, Vol. 52, p. 11 – 28.
- MIRSCHER, W., R. WIELAND, M. VOSS, I.A. AJIBEFUN & D. DEUMLICH (2006c): Spatial Analysis and Modeling Tool (SAMT): 2. Applications. In: Ecological Informatics 1(2006), 77 – 85.
- MIRSCHER, W., A. SCHULTZ, R. WIELAND, G. LUTZE & K. LUZI (2006b): Modellgestützte Analyse ausgewählter Größen des Landschaftshaushaltes am Beispiel der Agrarfläche der Ziethener Moränenlandschaft. In: Lutze, G., A. Schultz & K.-O. Wenkel [Hrsg.]: Landschaften beobachten, nutzen und schützen – Landschaftsökologische Langzeit-Studie in der Agrarlandschaft Chorin 1992 – 2006. G.B. TeubnerVerlag, Wiesbaden, 2006, S. 164 – 195.
- NASH, E., J. BOBERT, K.-O. WENKEL, W. MIRSCHEL & R. WIELAND (2007): Geocomputing Made Simple: Service-Chain Based Automated Geoprocessing for Precision Agriculture. In: Demsar, U. [Ed.]: GeoComputation 2007 – The Art and Science of Solving Complex Spatial Problems with Computers, Proceedings of the 9th International Conference on Geocomputation (September 3rd -5th 2007, National University of Ireland, Maynooth), 6 p. [Online]. In Internet unter: <http://necg.nuim.ie/geocomputation/papers.html> , <http://www.preagro.de/Veroeff/Geocomputing%20Made%20Simple.pdf> [Stand: 14.05.2008].
- OPPELT, N. & W. MAUSER (2004): Hyperspectral Monitoring of physiological parameters of wheat during a vegetation period using AVIS data. In: International Journal of Remote Sensing, Volume 25, Number 1, pp. 145 – 159, 2004, Taylor & Francis, Oxford, England.
- PENUELAS, J, J.A. GAMON, A.L. FREDEEN, J. MERINO & C.B. FIELD (1994): Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen – and water – limited sunflower leaves. In: Remote Sensing of Environment, Volume 49, Issue 2, pp. 135 – 146, 1994, Elsevier, Amsterdam, Niederlande.
- PIORR, H.-P. (1999): persönliche Mitteilung (Überlassung unveröffentlichter Daten).
- PUGNAIRE, F.I., L. SERRANO & J. PARDOS (1999): Constraints by Water Stress on Plant Growth. In : Handbook of Plant and Crop Stress, Marcel Dekker Inc., New York, 1999, pp 271 – 283. ISBN: 0-8247-1948-4.

- REICHE, E.W., W. WINDORST & A. RINKER (2002): Regionaler Stoffhaushalt. In: Werner, A. & A. Jarfe [Hrsg.]: Precision Agriculture. Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis – Tagungsband, Bonn 2002, KTBL Sonderveröffentlichung 038, S. 385 – 397, ISBN 3-9808279-09.
- RITCHIE, J.T. & S. OTTER (1985): Description and Performance of CERES-Wheat: a user-oriented wheat yield model. – US Department of Agriculture, ARS 38, 159 – 175.
- ROTH, R. (1995): Ertragsschätzung für wichtige landwirtschaftliche Kulturpflanzen. In: Bork, H.-R.; C. Dalchow, H. Kächele, H.-P. Pierr & K.-O. Wenkel [Hrsg.]: Agrarlandschaftswandel in Nordost-Deutschland unter veränderten Rahmenbedingungen – ökologische und ökonomische Konsequenzen. Verlag Ernst&Sohn, Berlin, S. 59 – 61.
- RUBIN, J. (1967): Optimal Classification into Groups: An Approach for Solving the Taxonomy Problem. Journal of Theoretical Biology 15(1):103 – 144.
- SAGA-GIS (2007): System für Automatisierte Geowissenschaftliche Analysen, Software Version 2.0.2., 2008, [Online]. Im Internet unter: <http://www.saga-gis.org> [Stand: 14.05.2008].
- SCHMIDHALTER, U., J. RAUPENSTRAUCH, T. SELIGE & J. BOBERT (2002): Geophysikalische Erfassung von Standorteigenschaften. In: Werner, A. & A. Jarfe [Hrsg.]: Precision Agriculture. Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis – Tagungsband, Bonn 2002, KTBL Sonderveröffentlichung 038, S. 53 – 63, ISBN 3-9808279-09.
- SCHMIDT, R. & R. DIEMANN [Hrsg.] (1991): Erläuterungen zur Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK). – FZB Müncheberg (unveränderter Nachdruck), 1991, 78 S.
- TAYLOR, J. & B. WHELAN (2008): Making Yield maps, Australian Centre for Precision Agriculture, [Online], last updated October 2006. Im Internet unter: <http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa> [Stand: 14.05.2008].
- THENOT, F, M. METHY & T. WINKEL (2002): The Photochemical Reflectance Index (PRI) as a water-stress index. In: International Journal of Remote Sensing, Volume 23, Number 23, pp. 5135 – 5139, 2002, Taylor & Francis, Oxford, England.
- WAGNER, P., G. WEIGERT, M. GANDORFER & A. MEYER-AURICH (2005): On-Farm Research – Eine neue Herausforderung in der Versuchsanstellung. Zeitschrift für Agrarinformatik 3, S. 52 – 54.
- WENDLING, U., H.-G. SCHELLIN & M. THOMÄ (1991): Bereitstellung von täglichen Informationen zum Wasserhaushalt des Bodens für die Zwecke der agrarmeteorologischen Beratung. – Z. Meteorologie 41, 1991, S. 468 – 474.
- WENKEL, K.-O. & W. MIRSCHEL (1995): Agroökosystemmodellierung – Grundlagen für die Abschätzung von Auswirkungen möglicher Landnutzungs- und Klimaänderungen. – ZALF-Berichte Nr. 24, 185 S.
- WIELAND, R., W. MIRSCHEL, K.-O. WENKEL & I.A. AJIBEFUN (2004): Räumliche Simulation mit SAMT. In: Wittmann, J. & R. Wieland [Hrsg.]: Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften – Workshop Müncheberg 2004, (Berichte aus der Umweltinformatik), Shaker Verlag Aachen, 2004, 161 – 181.
- WIELAND, R., M. VOSS, X. HOLTSMANN, W. MIRSCHEL & I.A. AJIBEFUN (2006a): Spatial Analysis and Modeling Tool (SAMT): 1. Structure and possibilities. In: Ecological Informatics 1(2006), 67 – 76.

WIELAND, R., W. MIRSCHEL, J. BOBERT, J. & X. HOLTMANN (2006b): Lernfähige Modelle für Precision Farming. – In: Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften: Workshop Leipzig 2006: 119 – 132; Aachen (Shaker).

Anschrift der Autoren:

Dipl. Ing. agr. Jans Bobert

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.
Institut für Landschaftssystemanalyse
Eberswalder Str. 84
15374 Müncheberg
Telefon: (033432) 82-161
Telefax: (033432) 82-334
E-Mail: bobert@zalf.de

Dr. agr. Wilfried Mirschel

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.
Institut für Landschaftssystemanalyse
Eberswalder Str. 84
15374 Müncheberg
Telefon: (033432) 82-277
Telefax: (033432) 82-334
E-Mail: wmirschel@zalf.de

Prof. Dr. agr. Karl-Otto Wenkel

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.
Institut für Landschaftssystemanalyse
Eberswalder Str. 84
15374 Müncheberg
Telefon: (033432) 82-105
Telefax: (033432) 82-334
E-Mail: wenkel@zalf.de

Dr. Ralf Wieland

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.
Institut für Landschaftssystemanalyse
Eberswalder Str. 84
15374 Müncheberg
Telefon: (033432) 82-337
Telefax: (033432) 82-334
E-Mail: rwieland@zalf.de

Dr. Edward Nash

Universität Rostock

Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät

Institut für Management ländlicher Räume

Justus-von-Liebig-Weg 6

18059 Rostock

Telefon: (0381) 498-3212

Telefax: (0381) 498-3202

E-Mail: edward.nash@uni-rostock.de

3.4 Methodenentwicklung zur flächenhaften Analyse und Modellierung von Wurzelwachstum unter besonderer Berücksichtigung des Boden- und Pflanzenwasserhaushalts

Developing methods for spatial analysis and modelling of root growth with particular emphasis on soil and plant water effects

Ruprecht Herbst, Matthias Langensiepen & Anna Schulte-Eickholt

Zusammenfassung

Die Entwicklung von Methoden zur Analyse und Modellierung von Wurzelwachstum im Kontext von Precision Farming war der Schwerpunkt dieses Teilprojektes.

Wurzelwachstum bestimmt in hohem Maße, wie Pflanzen Bodenressourcen in Wachstum umwandeln und ist daher ein Prozess von großer Wichtigkeit für die landwirtschaftliche Praxis. Die Kalkulation von Wurzelwachstum basiert bei den meisten gängigen Pflanzenmodellen auf empirischen Sink-Source-Beziehungen und auf dem Konzept der Strahlungsnutzungseffizienz, die eine lineare Beziehung zwischen der kumulativen absorbierten Solarstrahlung und dem Wachstum unter optimalen Bedingungen herstellt. Die Verfügbarkeit von Bodenwasser und Stickstoff sowie deren räumliche Verteilung ändern das Ausmaß der Sink-Source-Beziehungen. Ziel dieses Projektes war, ein weithin genutztes Pflanzenmodell (CERES-Wheat) im Kontext von Precision Farming zu validieren, in dem die Variabilität dieser Faktoren bekannt ist.

Während der Projektlaufzeit wurden an zwei Standorten mit unterschiedlichen Bodeneigenschaften sowohl Daten zu Wurzelwachstum und Bodenwasser als auch Biomasseentwicklung und Ertrag bekannter Winterweizensorten erfasst. Für die Wurzelanalysen wurden insgesamt ca. 1.100 Bohrkerne in verschiedenen Tiefenstufen an unterschiedlichen Beprobungspunkten gezogen und die Wurzeln von Hand ausgewaschen. Mit einer automatischen, zu diesem Zweck entwickelten Bildanalysemethode wurde die Wurzel-Längen-Dichte bestimmt. Während der Vegetationsperioden wurden an ausgewählten Intensivmesspunkten kontinuierlich Bodenwasserdaten mit TDR-Sonden und Tensiometern gemessen. Diese Daten dienten als Grundlage für die Validation des zur Simulation von Wurzelwachstum genutzten Modells CERES-Wheat. Weiterhin haben wir im Rahmen unserer Untersuchungen ein GIS-gestütztes Raummodell für die hochauflösende Bereitstellung von Bodenparametern und -funktionen entwickelt, die als Eingangsdaten für Pflanzenwachstumsmodelle notwendig sind.

CERES-Wheat war zwar in der Lage, die zeitlichen Änderungen des Bodenwassergehaltes und deren Effekte auf die Wurzellängendichte ungefähr abzubilden, die Vorhersage der absoluten Werte war jedoch nicht zufriedenstellend. Diese schwache Simulationsqualität auf Punktebene ist für eine hochqualitative Extrapolation in die Fläche unter den Richtkriterien, die für eine Anwendung im Precision Farming erfüllt werden müssen, nicht ausreichend. Hierfür ist sowohl weitere grundlagen- als auch anwendungsorientierte Forschung nötig.

Summary

The development of methods for analysing and modelling root growth in the context of precision farming was the focus of this project. Root growth largely determines the rate at which plants utilize soil resources for growth and is hence a process of great importance for agricultural practice. Con-

temporary crop models commonly base the calculation of root growth on empirical sink-source relations and the concept of radiation use efficiency which establishes a linear relation between cumulative intercepted solar radiation and growth under optimum conditions. Actual soil water and nitrogen availabilities and their spatial distribution alter the magnitudes of the sink-source relations. The scientific aim of this project was to validate a widely used crop model (CERES-Wheat) in a precision-agricultural context where the variabilities of these factors are known.

Root growth, soil water, above-ground biomass evolution and yield of a common winter wheat cultivar were monitored throughout the whole duration of the project at two sites with known contrasting soil physical properties. 1,100 soil cores were taken for root analysis at different field locations and soil depths. Roots were separated from the soil by hand-washing and using sieves. The root-length densities of the washed roots were determined using an automated image analysis method we developed in our lab for this purpose. Soil water balances and matrix potentials were monitored at chosen monitoring points with TDR-probes and tensiometers during each vegetation period. Soil water was monitored at different field locations and used for validating the soil water distribution routine of CERES-Wheat which exerts a strong effect on simulated root growth. We also developed a GIS supported spatial model for providing crop growth models with high-resolution soil data for a possible later application in precision-agriculture.

The model generally replicated the temporal changes of soil water content and their effects on root growth reasonably well, but the prediction of the absolute values was not satisfying. The low simulation quality on a point scale did thus not permit an extrapolation of the simulation results to the field scale under the demanding benchmark criteria of precision-agricultural applications. We conclude that the performance of the model must be improved to facilitate its application in a precision agricultural context. Further basic and applied crop research is needed for this purpose.

3.4.1 Einleitung und Problemstellung

Standort- und Bestandsheterogenitäten erlangen mit zunehmender Feldgröße stärkere Bedeutung. Im Frühsommer können auf landwirtschaftlichen Nutzflächen z. B. Lagergetreide, Gründurchwuchs und unregelmäßige Abreife, Fehlstellen durch Auswinterung oder Krankheiten bzw. Schaderreger, Trocken- bzw. Nässeerscheinungen aber auch optimal entwickelte Bestände beobachtet werden. In der Anpassung von Bewirtschaftungsmaßnahmen führten konventionelle Vorgehensweisen bisher zu einem schlagbezogenen Optimierungsprozess, bei dem in der Regel für den ganzen Schlag ein Produktionsziel angesetzt wird, an das die einzelnen Maßnahmen angepasst werden. Lokale Über- bzw. Unterversorgung in Hinblick auf die natürlichen Standortbedingungen mussten hierbei in Kauf genommen werden.

Durch genaues Wissen über die kausalen Zusammenhänge von Standort- und Bestandsheterogenität kann eine angepasste Maßnahmenstrategie zur nachhaltigen Landwirtschaft gewährleistet werden. Die räumliche Bereitstellung notwendiger Boden- und Bestandesparameter spielt hierbei eine große Rolle, da diese Parameter wesentliche Grundlagen für teilflächenspezifische Maßnahmen wie Bodenbearbeitung, Aussaat, Düngung und Pflanzenschutz sind.

Kernproblem im Rahmen dieses Forschungsvorhabens war die Nutzung von Simulationsmodellen für Precision Farming. In *pre agro* I wurde als Ansatz für die Ertragsmodellierung bereits das CERES-Modell gewählt. Probleme bei der Ertragsabschätzung ergaben sich vor allem aus dem fehlenden Raumbezug sowie für Landschaften, die starken klimatischen Einflüssen unterliegen.

Im Rahmen des Projektbereiches 3 wurden für die Entscheidungsfindung bei Precision Farming Eigenschaften von Standorten und Pflanzenbeständen integrativ analysiert. Da Wurzelwachstum in hohem Maße bestimmt, wie Pflanzen Bodenressourcen in Wachstum und Ertrag umwandeln und daher ein Prozess von großer Wichtigkeit für die landwirtschaftliche Praxis und eine wichtige Kenngröße zur Charakterisierung eines Standortes ist, lag hier der Fokus des TP 16.

Die Simulation von Wurzelwachstum lässt sich auf Grundlage von kausalen Zusammenhängen zwischen Strahlungsadsorption, der Stickstoff- bzw. Wasserverfügbarkeit und dem Gesamtbiomassezuwachs charakterisieren. Das Wurzelwachstum wird aber sehr stark durch dynamische Veränderungen des Bodenwassers beeinflusst, die Rückschlüsse auf die räumliche Verteilung des Wurzelwachstums zulassen. Bisherige Untersuchungen haben aber gezeigt, dass die empirische Modellierung diese dynamischen Veränderungen noch nicht zufriedenstellend gelöst hat.

Die Arbeiten des Teilprojektes und die teilprojektübergreifenden, integrativen Netzstrukturen innerhalb des gesamten Projektbereiches 3 können der Abbildung 56 entnommen werden.

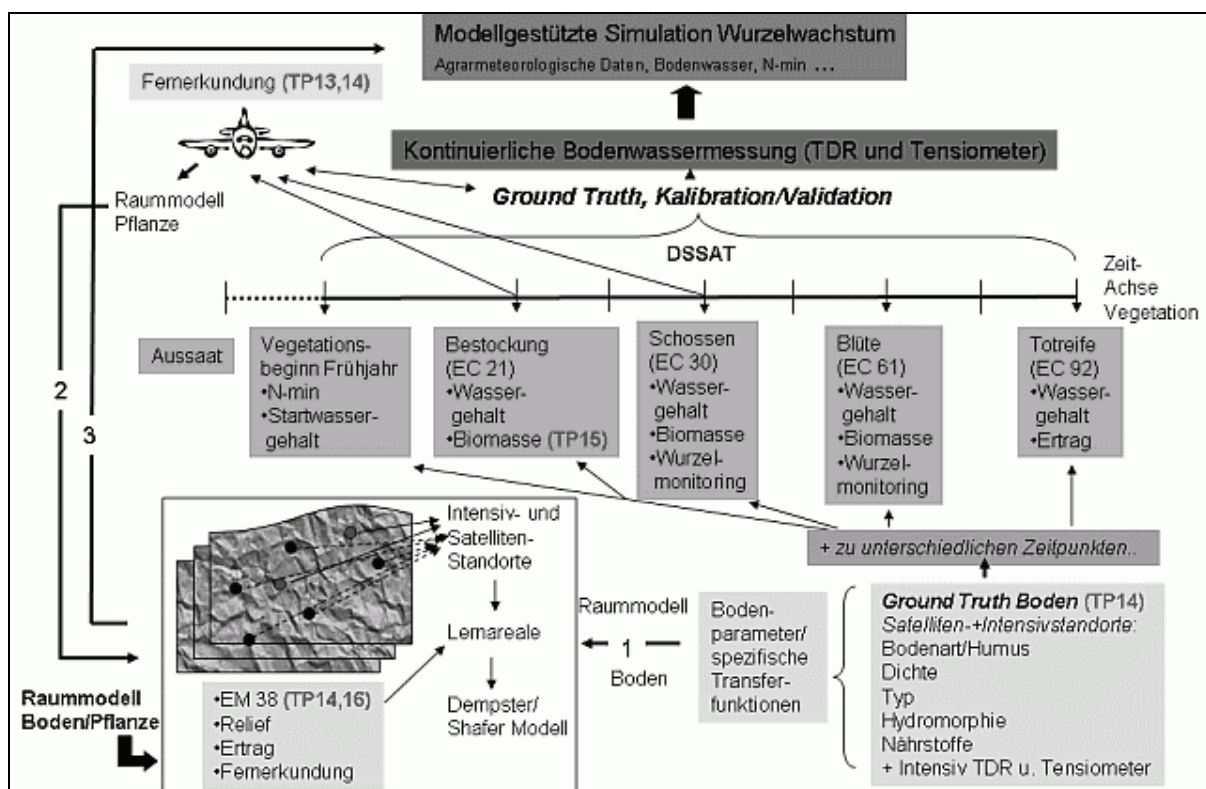


Abbildung 56: Modellierung im TP 16 und Stellung des TP 16 im Verbund

Figure 56: Modelling in SP 16 and the position of SP16 in the project's network

Zusätzlich zu der Erhebung von Felddaten standen die Integration von hochauflösenden Sensorinformationen (z. B. Biomasse aus Fernerkundungsdaten oder Bodeninformationen aus Leitfähigkeitsmessungen) und deren Einbindung in die Modellierung im Fokus der wissenschaftlichen Untersuchungen, da in Zukunft solche nicht invasiven Technologien von entscheidender Bedeutung für die Akzeptanz von Präzisionstechnologien in der praktischen Landwirtschaft sein werden.

Im Folgenden sind die wissenschaftlichen Arbeitsziele für das Teilprojekt aufgeführt (siehe auch Abbildung 56):

- Entwicklung eines Monitoringkonzeptes für die Experimentalschläge
- Kalibrierung und Validation der dynamischen Bodenwassermessungen (TDR und Tensiometer) als Grundlage für die Modellierung
- Entwicklung einer teilautomatisierten Bildanalysemethode sowie die Software-technische Umsetzung für die Bestimmung von Wurzellängendichten
- Sensitivitätsanalyse mit Schrittweiser Regression
- Entwicklung eines an die Fragestellung angepassten, optimierten Raummodells für die hochauflösende Bereitstellung von notwendigen Bodenparametern und -funktionen zur Modellbildung in Precision Farming
- Modellierung von Bodenwasser und Wurzellängendichte mit dem Modell CERES-Wheat und Validation der Ergebnisse.

3.4.2 Material und Methoden

3.4.2.1 Untersuchungsgebiete

Betrieb WIMEX – Sachsen-Anhalt

Die Flächen des Betriebes WIMEX liegen bei Köthen im Sandlössgürtel von Sachsen-Anhalt. Als Versuchsfeld für TP 16 diente der Schlag 141 Finkenherd (Abbildung 57a), der durch wechselnd mächtige Sandlössauflagen über saaleeiszeitlichem Geschiebemergel sowie über quartären Sanden und Kiesen geprägt ist. Genaue Informationen zu Geogenese und Pedogenese für das Gebiet können dem Bericht von TP 14 entnommen werden und sind auch von HERBST (2002) beschrieben worden.

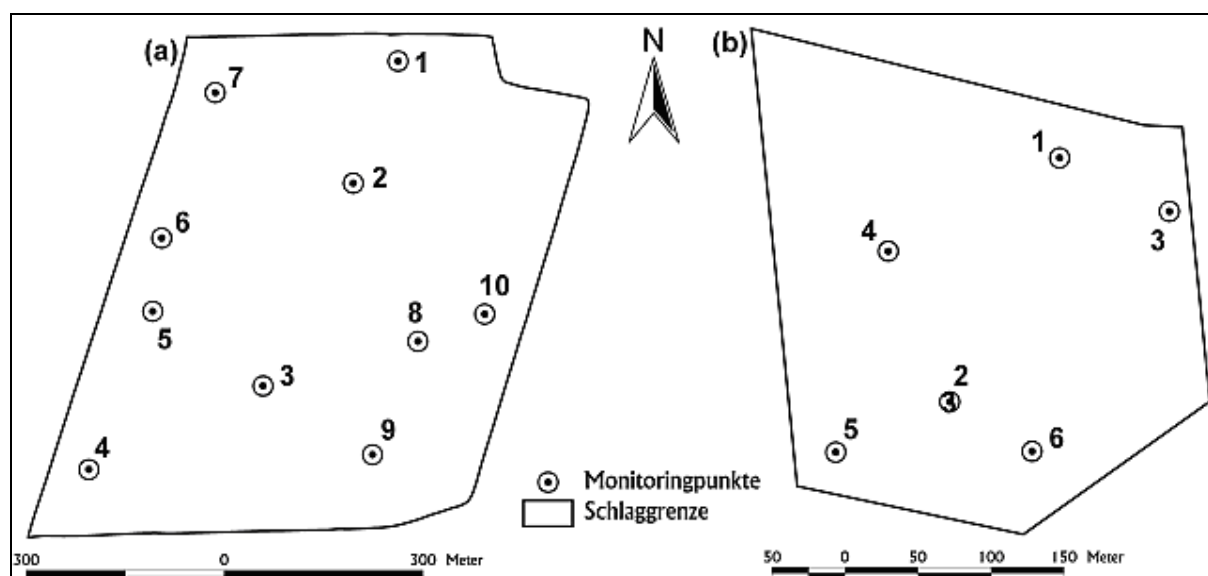


Abbildung 57: Versuchsschläge mit Monitoringpunkten

Figure 57: Trial fields with monitoring points

Im langjährigen Mittel liegen die Jahresniederschläge bei 536 mm, die maximale mittlere Tagestemperatur beträgt 13.3 °C und die minimale mittlere Tagestemperatur 5.2 °C (HERBST 2002).

Die Auswahl der Monitoringpunkte (Abbildung 57a) erfolgte auf Basis der in *pre agro* I erstellten digitalen Hof-Bodenkarte (Abschlussbericht *pre agro*, HERBST 2002).

Betrieb Täger-Farny - Niedersachsen

Die Flächen des Betriebes Täger-Farny liegen in der Nähe von Groß Twülpstedt bei Querenhorst und Volkmarsdorf. Als Versuchsfeld für TP 16 diente der Schlag Rabenberg (Abbildung 57b), der durch diluviale Ablagerungen über Tonstein aus der Jurazeit geprägt ist. Ebenso wie für den Betrieb WIMEX können genaue Informationen zu Geogenese und Pedogenese für das Gebiet dem Bericht von TP 14 entnommen werden und sind ebenfalls von HERBST (2002) beschrieben worden.

Im langjährigen Mittel liegen die Jahresniederschläge bei 595 mm, die maximale mittlere Tagestemperatur beträgt 13.2 °C und die minimale mittlere Tagestemperatur 5.5 °C (HERBST 2002).

Die Auswahl der Monitoringpunkte (Abbildung 57b) erfolgte ebenfalls auf Basis der in *pre agro* I erstellten digitalen Hof-Bodenkarte (Abschlussbericht *pre agro*, HERBST 2002).

3.4.2.2 Wurzelatenerfassung und -aufbereitung

Die Wurzelproben wurden an den jeweiligen Monitoringpunkten zufällig mit einem Handwurzelschneider (2-teiliger Wurzelbohrer, Eijkelkamp) zwischen den Pflanzenreihen gezogen. Dabei wurden Bohrkern mit definiertem Volumen in 15 cm-Schritten mit drei Wiederholungen bis zu einer Tiefe von 120 cm entnommen (für beide Versuchsstandorte insgesamt ca. 1.100 Stück). Die Bohrkern wurden von Hand homogenisiert und eine Unterprobe des homogenisierten Bodenmaterials abgewogen und ebenfalls von Hand ausgewaschen. Aus den ausgewaschenen Wurzeln wurde mit einem selbst entwickelten, weitgehend automatisierten Bildanalysetool die Durchwurzelungsintensität in Form der Wurzel-Längen-Dichte bestimmt (siehe Kapitel 3.4.2.2.1). Die Wurzel-Längen-Dichten wurden zusammen mit Bodenwasserdaten und verschiedenen Bodendaten, die von TP 14 zur Verfügung gestellt wurden, mit der statistischen Methode der „Schrittweisen Regression“ ausgewertet (siehe Kapitel 3.4.2.3). Auf diese Weise sollten Aussagen darüber getroffen werden können, welche quasikonstanten Bodenparameter in den beiden Untersuchungsgebieten den größten Einfluss auf das Wurzelwachstum nehmen.

3.4.2.2.1 Bildanalyse

Die ausgewaschenen Wurzeln wurden mit einem herkömmlichen Flachbettscanner eingescannt (vgl. SMIT et al. 1994, RICHNER et al. 2000 oder POLOMSKI & KUHN 2002) und die entstandenen Bilder (TIF) mit der MATLAB Image Processing Toolbox (Version 7.0) weiterverarbeitet. Zu diesem Zweck wurde ein Skript geschrieben, das automatisch ein vorgegebenes Dateiverzeichnis durchläuft, jedes Bild zur späteren Analyse vorbereitet, die Wurzelfläche berechnet und diese dann zusammen mit dem Dateinamen heraus gibt (Skript steht auf Anfrage bei den Autoren zur Verfügung). Die berechnete Wurzelfläche (cm²) wurde dann über einen gewichteten Wurzeldurchmesser in Wurzellänge (cm) umgerechnet und aus dieser wurde schließlich über Volumen des Bohrkerns und Gewicht der Unterprobe die Wurzellängendichte ermittelt (cm cm⁻³). Die Ergebnisse der Bildanalyse wurden zur Überprüfung ihrer Qualität mit Referenzmessungen nach TENNANT (1975) verglichen.

3.4.2.3 Sensitivitätsanalyse mit Schrittweiser Regression

3.4.2.3.1 Grundlagen

Die schrittweise Regression ist ein statistisches Werkzeug, mit dem aus einer Vielzahl von unabhängigen Variablen geprüft werden kann, welche von diesen die abhängige Variable (y bzw. Regressand) am besten beschreiben. Im Gegensatz zur multiplen Regression geht die schrittweise Regression quasi sukzessive vor: Die Einbeziehung von unabhängigen Variablen (Regressoren) geschieht in einzelnen Schritten. Hierbei wird eine Anzahl von Variablen vorgegeben, die mittels statistischer Verfahren selektiert werden (HÜTTNER & SCHWARTING 2002). Bei der Vorgehensweise kommen zwei wesentliche Methoden in Betracht:

- die vorwärts gerichtete Regression

Bei der vorwärts gerichteten Regression (Forward Regression) wird zuerst der Regressor in das Modell aufgenommen, der den größten Beitrag zur Erklärung von y liefert, also die Quadratsumme der Residuen minimiert. Dann wird unter den verbliebenen potentiellen Regressoren derjenige ausgewählt, dessen Beitrag zum bestehenden Modell maximal ist usw. Das Verfahren wird beendet, wenn der zusätzliche maximale Beitrag eines Regressors statistisch insignifikant wird.

- die rückwärts schreitende Elimination

Bei der rückwärts gerichteten Regression (Backward Regression) werden zunächst alle Regressoren in das Regressionsmodell aufgenommen. Es wird dann der Regressor aus dem Modell entfernt, dessen Wegfall die Quadratsumme der Residuen am wenigsten reduziert. Daraufhin wird der nächste Regressor entfernt usw. Das Verfahren stoppt, wenn der Beitrag des nächsten potentiellen Eliminationskandidaten zur Erklärung von y signifikant hoch wird, bzw. bis die Genauigkeit einen festgelegten Schwellenwert unterschreitet.

Die Auswertungen mit der Schrittweisen Regression wurden basierend auf der Cp-Statistik (MALLOW'S 1973) mit der Statistiksoftware Splus durchgeführt.

Das von uns gewählte lineare Modell unterstellt, dass sich die Beziehung von Regressand und Regressor nur in konstanten Relationen verändert. Bei der linearen Regressionsanalyse wird aus den empirischen Werten für Regressand und Regressor eine lineare Beziehung errechnet, die folgenden allgemeinen Ausdruck findet (BACKHAUS et al. 1987):

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_jX_j$$

wobei

Y = Regressand

b_0 = konstantes Glied

b_j = Regressionskoeffizient des j -ten Regressors

X_j = j -ter Regressor

Die von MALLOWS (1973) entwickelte Methode zur Findung passender Modelle kann wie folgt zum Ausdruck gebracht werden:

$$C_p = SS_{res}/MS_{res} - N + 2p,$$

wobei SS_{res} die Quadratsumme der Residuen für das Modell mit $p-1$ Variablen, MS_{res} der Mittelwert der quadrierten Residuen bei der Verwendung aller vorhandenen Variablen, N die Zahl der Beobachtungen und p die Zahl der für das Modell verwendeten Variablen $+1$ ist.

3.4.2.3.2 Modellbildung

Mit der Schrittweisen Regression wurden folgende Daten auf Horizontebene untersucht:

Abhängige Variable:

- mittlere Wurzellängendichte aus den Jahren 2005 und 2006

Unabhängige Variablen:

- Bodentiefe
- Sandgehalt
- Schluffgehalt
- Tongehalt
- Bodendichte
- Mittlerer Eindringwiderstand aus den Jahren 2005 und 2006
- Mittlerer gravimetrischer Wassergehalt (gemessen zu Vegetationsbeginn und zum Schossen) aus den Jahren 2005 und 2006.

Für die Auswertung wurde die vorwärts gerichtete Regression verwendet. Die Daten wurden getrennt nach den Untersuchungsgebieten ausgewertet da aufgrund der stark ausgeprägten Standortunterschiede zwischen den Untersuchungsgebieten in Wulfen und Groß Twülpstedt eine gemeinsame Betrachtung nicht sinnvoll ist.

Für das Untersuchungsgebiet in Wulfen wurden ein oberes und ein unteres Modell abgeleitet. Das untere Modell stellt sicher, das aufgrund von Voruntersuchungen wesentlich erscheinende Regressoren die Grundlage für das Modell sind. Das obere Modell beinhaltet alle Regressoren, die in dem Modell untersucht werden. Für Wulfen wird das untere Modell durch den Schluffgehalt beschrieben, für Twülpstedt wurde kein unteres Modell definiert.

Die Daten wurden auf Normalverteilung getestet. Bis auf die Wurzellängendichte ist in beiden Untersuchungsgebieten eine annähernde Normalverteilung der Daten gegeben. Die Wurzellängendichten wurden logarithmiert, so dass eine annähernde Normalverteilung sichergestellt werden konnte (siehe Kapitel 3.4.3.2).

3.4.2.4 Dynamische Bodenwassermessung

3.4.2.4.1 Tensiometer

3.4.2.4.1.1 Messprinzip

Tensiometer werden zur Messung der Bodenwasserspannung (Saugspannung) eingesetzt, die ein wichtiges Feuchtemaß ist und die Bindungsintensität des Wassers im Boden beschreibt.

Tensiometer bestehen im Wesentlichen aus einer porösen Keramikzelle, einem Korpus und einem Druckaufnehmer, wobei die Keramikzelle und ggf. der Korpus mit Wasser gefüllt sind. Der trockene Boden (höhere Saugspannung) entzieht dem Tensiometer (geringere Saugspannung) solange Wasser, bis das Potentialgleichgewicht zum umgebenden Bodenwasser erreicht wurde. Im Inneren des Tensiometers entsteht so ein Unterdruck, der über den Druckaufnehmer erfasst wird. Tensiometer können bauartbedingt Saugspannungen bis ca. 850 hPa ($pF = 2.9$) erfassen.

3.4.2.4.1.2 Verwendete Tensiometer und Messanordnung

Zur Erfassung der Bodenwasserspannung über die Vegetationsperiode wurden T4-Tensiometer der Firma UMS (München) eingesetzt, die speziell für Freiland-Monitoring entwickelt wurden. Das T4 erfasst Saugspannungen im Messbereich von +1000 hPa (Stauwasserbereich) bis -850 hPa ($pF = 2.9$) mit einer Genauigkeit von ± 5 hPa.

Die gemessenen Bodenwasserspannungen wurden über den 6-Kanal-Datenlogger DL6 (UMS München) erfasst. Die Logintervalle wurden auf zwei Stunden eingestellt.

Die Messungen der Saugspannung wurden sowohl auf dem Rabenberg in Groß Twülpstedt als auch auf dem Finkenherd in Wulfen an den Intensivmesspunkten 1 und 2 (siehe Abbildung 57) durchgeführt. Es handelte sich hierbei um jeweils einen trockenen und einen sehr feuchten Standort mit Grundwassereinfluss. An den trockenen Standorten (Messpunkt 1 in Groß Twülpstedt und Messpunkt 2 in Wulfen) wurden die Tensiometer mit zwei Wiederholungen in den Tiefen 50, 90 und 120 cm, an den feuchten Standorten (Messpunkt 2 in Groß Twülpstedt und Messpunkt 1 in Wulfen) in den Tiefen 50, 70 und 90 cm installiert.

3.4.2.4.2 TDR

3.4.2.4.2.1 Messprinzip

Das Verfahren der Time Domain Reflectometry (TDR) ist eine indirekte Methode zur Bestimmung des volumetrischen Wassergehaltes im Boden.

Die TDR-Sonden erzeugen einen elektromagnetischen Spannungsimpuls, dessen Ausbreitungsgeschwindigkeit im Boden zwischen den beiden Elektrodenstäben der Sonden ermittelt wird. Das Verfahren beruht darauf, dass die Laufzeit der elektromagnetischen Welle im Bodenkörper von der Dielektrizität des umgebenden Mediums abhängt. Wasser hat eine deutlich höhere Dielektrizitätszahl ($\epsilon_w \approx 81$) als mineralische Bodenpartikel ($\epsilon_s \approx 3 \dots 5$) oder Luft ($\epsilon_a \approx 1$). Je höher die Dielektrizitätszahl des umgebenden Mediums ist, umso stärker wird die Reflexion des elektrischen Pulses verzögert. Unterschiede und Veränderungen des Wassergehaltes werden also durch die Auswertung der Reflexionsgeschwindigkeit des elektrischen Pulses zwischen den Elektrodenstäben erfasst.

3.4.2.4.2 Verwendete Sonden und Messanordnung

Zur Messung des volumetrischen Wassergehaltes über die Vegetationsperiode wurden EC-10-Sonden der Firma Decagon Devices verwendet. Die Sonden können in einem Temperaturbereich von -40 bis +60 °C eingesetzt werden. Ihr Messbereich liegt zwischen 0 und 40 % volumetrischer Wassergehalt (Sättigung) mit einer Genauigkeit von +/- 4 %.

Die Messungen des volumetrischen Wassergehaltes wurden an denselben Punkten durchgeführt, an denen auch die Messung der Saugspannung mit Tensiometern erfolgte (vgl. Kapitel 3.4.2.4.1.2). Die Sonden wurden horizontweise mit vier Wiederholungen pro Horizont in den Wänden ausgehobener Profilgruben installiert. Nach Installation der Sonden wurden die Gruben wieder zugeschüttet. Die gemessenen Wassergehalte wurden über den 5-Kanal-Datenlogger Em5 (Decagon Devices) erfasst, wobei die Logintervalle, ebenso wie bei der Messung der Saugspannung, auf zwei Stunden eingestellt wurden.

3.4.2.5 Räumliche Modellierung

Die Erfassung der agronomisch relevanten räumlichen und zeitlichen Heterogenität innerhalb von Schlägen ist für Precision Farming von entscheidender Bedeutung, weshalb vorab eine zielgenaue, auf die Applikation ausgerichtete Probennahmeplanung zu erarbeiten ist. Speziell die Geostatistik als der Teil der Statistik, die räumliche Abhängigkeiten und Strukturen von gemessenen Eigenschaften zu quantifizieren und aufgrund dieses Wissens Eigenschaften an nicht beprobten Orten zu berechnen versucht, ist hierbei ein sehr wichtiges Werkzeug. Räumliche Abhängigkeiten und Interpolation werden in der Geostatistik über die Variogrammanalyse und das Kriging modelliert (ISAACS & SRIVASTAVA 1991). Grundlage für die Geostatistik sind kleinräumige Rasterbeprobungen. Allerdings zeigen umfangreiche geostatistische Untersuchungen, dass aufgrund der kleinräumigen Heterogenität die Probennahmedichten für die direkte Interpolation nicht mit praxisrelevantem Aufwand zu erreichen sind (FROGBOCK et al. 1999, McBRATNEY & PRINGEL 1997, VIERA 1999), weshalb hochauflösende und effizient zu erhebende Boden-Landschaftsdaten sowie robuste Entscheidungssysteme notwendig sind. Es gibt neben der Geostatistik vielfältige multivariate Statistiken wie regression Splines, regression Trees und neuronale Netzwerke oder harte und weiche Klassifikationsstatistiken wie Clustering, Maximum Likelihood oder die Dempster-Shafer Theorie zur Ableitung von Bodeneigenschaften an nicht beprobten Orten (BEHRENS et al. 2005, BEHRENS & SCHOLTEN 2005, SOMMER et al. 2003, GORDON & SHORTCLIFFE 1985, SRINIVASAN & RICHARDS 1990, MEIRVENNE et al. 2005).

Im Gegensatz zu den klassischen Klassifikationsstatistiken machen weiche oder unscharfe Modellierungen keine endgültige Aussage über die Klassenzugehörigkeit von Eigenschaften. Stattdessen erhält man eine Gruppe von Aussagen über den Grad der Zugehörigkeit eines jeden Pixels zu einer Klasse. In diesem Forschungsvorhaben wurde die Dempster-Shafer Technik, eine Erweiterung der Wahrscheinlichkeitstheorie von Bayes, genutzt, um Bodenparameter in ihrer räumlichen Verteilung zu modellieren (DEMPSTER 1966, DEMPSTER 1969, SHAFER 1976). Grundlegende Annahme für diese Theorie ist, dass in Bezug auf das Wissen Unkenntnis existiert und dass die Wahrscheinlichkeit (die Dempster-Shafer Theorie spricht von „belief“), mit der eine Hypothese zutrifft, nicht unbedingt bedeuten muss, dass deswegen die Ergänzung gleichzeitig eine Kenngröße für das Gegenteil sein muss. Die aus dieser Theorie erhaltenen Erkenntnisse über Bodenmuster sind die Eingangsgrößen für die Modellierung von Wurzelwachstum. Vorteil von dieser Technik ist, dass zum einen die Güte der Lernareale validiert werden kann und zum anderen die Ausgabegrößen als Gewichtungsfaktoren in die Wurzelwachstumsmodelle mit einfließen.

Grundlage für die GIS-gestützte Modellierung in diesem Teilprojekt waren multitemporal und multimodal erfasste Leitfähigkeitsmessungen mit dem EM 38 (Firma Geonics, Kanada). Der multimodale Ansatz wurde gewählt, da die Messsensibilität über die Tiefe in den Messmodi variiert: Im vertikalen Messmodus kommt ein höherer Signalanteil aus dem Unterboden, im horizontalen Modus ein höherer Anteil aus dem Oberboden. Der multitemporale Ansatz ermöglicht es, unterschiedliche Wasserdynamiken über die Zeit abzuschätzen, wobei hierbei immer berücksichtigt werden muss, dass die Leitfähigkeit des Bodens neben dem Wassergehalt auch vom Tongehalt sowie der Temperatur abhängt. Die Messungen wurden auf den Experimentalfeldern in Wulfen (Finkenherd) und Groß Twülpstedt (Rabenberg) zu Beginn der Vegetationsperiode (April) und nach der Ernte (August/September) durchgeführt und die Daten mit dem Programm Vesper interpoliert (MINASNY et al. 2005). Für den Schlag Rabenberg in Groß Twülpstedt sind die Karten in der Abbildung 58 dargestellt.

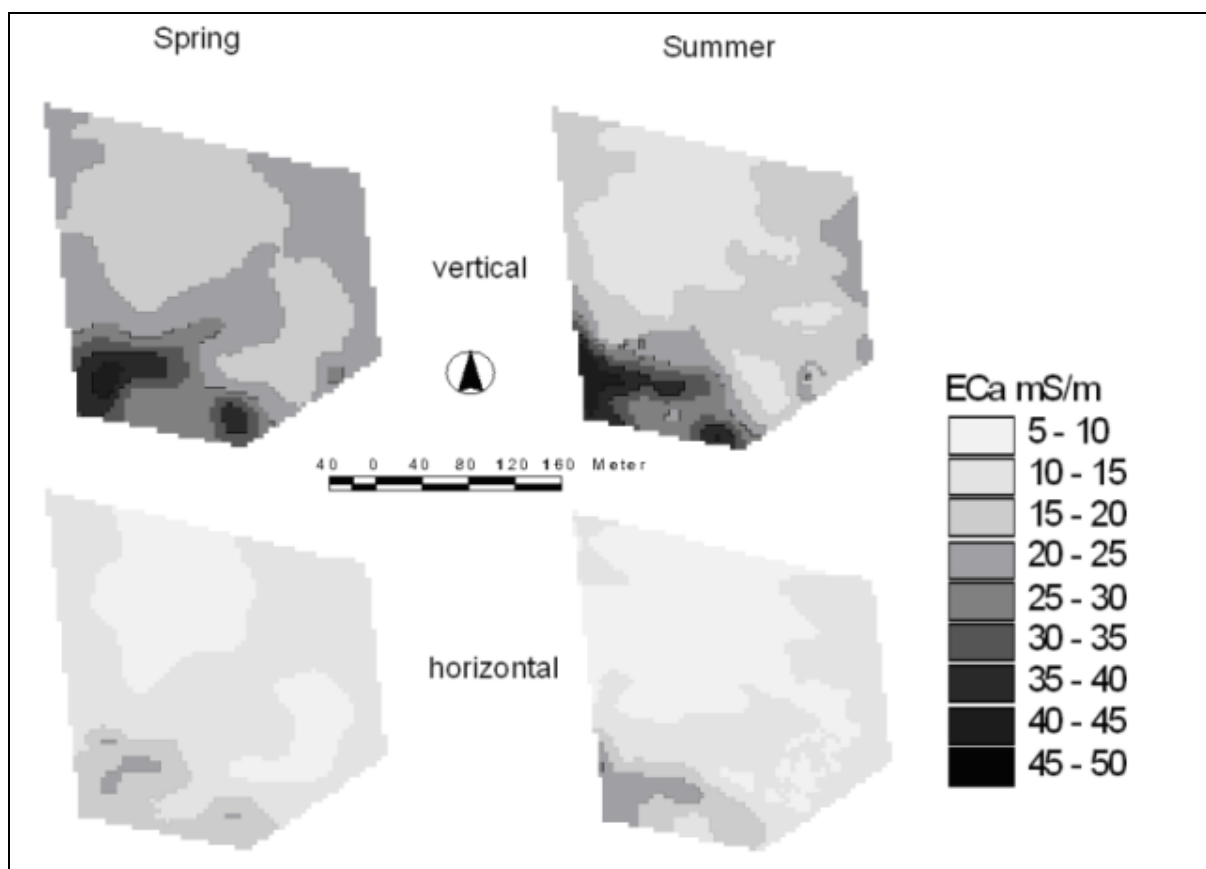


Abbildung 58: Karten der geoelektrischen Leitfähigkeit auf dem Experimentalfeld Rabenberg, Twülpstedt

Figure 58: Maps of the apparent electrical conductivity on the experimental site Rabenberg, Twülpstedt

Als Trainingsdatensätze für die Modellierung wurden Bodendaten von den Monitoringpunkten genommen, die im Rahmen dieses Projektes von den Mitarbeitern in TP 14, 15 und 16 gemeinsam im Feld erhoben wurden.

Die Arbeitsgruppe wurde im Rahmen der Pedometrics Tagung 2007 aufgerufen, die hier nur kurz beschriebenen Untersuchungen zu den Methoden in einem Special Issue der Geoderma zu publizieren (Herbst et al., in prep.).

3.4.2.6 Modellierung von Wurzelwachstum

Für die Simulation wurde das Modell CERES-Wheat (Version 4.0.2.0) genutzt, das eine Komponente des Decision Support System for Agricultural Technologie Transfer (DSSAT) ist. Das Modell wurde in Zusammenarbeit mit TP 15 aufgesetzt und kalibriert. Auf die Modellstruktur wird hier nicht eingegangen, da diese in zahlreichen Veröffentlichungen beschrieben ist (z. B. RITCHIE et al. 1988, TSUJI et al. 1998). Die zur Simulation verwendeten Wetterdaten stammen aus der MARS-Datenbasis des Joint Research Centre of the European Commission. MARS liefert regionalisierte Wetterdaten, die auf Mittelwerten verschiedener Wetterstationen der entsprechenden Region basieren. Die verwendeten Bodendaten (Textur, Dichte, C_{org} etc.) wurden von TP 14 im Rahmen des Projektes erhoben und uns zur Verfügung gestellt. Werte zum Wasserhaltevermögen des Bodens wurden mit dem Modell kalkuliert und die genetischen Koeffizienten nach der im Handbuch angegebenen Standardprozedur kalibriert.

3.4.3 Ergebnisse

3.4.3.1 Wurzeln

Um die Qualität der Ergebnisse des selbst entwickelten, weitgehend automatisierten Bildanalysetools zu überprüfen, wurden Referenzmessungen nach TENNANT (1975) durchgeführt und mit den Bildanalyseergebnissen verglichen. Die Ergebnisse der Bildanalyse korrelieren sehr gut mit den Ergebnissen der Referenzmessungen ($R^2 = 0.92$), wobei die Gerade der Regressionsgleichung sehr nahe an der 1:1-Beziehung liegt (Abbildung 59). Das entwickelte Bildanalyseverfahren auf Basis der Modellierungsumgebung MATLAB (Vers. 7.1) liefert demzufolge gute Ergebnisse und wird zur Analyse von Proben ausgewaschener Wurzeln eingesetzt.

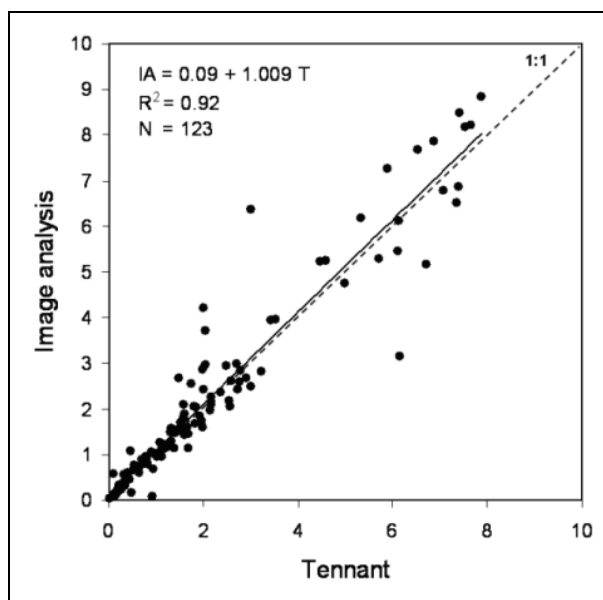


Abbildung 59: Korrelation zwischen den Ergebnissen der Wurzellängendichtebestimmung durch Bildanalyse (Image analysis) und durch Referenzmessung nach Tennant

Figure 59: Correlation between root-length density results of image analysis and of reference measurements by Tennant

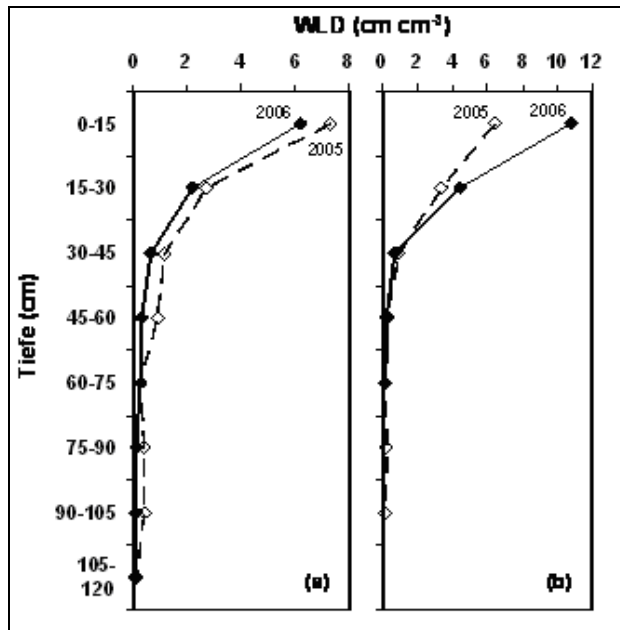


Abbildung 60: Max. Wurzellängendichten (WLD) aus den Jahren 2005 und 2006 für die Intensivmesspunkte 1 (a) und 2 (b) des Schlags Rabenberg (Groß Twülpstedt)

Figure 60: Max. root-length densities observed in 2005 and 2006 at the monitoringpoints 1 (a) and 2 (b) of the trial field Rabenberg (Groß Twülpstedt)

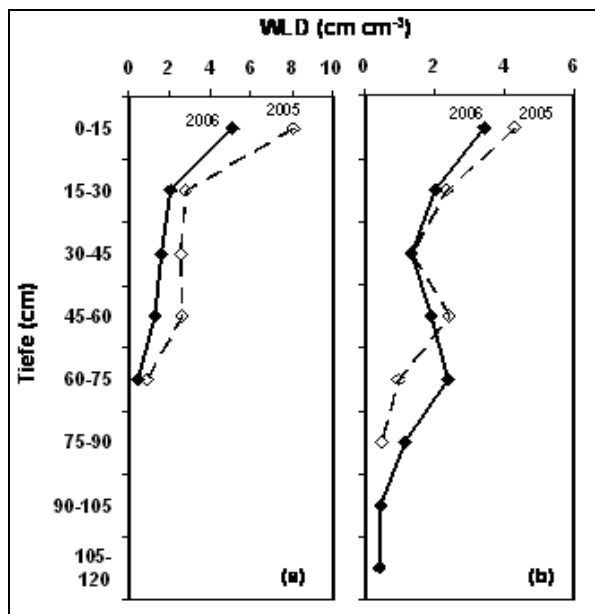


Abbildung 61: Max. Wurzellängendichten (WLD) aus den Jahren 2005 und 2006 für die Intensivmesspunkte 1 (a) und 2 (b) des Schlags Finkenherd (Wulfen)

Figure 61: Max. root-length densities observed in 2005 and 2006 at the monitoringpoints 1 (a) and 2 (b) of the trial field Finkenherd (Wulfen)

Die Analyse der Wurzelproben zeigte, dass am Standort Groß Twülpstedt die Durchwurzelungsintensität im Unterboden wesentlich geringer ist als am Standort Wulfen (siehe Abbildung 60 und Abbildung 61, exemplarisch für die Intensivmesspunkte der Versuchsschläge). Ein Vergleich der Wurzelanteile in Ober- und Unterboden ergab, dass am Standort Groß Twülpstedt im Mittel ca. 85 %

der gemessenen Wurzellängendichten im Oberboden (0 – 30 cm) und ca. 15 % im Unterboden (30 cm bis max. Beprobungstiefe) vorliegen, am Standort Wulfen dagegen dieses Verhältnis bei ca. 60:40 liegt (Tabelle 27).

Tabelle 27: Prozentuale Anteile der Wurzeln im Ober- und Unterboden der Versuchsschläge Rabenberg (Groß Twülpstedt) und Finkenherd (Wulfen)

Table 27: Root percentage in topsoil and subsoil of the trial fields Rabenberg (Groß Twülpstedt) and Finkenherd (Wulfen)

Rabenberg														
Jahr	Punkt →	1	2	3	4	5	6					Min.	Max.	Mittel
2005	Oberboden	76.0	84.4	83.6	87.2		95.9					76.0	95.9	85.4
	Unterboden	24.0	15.6	16.4	12.8		4.1					4.1	24.0	14.6
2006	Oberboden	84.9	93.4	82.0	86.5	76.4	92.1					76.4	92.1	85.9
	Unterboden	15.1	6.6	18.0	13.5	23.6	7.9					7.9	23.6	14.1
Finkenherd														
Jahr	Punkt →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Min.	Max.	Mittel
2005	Oberboden	64.2	55.9	52.1		48.6		58.8	59.1	51.2	52.0	48.6	64.2	55.2
	Unterboden	35.8	44.1	47.9		51.4		41.2	40.9	48.8	48.0	35.8	51.4	44.8
2006	Oberboden	67.8	41.7	61.3	58.3	69.7	70.9	49.4	56.9	60.0	63.5	41.7	70.9	60.0
	Unterboden	32.1	58.3	38.7	41.7	30.3	29.1	50.5	43.1	40.0	36.5	29.1	58.2	40.0

Eine Hauptursache für die deutlichen Unterschiede zwischen den beiden Standorten ist sicherlich die Bodendichte: Zum einen liegen auf dem Rabenberg die Werte für die gemessenen Trockenrohdichten laut Einstufung nach KA4 eher im Bereich hoher Lagerungsdichten, die Werte für den Finkenherd hingegen häufig im Bereich mittlerer Lagerungsdichten. Zum anderen sind die Übergänge zwischen den gemessenen Lagerungsdichten der oberen 30 cm zu den darunter liegenden Bodenschichten auf dem Rabenberg deutlich ausgeprägter als auf dem Finkenherd. Neben der Bodendichte spielt sicher auch die Niederschlagsmenge in den beiden Regionen eine Rolle: In der Region Groß Twülpstedt liegen die Niederschlagsmengen im langjährigen Mittel ca. 70 mm höher als die für die Region Wulfen, so dass in den beiden Regionen ein deutlicher Unterschied bezüglich der Wasserversorgung im Oberboden besteht.

3.4.3.2 Sensitivitätsanalyse mit Schrittweiser Regression

Wie in Kapitel 3.4.2.3.2 erwähnt, wurden die Daten der Wurzellängendichte für die Untersuchungsschläge Finkenherd in Wulfen und Rabenberg in Groß Twülpstedt logarithmiert, um eine annähernde Normalverteilung sicherzustellen (Abbildung 62, exemplarisch für den Finkenherd in Wulfen).

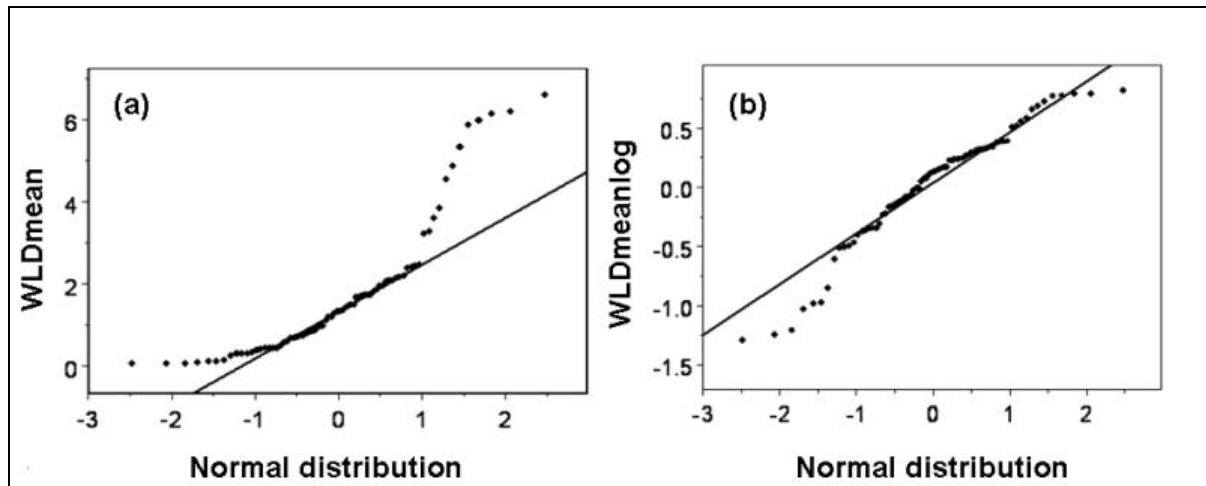


Abbildung 62: QQ-Plot der Wurzellängendichteverteilung auf dem Finkenherd vor (a) und nach der Logarithmierung (b)

Figure 62: QQ-Plot of the root length densities on the trial field Finkenherd before (a) and after the calculation of the logarithm (b)

Im nächsten Arbeitsschritt wurden die Untersuchungsvariablen in einem Streudiagramm für Wulfen und Twülpstedt getrennt abgebildet. Die Streudiagramme geben einen ersten Überblick über die Zusammenhänge zwischen den Daten (Abbildung 63).

Die Modellbildung der Schrittweisen Regression wurde in Kapitel 3.4.2.3.2 erläutert. Für das Untersuchungsgebiet in Wulfen ergibt sich aus der Schrittweisen Regression folgendes Modell:

$$\text{WLDmeanlog} \sim U + S + \text{Tiefe} \quad R^2 = 0.73$$

Schluff- und Sandgehalt sowie die Tiefe erklären mit diesem Modell 73 % der gesamten Streuung. Dieser Zusammenhang ist für das Untersuchungsgebiet, das in der Sandlössbörde von Sachsen Anhalt liegt, auch kausal nach zu vollziehen. Der Einfluss der Tiefe (siehe auch Abbildung 63) kann dadurch erklärt werden, dass das Wurzelwachstum generell von oben nach unten abnimmt.

Für das Untersuchungsgebiet in Groß Twülpstedt ist das Modell wie folgt beschrieben:

$$\text{WLDmeanlog} \sim \text{EWmean} + \text{Tiefe} \quad R^2 = 0.9$$

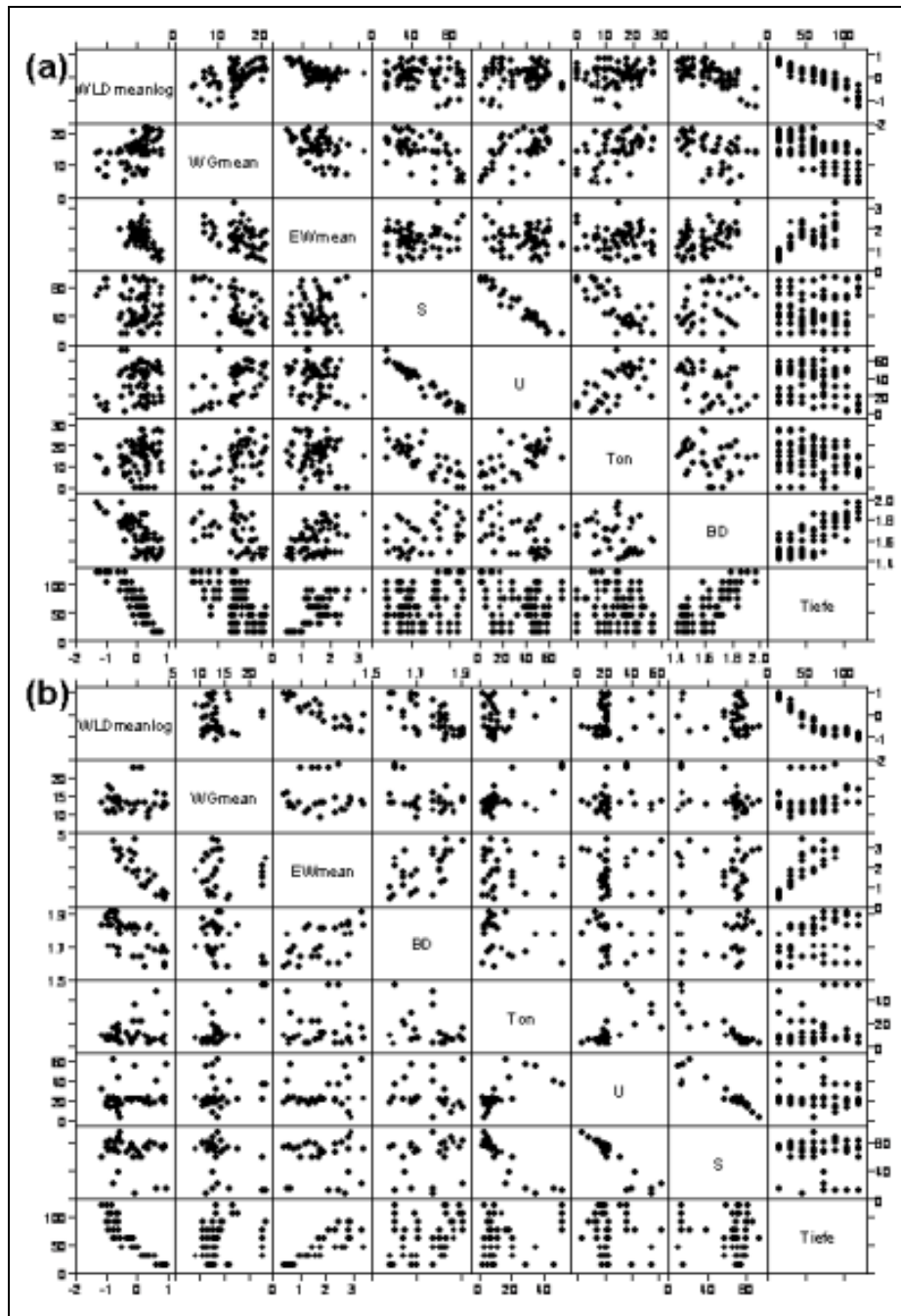


Abbildung 63: Streudiagramme der Untersuchungsdaten von Wulfen (a) und Twülpstedt (b)

Figure 63: Scattergram of the investigation data of Wulfen (a) and Twülpstedt (b)

Der sehr heterogene Standort in Groß Twülpstedt mit kleinräumigem Wechsel von Mächtigkeiten glazialer Deckschichten über Juratonstein und ausgeprägtem Kontrast von terrestrischen und hydromorphen Böden zeigt eine hohe Abhängigkeit der Wurzellängendichte zum Eindringwiderstand und zur Tiefe, die 90 % der gesamten Streuung mit diesem Modell erklären. Auch hier ist die Abhängigkeit zur Tiefe dadurch zu erklären, dass Pflanzen in den oberen Bodenschichten mehr Wurzeln ausbilden und das Wurzelwachstum nach unten abnimmt.

Mit der Schrittweisen Regression können aus einer großen Zahl von unabhängigen Variablen relativ gut die Variablen abgeleitet werden, die einen Großteil der Varianz erklären. Hierbei gilt allerdings auch zu berücksichtigen, dass Autokorrelationen zwischen den unabhängigen Variablen das Ergebnis

verfälschen. Für die Untersuchungsgebiete im Rahmen dieses Forschungsvorhabens können die Modellergebnisse aber durchaus kausal nachvollzogen werden. Insbesondere die hohe Korrelation zwischen Eindringwiderstand und Wurzellängendichte für das Untersuchungsgebiet in Groß Twülpstedt ist sehr vielversprechend.

3.4.3.3 Bodenwasser

3.4.3.3.1 Dynamik des Bodenwassers

Die Dynamik des Bodenwassers wurde untersucht, um die Bodenwasserroutine von CERES-Wheat zu validieren. Die Erfassung der Bodenwasserdaten erfolgte an den Intensivmesspunkten der beiden Untersuchungsstandorte Wulfen und Groß Twülpstedt (siehe Abbildung 57a und b, Messpunkte 1 und 2). Der volumetrische Wassergehalt wurde mit den in Kapitel 3.4.2.4.2.2 beschriebenen TDR-Sonden ermittelt, um den dynamischen Verlauf der Bodenwassergehalte über die Vegetationsperioden zu erfassen. Die TDR-Messungen erfolgten horizontweise in drei Tiefenstufen mit je vier Wiederholungen. Aus den Wiederholungen der drei Tiefenstufen wurden Mittelwerte gebildet, die für die beiden Standorte Wulfen (Abbildung 64a) und Groß Twülpstedt (Abbildung 64b) exemplarisch über die Vegetationsperiode 2006 dargestellt sind.

In Abbildung 64a wird deutlich, wie der Bodenwassergehalt durch den Standort beeinflusst wird: Die Wassergehalte am Intensivmesspunkt 1 (Int1) sind mit etwa 25 %Vol in allen Untersuchungstiefen deutlich höher, als die Wassergehalte am Intensivmesspunkt 2 (Int2), an dem die Unterschiede zwischen Ober- und Unterboden stärker zu Tage treten. Der Witterungseinfluss auf die Wassergehalte zeigt sich besonders in den oberen Horizonten. Niederschlagsereignisse sind durch einen Anstieg der Kurven, (vgl. Abbildung 64b Ende Mai) sehr gut zu erkennen. Zum Ende der Vegetationsperiode nehmen die Wassergehalte an beiden Standorten ab, was auf die steigenden Temperaturen und die damit verbundene Austrocknung des Bodens zurückzuführen ist.

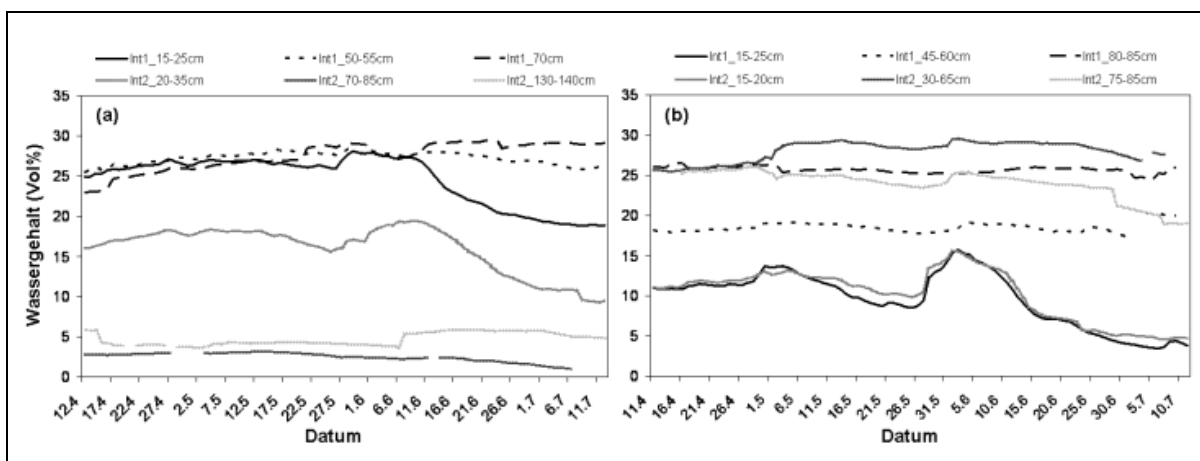


Abbildung 64: Volumetrischer Wassergehalt an den Intensivmesspunkten der Schläge Finkenherd (a) und Rabenberg (b) über die Vegetationsperiode 2006

Figure 64: Volumetric water content at the monitoring points 1 and 2 of the trial fields Finkenherd (a) and Rabenberg (b) in 2006

Gleiche Wassergehalte können bei verschiedenen Bodenarten mit unterschiedlicher Intensität im Boden gebunden sein. Um Aussagen über die Pflanzenverfügbarkeit treffen zu können, ist daher neben

dem absoluten Wassergehalt die Saugspannung des Bodenwassers zu beachten. Die Bodenwasser-
spannung ist bei niedrigen Wassergehalten am höchsten und nimmt mit zunehmendem Wassergehalt
ab. Pflanzen können nur Bodenwasser nutzen, das bei pF-Werten unter 4.2 gebunden ist. Die Saug-
spannung wurde wie in Kapitel 3.4.2.4.1.2 beschrieben erfasst. Aus den alle zwei Stunden erfassten
Messwerten wurden Tagesmittelwerte berechnet. Die Ergebnisse der Messungen sind in Abbildung 65
exemplarisch für die Vegetationsperiode 2006 dargestellt.

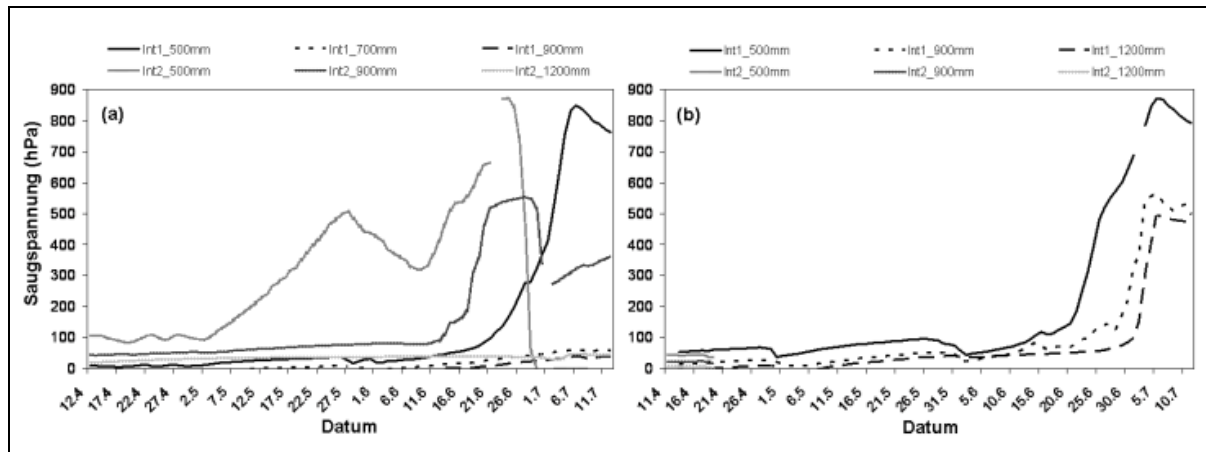


Abbildung 65: Saugspannung an den Intensivmesspunkten der Schläge Finkenherd (a) und Rabenberg (b) über die Vegetationsperiode 2006

Figure 65: Suction power at the monitoring points 1 and 2 of the trial fields Finkenherd (a) and Rabenberg (b) in 2006

Am Standort Groß Twülpstedt liegen für den Intensivmesspunkt 2 nur wenige Messwerte vor, da hier einer der Datenlogger ausgefallen war. Am Intensivmesspunkt 1 steigt die Saugspannung zum Ende der Vegetationsperiode rapide an (Abbildung 65b), was auf die steigenden Temperaturen und die damit verbundene Austrocknung des Bodens zurückzuführen ist. Regenereignisse sind im Kurvenverlauf durch ein kurzzeitiges Absinken der Saugspannung zu erkennen (Abbildung 65b, z. B. Ende April und Ende Juni). Die niedrigen Saugspannungen am Punkt 1 in Wulfen (Abbildung 65a, Int1) sind auf die hohe Wassersättigung zurückzuführen. An diesem Punkt besteht Grundwassereinfluss, so dass eine kontinuierliche Wasserversorgung über die Vegetationsperiode gewährleistet war. Für Punkt 2 in Wulfen ist in den Bereichen mit sehr niedrigen Saugspannungen (Abbildung 65a, Int2) davon auszugehen, dass Probleme bei der Messung aufgetreten sind. In Verbindung mit den in Abbildung 64a dargestellten niedrigen Bodenwassergehalten in den unteren Bodenhorizonten dieses Messpunktes müsste die Saugspannung deutlich höher sein. Der Kontakt zwischen Keramikkerze und Boden scheint abgerissen zu sein, wodurch keine plausiblen Werte gemessen werden konnten.

3.4.3.3.2 pF-WG-Beziehungen

Die Daten der Saugspannung wurden in Beziehung zum volumetrischen Bodenwassergehalt gesetzt. Unter Laborbedingungen ergeben sich für homogene Substrate charakteristische pF-WG-Kurven (= Wasserretentionskurve / Saugspannungskurve). Am Beispiel von typischen Substraten der Untersuchungsstandorte wurde untersucht, wie sich die pF-WG-Kurven unter Feldbedingungen darstellen und ob diese mit den theoretischen pF-WG-Kurven vergleichbar sind.

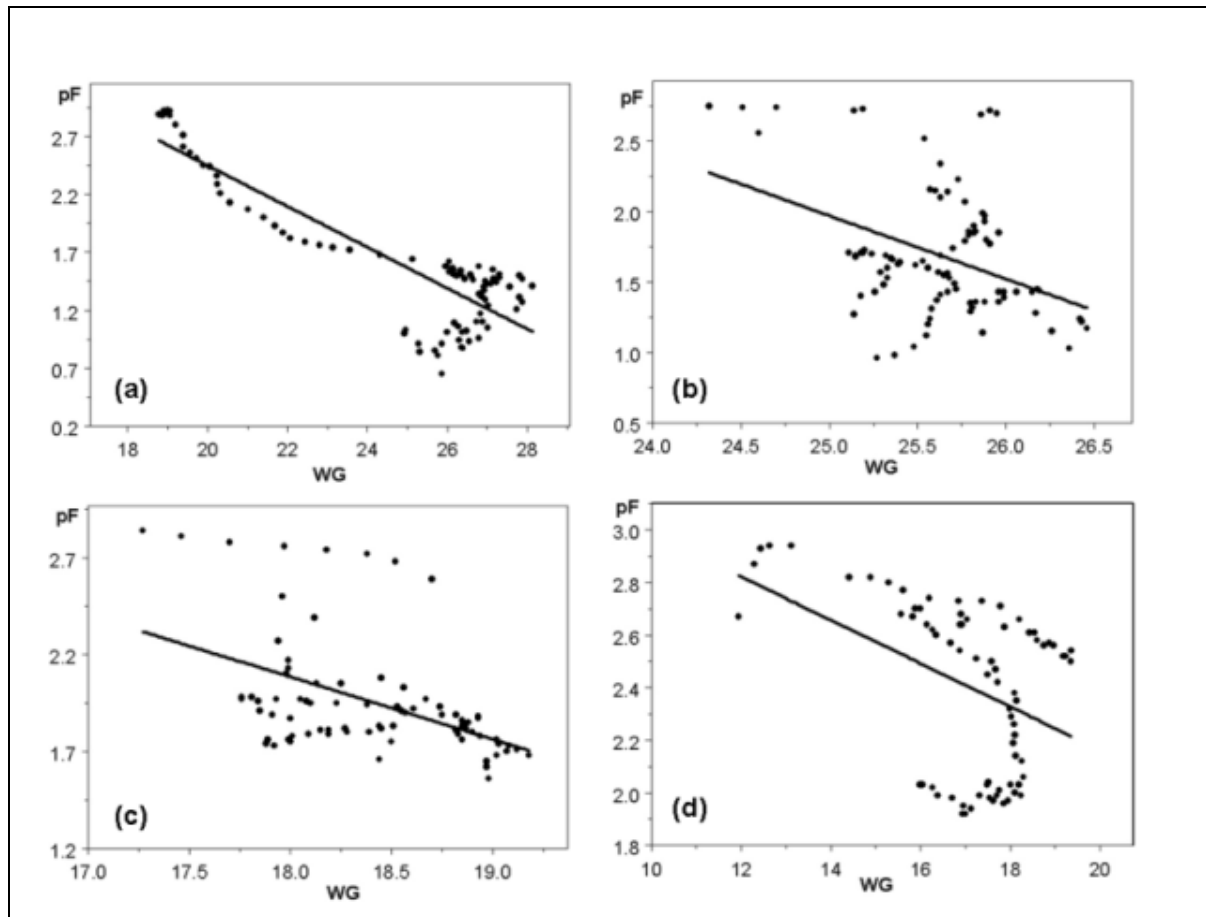


Abbildung 66: Unter Feldbedingungen gemessene pF-WG-Beziehungen für einen schluffig lehmigen Sand (a), einen schwach tonigen Sand (b), einen schwach lehmigen Sand (c) und einen schwach schluffigen Sand (d)

Figure 66: Relationship between suction power and water content for different soil textures measured under field conditions

In Abbildung 66a ist die pF-WG-Kurve für einen schluffig lehmigen Sand am Standort Wulfen dargestellt. Während der gesamten Vegetationsperiode befinden sich die Werte meist im Bereich der Feldkapazität ($1.8 < pF < 2.8$). In diesem Substrat traten während der Vegetationszeit also kaum wasserlimitierende Bedingungen auf.

Abbildung 66c zeigt die pF-WG-Kurve eines schwach lehmigen Sandes. Die Werte liegen auch hier hauptsächlich im Bereich der Feldkapazität ($1.8 < pF < 2.8$).

In Abbildung 66d ist die pF-WG-Beziehung für einen schwach schluffigen Sand dargestellt. Die Messwerte liegen im Bereich der Feldkapazität und reichen bis zum Messmaximum der Tensiometer ($pF = 2.9$).

Für alle gemessenen pF-WG-Beziehungen gilt, dass im Bereich der verfügbaren Messwerte die Kurve zwischen den theoretischen pF-WG-Kurven für Sand und Schluff liegt. Die Saugspannung nimmt mit steigenden Wassergehalten ab, bei hohen Wassergehalten ($> 25\%$) sowie bei niedrigeren Gehalten ($< 18\%$) tritt eine starke Streuung der pF-Werte auf, die wahrscheinlich auf die Wechselwirkungen des Bodenwassers im Feld, bedingt durch Infiltration, kapillaren Aufstieg und laterale Wasserflüsse zurückzuführen ist.

Wie aus den dargestellten pF-WG-Kurven hervorgeht, ist eine Übertragung der unter Laborbedingungen erzielten pF-WG-Kurven auf Feldbedingungen nicht möglich gewesen. Dies war zu erwarten, da

unter Feldbedingungen mit offenen Systemen gearbeitet wird und das Bodenwasser daher vielfältigen Einflüssen unterliegt, die in den geschlossenen Systemen unter Laborbedingungen nicht auftreten.

3.4.3.4 Kalkulation mit CERES-Wheat

Die Ergebnisse der Modellierung des Bodenwassers werden hier exemplarisch für den Schlag 141 des Betriebes WIMEX dargestellt.

Die gemessenen und die von CERES-Wheat berechneten Bodenwassergehalte korrelierten nur relativ schwach ($R^2 = 0.58$). Das Modell unterschätzte den Bodenwassergehalt unter Bedingungen nahe Feldkapazität erheblich und überschätzte die Gehalte in Bereichen geringerer Wassergehalte (Abbildung 67).

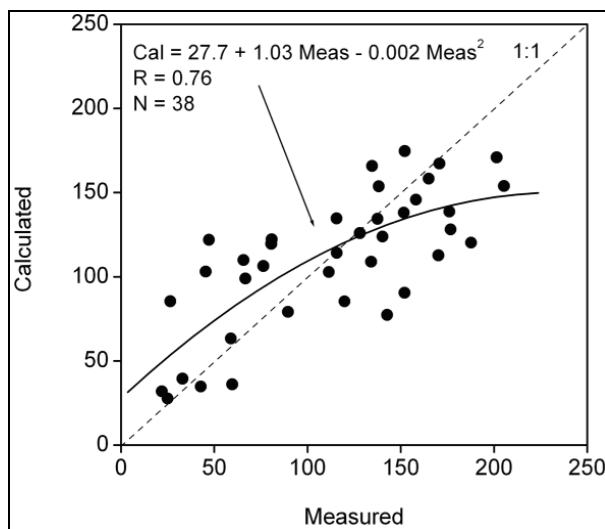


Abbildung 67: Korrelation zwischen simuliertem (calculated) und gemessenem (measured) Bodenwassergehalt (g kg^{-1}) für den Schlag Finkenherd in Wulfen

Figure 67: Correlation between calculated and measured soil water content (g kg^{-1}) for the trial field Finkenherd in Wulfen

Um die Vorhersagequalität des Modells bezüglich der räumlichen Variabilität zu überprüfen, wurden die zeitlichen Änderungen gemessener und berechneter Wassergehalte zweier sehr unterschiedlicher Standorte verglichen: Intensivmesspunkt 1 war geprägt durch eine ausreichende Wasserversorgung über die gesamte Vegetationsperiode ($\text{nFK} \approx 260 \text{ mm}$) während Intensivmesspunkt 2 im Gegensatz dazu durch eine geringe Wasserhaltekapazität ($\text{nFK} \approx 130 \text{ mm}$) und starken Wasserstress während der Vegetationszeit charakterisiert war. Die Abbildung 68 und Abbildung 69 bestätigen, dass CERES-Wheat die Wassergehalte unter nicht limitierenden Bedingungen unterschätzt und in niedrigeren Gehaltsbereichen überschätzt. Sie zeigen auch, dass das Modell das Ausmaß der Wassergehaltsänderungen über die Zeit überschätzt. Ein Vergleich der kalkulierten Bodenwassergehalte mit Niederschlagsdaten ergab einen starken Zusammenhang zwischen beiden.

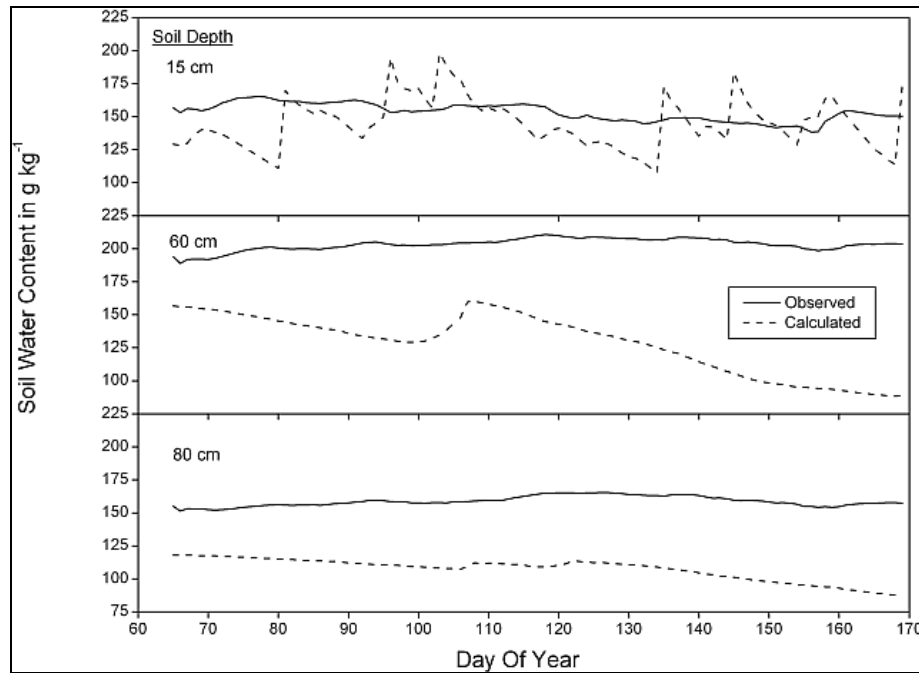


Abbildung 68: Bodenwassergehalt in unterschiedlichen Bodentiefen (Intensivmesspunkt 1, Finkenherd, Wulfen)

Figure 68: Soil water content at different soil depths (monitoring point 1, trial field Finkenherd, Wulfen)

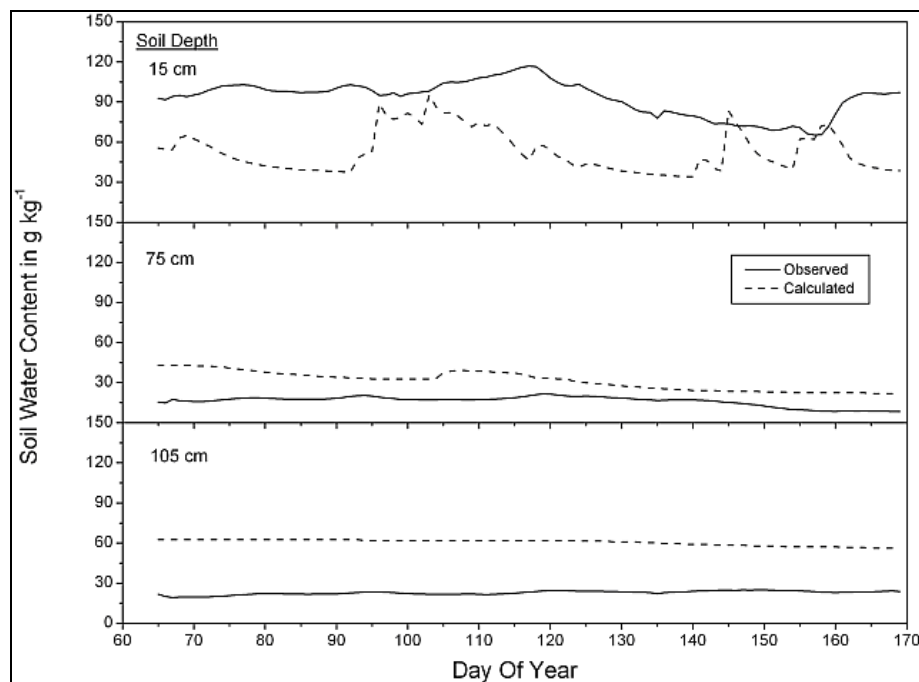


Abbildung 69: Bodenwassergehalt in unterschiedlichen Bodentiefen (Intensivmesspunkt 2, Finkenherd, Wulfen)

Figure 69: Soil water content at different soil depths (monitoring point 2, trial field Finkenherd, Wulfen)

3.4.3.5 Räumliche Modellierung

Die im Folgenden – exemplarisch für den Rabenberg in Groß Twülpstedt – dargestellten Ergebnisse zeigen, wie zum einem hochauflösende, räumliche Informationen über Bodeneigenschaften als Inputdaten für die dynamische Modellierung – im Rahmen dieses Forschungsvorhabens mit CERES-Wheat – zur Verfügung gestellt werden können. Zum anderen wird ein deduktiver Ansatz vorgestellt, um eine

verbesserte Abschätzung von Wurzeltiefgängen zu erhalten. In diesem Ansatz werden die statischen Pedotransferfunktionen zur Berechnung der effektiven Durchwurzelungstiefe von geschichteten Profilen (AG BODEN 1994, NIBIS-METHODENDATENBANK 1999, LAMP et al. 2002) durch die Abschätzung diffuser lateraler Wasserflüsse nach oben bzw. unten korrigiert, um eine verbesserte Vorhersagegüte von Wurzeltiefgängen zu erhalten.

3.4.3.5.1 Leitfähigkeit

Die multitemporal und multimodal erfassten Karten der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens sind die Eingangsdaten für die räumliche Modellbildung. Die Karten der Leitfähigkeit zu den verschiedenen Messzeitpunkten sind hoch korreliert, im vertikalen sowie horizontalen Messmodus beträgt das $R^2 = 0.9$. Diese Ergebnisse unterstützen vorangegangene Studien von HERBST & LAMP (2006). Insbesondere werden aber Unterschiede in Leitfähigkeitsmessungen über die Zeit bei grundwasserbeeinflussten Böden oder Böden mit lateralen Zu- und Abflüssen festgestellt. Generell ist die Leitfähigkeit im Frühjahr aufgrund der höheren Bodenfeuchte größer als die im Sommer (Abbildung 58 und Abbildung 70).

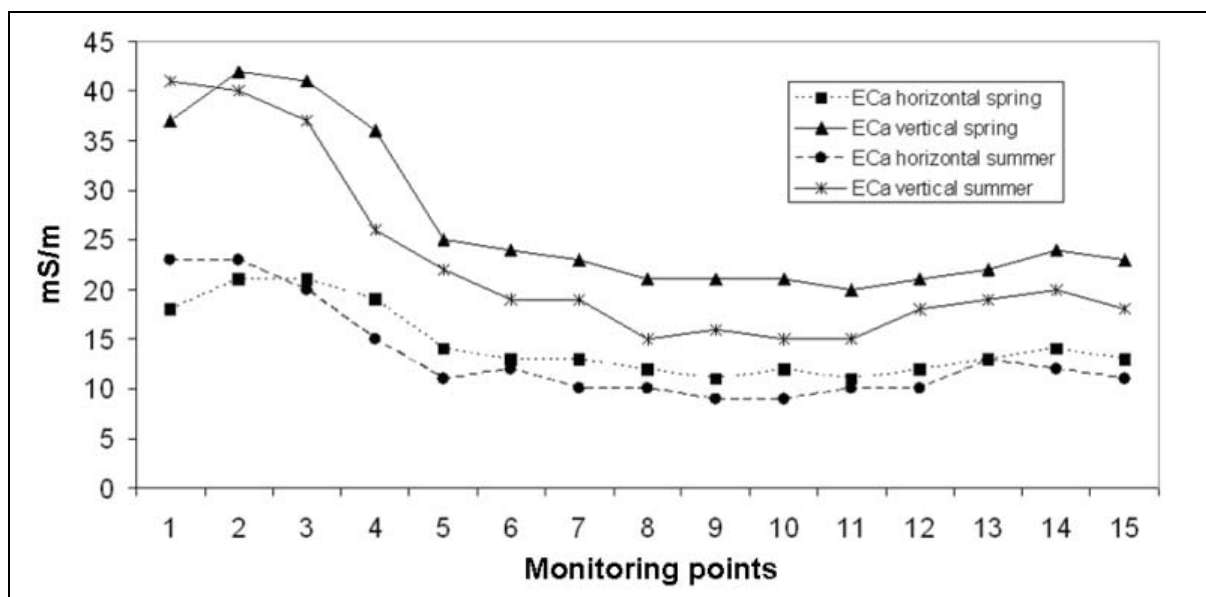


Abbildung 70: Beobachtete Leitfähigkeiten an einem Transekt durch das Untersuchungsgebiet

Figure 70: Transect of the captured conductivity data on the trial field

Der mittlere, gravimetrisch gemessene Wassergehalt an den Untersuchungspunkten im Untersuchungs-jahr 2006 betrug 13 % im Frühjahr und nur 8 % im Sommer. Die dargestellten Leitfähigkeiten in Abbildung 70 sind die berechneten Mittelwerte aus einem 10m-Radius um jeden Beobachtungspunkt.

Im Süden des Feldes wurden allerdings höhere Leitfähigkeiten im Sommer gemessen als im Frühjahr. Dies liegt an Verdünnungseffekten der Salzkonzentration in der Bodenlösung in feuchten Jahren. Dies wird auch manifestiert durch die in diesem Gebiet kartierten Gleyböden.

3.4.3.5.2 Dempster-Shafer Modell

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde die GIS-gestützte Modellierung mit dem Programmsystem Idrisi Kilimanjaro umgesetzt (EASTMAN 2003). Wie bei allen überwachten Klassifikationen mussten in einem ersten Schritt zunächst Lernareale definiert werden. Basierend auf den Signaturen innerhalb der Lernareale werden im Folgenden dann mittels unterschiedlicher mathematisch-statistischer Verfahren über den gesamten Datensatz vergleichbare Signaturen gesucht und diese dann zugeordnet. Am Beispiel des Experimentalschlages in Groß Twülpstedt wurden 9 verschiedene Trainingsareale inhaltlich definiert:

- a) Pseudogley, Ls3//Sand, frisch
- b) Pseudogley, S13//Sand, sehr trocken
- c) Pseudogley, S13//Sand, frisch
- d) Pseudogley, Ls3, nass
- e) Kolluvisol-Pseudogley, S13//Sand, feucht
- f) Kolluvisol-Pseudogley, Lu//Tu3, nass
- g) Gley, Tu3, extrem nass
- h) Pseudogley, Sand, extrem trocken
- i) Gley, Ton, feucht.

In Abbildung 71 ist am Beispiel eines ausgewählten Lernareals das Ergebnis der Klassifikation mit dem Dempster-Shafer Modell dargestellt.

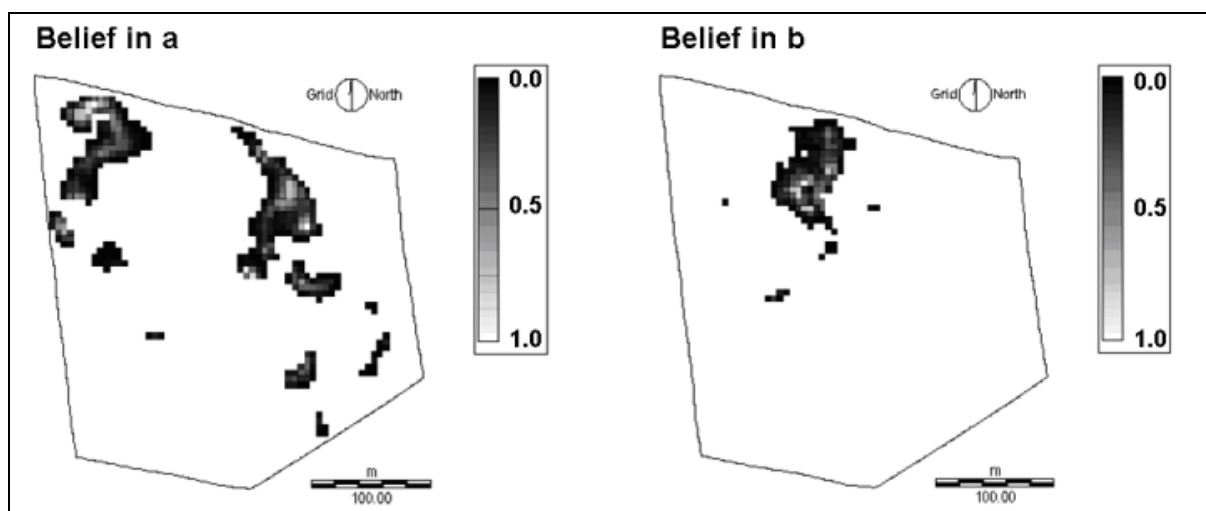


Abbildung 71: Belief der Signaturen a und b

Figure 71: Belief of the training site a and b

Da sich die volle Hierarchie des Dempster-Shafer Modells nach der Formel $2^n - 1$ berechnet, würden für die neun Signaturen theoretisch 511 Zugehörigkeiten für jeden Pixel möglich sein.

Als Grundlage für die Modellierung wurde das BPA-Modell (Basic Probability Assignment) gewählt, eine etwas vereinfachte Berechnung von Zugehörigkeiten. Hierbei wird jedem Pixel das Ergebnis mit dem höchsten „Belief“ zugeordnet.

3.4.3.5.3 Räumliche Abschätzung von potentiellen Wurzeltiefgängen

In Tabelle 28 sind die Abschätzung von diffusen, lateralen Wasserflüssen aus multitemporalen und multimodalen Leitfähigkeiten für die Monitoringpunkte, berechnet aus einem 10 m Radius um den Monitoringpunkt, und die abgeleiteten Korrekturfaktoren für die potentiellen Wurzeltiefgänge abgebildet.

Tabelle 28: Abschätzung von Wasserbilanzen und Berechnung der Korrekturfaktoren für Wurzeltiefgänge

Table 28: Prediction of the water balance and calculation of the rooting depth correction factors

Untersuchungspunkt	Bodenwasserstatus	Mittlere normierte ECa (%)	Standardabweichung der normierten ECa (%)	Zu-/Abschlag zu Wurzeltiefgang nach KA4 (%)
1	trocken/frisch	31	42	+30
2	frisch/feucht	42	77	0
3	nass	38	51	-10
4	trocken	23	37	-10
5	extrem nass	67	100	-20 – -40
6	nass	33	49	-10

Aus der mittleren Leitfähigkeit und der Standardabweichung der Messungen wurden Korrekturfaktoren bestimmt, die dann genutzt wurden, um die klassischen Pedotransferfunktionen zu modifizieren.

In Abbildung 72 ist die Regression von korrigierten Wurzeltiefgängen und Felddaten abgebildet.

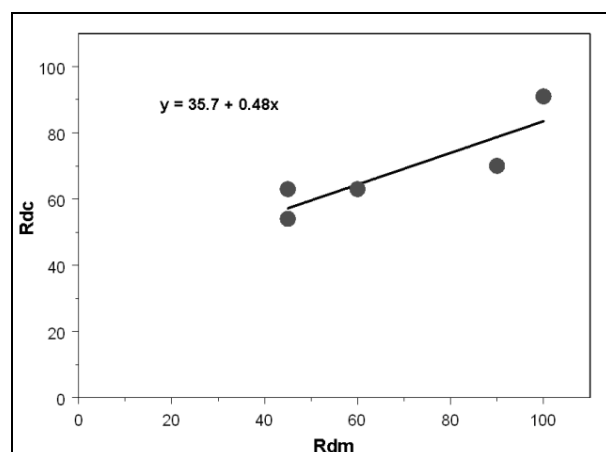


Abbildung 72: Regression zwischen korrigierten Wurzeltiefgängen (Rdc) und gemessenen Tiefgängen (Rdm)

Figure 72: Regression between predicted (Rdc) and measured rooting depth (Rdm)

Die Korrelation zwischen den korrigierten und den gemessenen Wurzeltiefgängen beträgt 0.8. Die Korrelation der abgeschätzten Wurzeltiefgänge, kalkuliert mit den statischen Pedotransferfunktionen für geschichtete Profile, zu den gemessenen Wurzeltiefgängen beträgt im Gegensatz dazu nur 0.2.

Um eine Karte der potentiellen Wurzeltiefgänge zu erhalten, wurden für die Trainingsareale aus den Bodendaten die effektiven Durchwurzelungstiefen berechnet und entsprechend den Vorgaben in Tabelle 28 modifiziert. Für Mischsignaturen wurden Mittelwerte aller Kombinationen kalkuliert. Das Ergebnis ist in Abbildung 73 dargestellt.

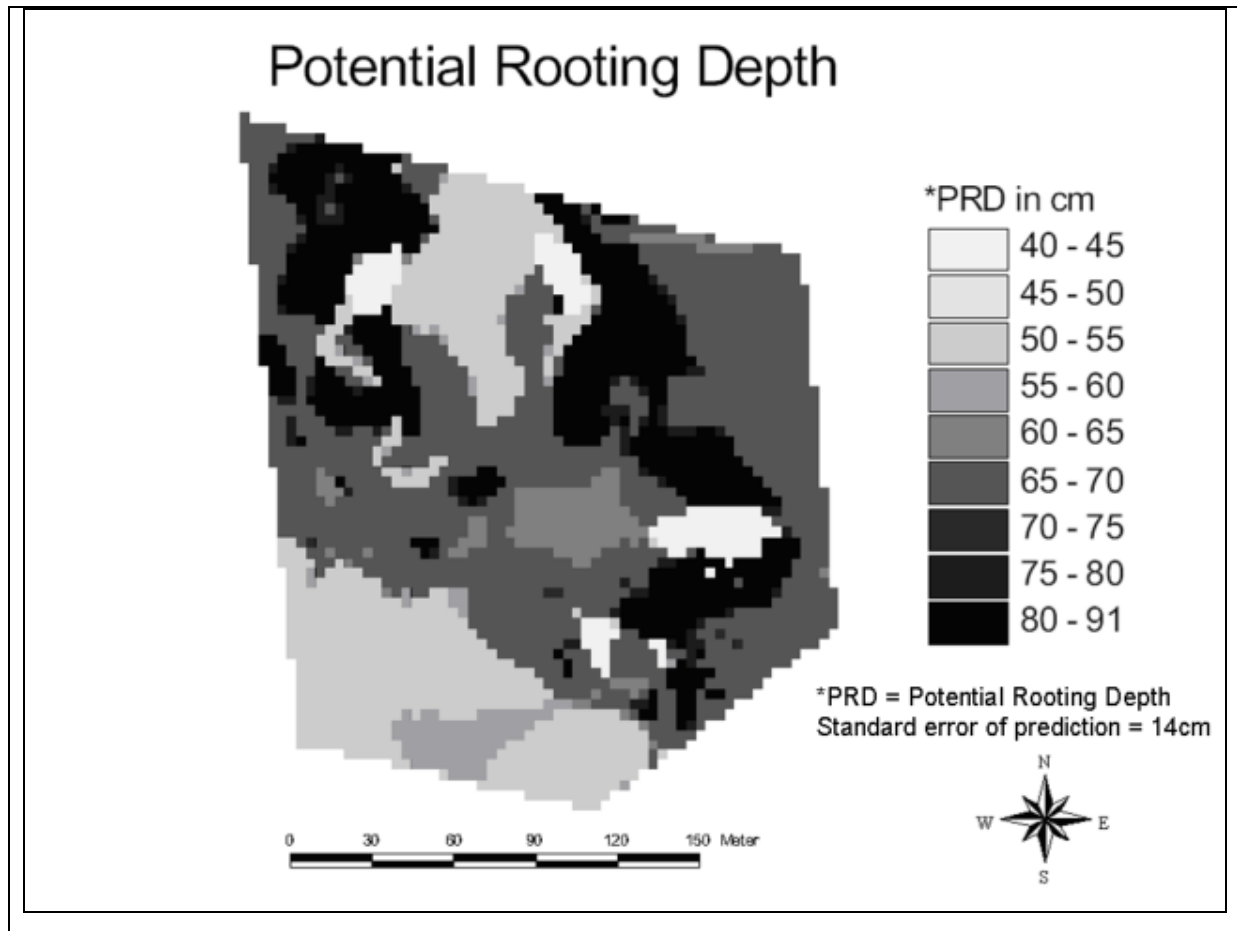


Abbildung 73: Karte der Durchwurzelungstiefe für den Versuchsschlag Rabenberg (Groß Twülpstedt)

Figure 73: Map of the predicted rooting depth of the trial field Rabenberg (Groß Twülpstedt)

3.4.3.6 Modellierung von Wurzelwachstum

Die Ergebnisse der Modellierung von Wurzelwachstum werden hier exemplarisch für den Schlag Finkenherd des Betriebes WIMEX dargestellt.

Die gemessenen Wurzellängendichten korrelierten gut mit den von CERES-Wheat berechneten Werten ($R^2 = 0.81$), allerdings wurden die Wurzellängendichten vom Modell systematisch um 17 % unterschätzt (Abbildung 74).

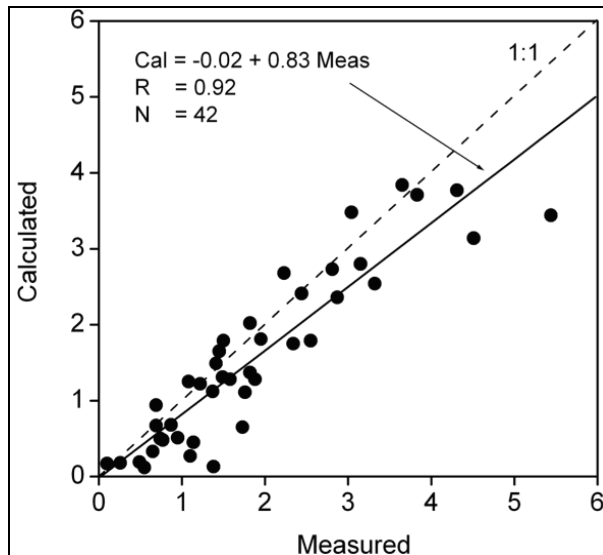


Abbildung 74: Korrelation zwischen simulierten (calculated) und gemessenen (measured) Wurzellängendichten für den Schlag Finkenherd, Wulfen

Figure 74: Correlation between calculated and measured root-length densities for the trial field Finkenherd, Wulfen

Am stärksten trat die Unterschätzung in der Beprobungstiefe von 0 – 15 cm Tiefe auf: Hier lagen die vom Modell berechneten Werte 1.3 bis 3.8 cm cm^{-3} unter den gemessenen Werten. Für die übrigen Beprobungstiefen waren die Unterschiede zwischen Messung und Kalkulation nicht ganz so deutlich, überschritten jedoch meist Differenzen von 0.5 cm cm^{-3} . In CERES-Wheat ist das Bodenwasser einer der Hauptfaktoren, die das Wurzelwachstum unter gegebenen Bedingungen für das oberirdische Wachstum beeinflussen. Aus diesem Grund wurden zeitlich hoch aufgelöst gemessene Bodenwasserdaten mit kalkulierten Daten von CERES-Wheat verglichen (siehe Kapitel 3.4.3.4). Die Ergebnisse dieses Vergleichs führen aufgrund der Modellstruktur von CERES-Wheat zu dem Schluss, dass die deutliche Unterschätzung des Wurzelwachstums sehr stark durch die unzulängliche Schätzung des Bodenwassergehaltes bedingt ist.

3.4.4 Diskussion

Im Rahmen des Projektbereiches 3 wurden für die Entscheidungsfindung bei Precision Farming Eigenschaften von Standorten und Pflanzenbeständen integrativ analysiert. Da Wurzelwachstum ein Prozess ist, der sehr stark beeinflusst, in welchem Maße Pflanzen Bodenressourcen wie Nährstoffe und Wasser in Wachstum und Ertrag umwandeln (LAMBERS et al. 1998), ist dieser Prozess von großer Bedeutung für die landwirtschaftliche Praxis und eine wichtige Kenngröße zur Charakterisierung eines Standortes. Aus diesem Grund, und weil unter- und oberirdisches Wachstum folglich nicht isoliert voneinander betrachtet werden kann, lag der Fokus des TP 16 auf der Untersuchung von Wurzelwachstum.

Neben variablen Einflussgrößen wie z. B. Wassergehalt oder Eindringwiderstand, gibt es natürlich quasikonstante Einflussgrößen, die sich auf das Wurzelwachstum auswirken. Zu diesen quasikonstanten Größen gehören z. B. die Gehalte der Korngrößenfraktionen (Sand, Schluff und Ton) und die Bodendichte. Um Aussagen darüber treffen zu können, welche der Einflussgrößen die stärkste Auswirkung auf die Ausprägung des Wurzelwachstums haben, wurde eine Analyse der Daten mit dem Ver-

fahren der Schrittweisen Regression durchgeführt (vgl. auch Kapitel 3.4.2.3.2). Für den Versuchsschlag Finkenherd in Sachsen-Anhalt ergab sich aus dieser Analyse, dass 73 % der Varianz des Wurzelwachstums durch Schluffgehalt, Sandgehalt und Bodentiefe erklärt werden können (siehe auch Kapitel 3.4.3.2). Dieses Ergebnis ist für diesen Versuchsschlag durchaus kausal nachvollziehbar, da der Schlag im sachsen-anhaltinischen Sandlössgürtel liegt und daher durch wechselnd mächtige Sandlössauflagen geprägt ist. Für den Schlag Rabenberg in Niedersachsen ergab die Schrittweise Regression, dass Eindringwiderstand und Tiefe den größten Einfluss auf das Wurzelwachstum haben. Über diese beiden Größen konnten 90 % der Varianz des Wurzelwachstums erklärt werden (siehe Kapitel 3.4.3.2). Der Zusammenhang zwischen Tiefe und Wurzellängendichte in beiden Fällen war zu erwarten und kann dadurch erklärt werden, dass die Wurzellängendichten generell mit zunehmender Tiefe abnehmen.

Aufgrund der oben beschriebenen Zusammenhänge zwischen unter- und oberirdischer Biomasseentwicklung ist es sinnvoll, das Wurzelwachstum in Wachstums- und Ertragssimulationsmodellen stärker zu berücksichtigen. Pflanzensimulationsmodelle sind potenziell in der Lage, die komplexen Antworten der Pflanzen auf die Variabilität ihrer physikalischen, chemischen und biologischen Umgebungen abzubilden (WALLACH et al. 2006) und können daher als Entscheidungshilfe zur Optimierung und Anpassung des Bestandesmanagements an diese veränderlichen Bedingungen dienen. DSSAT (Decision Support System for Agricultural Technologie Transfer) gehört zu dieser Kategorie von Modellen. Seine Modellkomponente CERES-Wheat, das eine lange Entwicklungsgeschichte hat und weltweit erfolgreich unter verschiedensten Umweltbedingungen angewandt wurde (OTTER-NACKE et al. 1986, RITCHIE et al. 1988, PORTER et al. 1993, JAMIESON et al. 1998, TSUJI et al. 1998, GHAFARI et al. 2001, JONES et al. 2003, TIMSINA & HUMPHREYS 2006), ist im Rahmen des TP 16 zur Simulation von Wurzelwachstum genutzt worden. Eine kürzlich veröffentlichte Studie zur Validation des CERES-Modells unter norddeutschen Klimabedingungen (LANGENSIEPEN et al. 2008) ergab, dass die Vorhersagequalität des Modells in erster Linie durch die Niederschlagsvariabilität beeinflusst wird. Diese wiederum bestimmt die Simulation von Bodenwasserverteilung, Wurzellängendichte und die Reaktion der Pflanzen auf Wasserstress (RITCHIE 1998). Das Ausmaß der Stressantwort ist abhängig von der Änderung der berechneten Wurzellängendichten, die wiederum mit der Berechnung der Bodenwasserverteilung korrelieren (RITCHIE et al. 1988). Die Vorhersagequalität von CERES-Wheat ist daher stark durch die Validation der Berechnung der Bodenwasserverteilung und deren Effekt auf die Kalkulation von Wurzellängendichten bedingt. Wie in Kapitel 3.4.3.4 beschrieben, korrelierten die gemessenen und die von CERES-Wheat berechneten Bodenwassergehalte nur relativ schwach ($R^2 = 0.58$). Das Modell unterschätzte den Bodenwassergehalt unter Bedingungen nahe Feldkapazität erheblich und überschätzte die Gehalte in Bereichen geringerer Wassergehalte (Abbildung 67). Der Vergleich zweier bezüglich der Wasserversorgung sehr unterschiedlicher Standorte (nFK ≈ 260 mm bzw. ≈ 130 mm) zeigt, dass das Modell das Ausmaß der Wassergehaltsänderungen über die Zeit überschätzt (Abbildung 68 und Abbildung 69). Ein Vergleich der kalkulierten Bodenwassergehalte mit Niederschlagsdaten ergab einen starken Zusammenhang zwischen beiden. Diese Ergebnisse stimmen mit denen anderer Studien überein, in denen von einem starken Zusammenhang der Simulationsgenauigkeit von CERES-Wheat und der Niederschlagsvariabilität (LANGENSIEPEN et al. 2008) und von einer stärkeren Variabilität der simulierten Bodenwassergehalte als der gemessenen Werte berichtet wird (EITZINGER et al. 2004). Eine Erklärung für die Überschätzung dieser Variabilität könnte sein, dass CERES offenbar die Infiltration überschätzt (SADLER et al. 2000). Sowohl die Überschätzung der zeitlichen Änderung der Bodenwassergehalte als auch die fehlerhafte Schätzung der Gehalte unter extremen Bedingungen (nicht limitierend und stark limitierend) beeinflussen die Schätzung der Wurzellängendichten aufgrund der oben beschriebenen Zusammenhänge im Modell erheblich. Die Korre-

lation zwischen kalkulierten und gemessenen Werten war zwar gut ($R^2 = 0.81$), allerdings wurden die Wurzellängendichten vom Modell systematisch um 17 % unterschätzt (Abbildung 74). Die stärkste Unterschätzung trat im Tiefenbereich 0 – 15 cm auf, wobei die berechneten Werte 1.3 bis 3.8 cm cm⁻³ unter den gemessenen Werten lagen. Bezüglich der übrigen Beprobungstiefen überschritten die Unterschiede zwischen Messung und Kalkulation meist Differenzen von 0.5 cm cm⁻³. Neben einer Studie von SAVIN et al. (1994), die ebenfalls von einer starken Unterschätzung der Wurzellängendichten in den oberen 10 cm berichtet, beschreiben auch andere Studien Unstimmigkeiten in der Schätzung der Wurzellängendichte durch CERES (JAMIESON et al. 1998, EITZINGER et al. 2004). Da Wurzelwachstum, wie schon erwähnt, nicht isoliert von oberirdischen Wachstumsprozessen betrachtet werden kann, müssten sich die Änderungen des Bodenwassergehaltes auch in der Kalkulation von Blattflächenindex und Biomasse widerspiegeln. Der Vergleich von gemessenen und kalkulierten Blattflächenindizes ergab, dass der Effekt der Bodenwassergehaltsänderung auf Blattflächenindex und Wurzelwachstum seltsamerweise unterschiedlich ist. Eine Überprüfung der Routine, die die Effekte von Bodenwassergehaltsänderungen auf die Quellen-Senken-Verteilung berechnet, scheint daher sinnvoll.

CERES-Wheat war zwar in der Lage, die temporalen Änderungen des Bodenwassergehaltes und deren Effekt auf die Wurzellängendichte (und den Blattflächenindex) ungefähr abzubilden, die Vorhersage der absoluten Werte war jedoch nicht zufriedenstellend. Diese schwache Simulationsqualität auf Punktebene ist nicht ausreichend für eine hochqualitative Extrapolation, weshalb eine Unterstützung der Anwendung des aktuellen CERES-Modells im Kontext von Precision Farming ungeeignet erscheint.

Die Vorhersagequalität von Simulationsmodellen und damit auch die Qualität der Interpolation zwischen den Simulationspunkten ist stark von Qualität und Menge der eingegebenen Daten abhängig: Je mehr qualitativ hochwertige Felddaten für die Simulation zur Verfügung stehen, desto besser kann die Wirklichkeit abgebildet werden. Die Bereitstellung von hochauflösenden Boden-Landschaftsdaten spielt daher eine große Rolle. Umfangreiche geostatistische Untersuchungen zeigen jedoch, dass aufgrund der kleinräumigen Heterogenität ausreichende Probenahmedichten für eine direkte Interpolation mit praxisrelevantem Aufwand nicht zu realisieren sind (FROGBOCK et al. 1999, McBRATNEY & PRINGEL 1997, VIERA 1999). Daher sind effiziente Methoden zur Erhebung und Bereitstellung von hochauflösenden Boden-Landschaftsdaten und möglichst nicht invasiven Erhebungsverfahren notwendig. Im Rahmen des TP 16 wurde die Dempster-Shafer Technik genutzt, um Bodenparameter in ihrer räumlichen Verteilung zu modellieren (DEMPSTER 1966, DEMPTER 1969, SHAFER 1976). Die aus dieser Theorie erhaltenen Erkenntnisse über Bodenmuster können als Eingangsgrößen für die dynamische Modellierung genutzt werden. Ein nicht invasives Verfahren zur hochauflösenden Erhebung von Daten ist die Messung der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens, aus der z. B. Rückschlüsse über den Tongehalt oder, bei multitemporaler und multimodaler Erhebung, über die Austrocknungsdynamik des Bodens gezogen werden können. Im Rahmen des TP 16 wurde zusätzlich ein deduktiver Ansatz entwickelt, bei dem multitemporal und multimodal erfasste elektrische Leitfähigkeiten die Eingangsdaten für die räumliche Modellbildung sind und in dem die statischen Pedotransferfunktionen zur Abschätzung von Durchwurzelungstiefen für geschichtete Profile durch die Einbeziehung diffuser lateraler Wasserflüsse nach oben bzw. unten korrigiert (Tabelle 28) und so eine verbesserte Vorhersagegüte von Wurzeltiefgängen erzielt wird. Die Korrelation zwischen korrigierten und gemessenen Wurzeltiefgängen beträgt 0.8, die zwischen den abgeschätzten und gemessenen Wurzeltiefgängen im Gegensatz dazu nur 0.2 (Abbildung 72). Um eine Wurzeltiefgangskarte für den gesamten Schlag zu erhalten (siehe Abbildung 73), wurde die effektive Durchwurzelungstiefe für die anhand von Bodendaten festgelegten Trainingsareale berechnet und durch Zu- oder Abschläge aufgrund diffuser lateraler

Wasserflüsse modifiziert, wobei für Mischsignaturen Mittelwerte aller Kombinationen kalkuliert wurden.

Danksagung:

Wir möchten an dieser Stelle dem BMBF für die finanzielle Unterstützung dieses Projektes danken. Weiterhin gilt unser Dank auch den Kollegen und Kolleginnen aus der Projektkoordination, die dieses große Verbundprojekt routiniert und professionell geleitet haben und immer mit Rat und Tat zur Verfügung standen sowie den Kollegen und Kolleginnen der zahlreichen Teilprojekte für die hervorragende Zusammenarbeit. Auch möchten wir uns an dieser Stelle ganz besonders bei Dr. Werner für sein Engagement in *pre agro* I und *pre agro* II bedanken.

Literatur

- AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Aufl., BGR, Hannover, 392 Seiten.
- BACKHAUS, K., B. ERICHSON, W. PLINKE, C. SCHUCHARD-FISCHER & R. WEIBER (1987): Multivariate Analysemethoden. Springer-Verlag, Heidelberg, 591 Seiten.
- BEHRENS, T., H. FÖRSTER, T. SCHOLTEN, U. STEINRÜCKEN, E.-D. SPIES & M. GOLDSCHMITT (2005): Digital Soil Mapping using Artificial Neural Networks. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 168: 21 – 33.
- BEHRENS, T. & T. SCHOLTEN (2005): Soil attribute and spatial trends – a comparative study on algorithms and attributes. In: Grunewald, S. [Ed.]: Biannual meeting of the Commission 1.5 Pedometrics: Book of abstracts, Naples, USA, p.3.
- DEMPSTER, A.P (1966): New methods for reasoning towards posterior distributions based on sample data. *Annals of Mathematical Statistics* 38: 325-329.
- DEMPSTER, A.P. (1969): Upper and lower probability interferences for families of hypotheses with monotone density ratios. *Annals of Mathematical Statistics*, 40: 953 – 969.
- EASTMAN, J.R. (2003): Idrisi Killimanjaro. Clark labs for cartographic technology and geographic analysis. Clark University, Worcester, Madison, USA.
- EITZINGER, J., M. TRNKA, J. HÖSCH, Z. ZALUD & M. DUBROVSKÝ (2004): Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. *Ecol. Modelling* 171, 223 – 246.
- FROGBOCK, Z., M. OLIVER, M. SALAHI & R. ELLIS (1999): Comparing the relation in the spatial variation of soil and crop attributes. In: Stafford, J.V. [Ed.]: Precision Agriculture 99: Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture, Odense, Denmark, pp. 397 – 405.
- GHAFFARI, A., H.F. COOK & H.C. LEE (2001): Simulating winter wheat yields under temperate conditions: exploring different management scenarios. *European Journal of Agronomy* 15, 231 – 240
- GORDON, J. & E.H. SHORTCLIFFE (1985): A method for managing evidential reasoning in hierarchical hypothesis space. *Artificial Intelligence*, 26: pp. 323 – 357.
- HÜTTNER, M. & U. SCHWARTING (2002): Grundzüge der Marktforschung. 7. Auflage, Wissenschaftsverlag GmbH, Oldenburg, S. 248 – 249, 600 Seiten.

- HERBST, R. (2002): Bodenschätzung, geoelektrische Sondierung und pedostatistischer Modellierung als Basis von digitalen Hof-Bodenkarten im Präzisen Landbau. Schriftenreihe Inst. f. Pflanzenernährung und Bodenkunde, Universität Kiel, Nr. 60.
- HERBST, R. & J. LAMP (2006): Precise Soil Texture Inventory by an On-the-go Sensor EM38. 18th World Congress of Soil Science, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- HERBST, R., M. LANGENSIEPEN & A. SCHULTE-EICKHOLT (in prep.): A GIS-based, spatial approach of predicting potential root growth using Dempster-Shafer theorem by multitemporal and multimodal captured conductivity data. Eingereicht für Special Issue von Geoderma zur Pedometrics Tagung 2007 in Tübingen
- IMAGE PROCESSING TOOLBOX FOR USE WITH MATLAB – USER’S GUIDE (MATH WORKS INC.): <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/images/> (letzter Zugriff: Dez. 2007)
- ISAAKS, E. & R.M. SRIVASTAVA (1991): An introduction to applied Geostatistics. Oxford University Press, New York, 561 Seiten.
- JAMIESON, P.D., J.R. PORTER, J. GOUDRIAAN, J.T. RITCHIE, H. KEULEN & W. STOL (1998): A comparison of the models AFRWHEAT2, CERES-Wheat, Sirius, SUCROS2 and SWHEAT with measurements from wheat grown under drought. Field Crops Research 55, 23 – 44.
- JONES, J. W., G. HOOGENBOOM, C. PORTER, K. BOOTE, W. BATCHELOR, L.A. HUNT, U. SINGH, A. GIJSMAN & J.T. RITCHIE (2003): The DSSAT cropping system model. European Journal of Agronomy 18, 235 – 265.
- LAMBERS, H., F.S. CHAPIN III & T.L. PONS (1998): Plant Physiological Ecology. Springer, New-York, 540 Seiten.
- LAMP, J., J. HATJE; R. HERBST, & G. REIMER (2002): Dokumentation zum Kieler Boden-Informationssystem (KiBIS), AG Bodeninformatik, Kiel.
- LANGENSIEPEN, M., H. HANUS, P. SCHOOP & W. GRÄSLE (2008): Validating CERES-wheat under North-German environmental conditions. Agricultural Systems (In print).
- MALLOWS, C.L. (1973): Some Comments on Cp. Technometrics 15, 661.
- McBRATNEY, A.B. & M.J. PRINGEL (1997): Spatial variability in soil-implications for precision agriculture. In: Stafford, J.V. [Ed.]: Precision Agriculture. Spatial variability in crop and soil, Oxford, 1, pp. 3 – 31.
- MEIRVENNE, M., L. COCKX & U. VITHARANA (2005): Pedometrics in Transition: From too few to too many data? In: Grunewald, S. [Ed.]: Biannual meeting of the Commission 1.5 Pedometrics: Book of abstracts, Naples, USA, p.81.
- MINASNY, B., A.B. McBRATNEY & B.M. WHELAN (2005): VESPER version 1.62. Australian Centre for Precision Agriculture, McMillan Building A05, The University of Sydney, NSW 2006. (<http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa>), letzter Aufruf: 25.01.2008.
- NIBIS-METHODENDATENBANK (1999): Dokumentation zur Methodendatenbank des Fachinformationssystems Bodenkunde (FIS Boden). Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover, Deutschland.
- OTTER-NACKE, S, D.C. GOODWIN & J.T. RITCHIE (1986): Testing and Validation the CERES-Wheat Model in Diverse Environments. AGRISTARS YM-15-00407, JSC-20244, Technical Report (Johnson Space Center Houston, Houston, USA).

- POLOMSKI, J. & N. KUHN (2002): Root research methods. In: Waisel, Y., A. Eshel & U. Kafkafi [Eds]: Plant roots: The hidden half, pp. 295 – 321. Marcel Dekker, New York, 1120 Seiten.
- PORTER, J.R., P.D. JAMIESON & D.R. WILSON (1993): Comparison of the wheat simulation models AFRCWHEAT2, CERES-Wheat and SWHEAT for nonlimiting conditions of crop growth. *Field Crops Research* 33, 131 – 157.
- RICHNER, W., M. LIEDGENS, H. BÜRGI, A. SOLDATI, A. & P. STAMP (2000): Root image analysis and interpretation. 305 – 330. In Smit, A.L., A.G. Bengough, C. Engels, M. van Noordwijk, S. Pel-lerin & S.C. van de Geijn [Eds.]: *Root Methods – A Handbook*. Springer, Berlin Heidelberg New York, 587 Seiten.
- RITCHIE, J.T., D.C. GODWIN & S. OTTER-NACKE (1988): *CERES-Wheat*. University of Texas Press, P.O. Box 7819, Austin, Texas, USA.
- RITCHIE, J.T. (1998): Soil Water Balance and Plant Water Stress. In: Tsuji, G.Y., G. Hoogenboom & P.K. Thornton [Eds.]: *Understanding Options for Agricultural Production*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Niederlande, S. 45-58
- SADLER, E.J., B.K. GERWIG, D.E. EVANS, W.J. BUSSCHER & P.J. BAUER (2000): Site-specific model-ling of corn yield in the SE costal plain. *Agricultural Systems* 64, 189-207
- SAVIN, R., A.J. HALL & E.H. SATORRE (1994): Testing the root growth subroutine of the CERES-Wheat model for two cultivars of different cycle length. *Field Crops Research* 38, 125-133
- SHAFER, G. (1976): *A Mathematical Theory of Evidence*. Princeton University Press, Princeton, USA.
- SMIT, A.L., J.F.C.M. SPRANGERS, P.W. SABLİK & J. GROENWOLD (1994): Automated measurement of root length with a three-dimensional high-resolution scanner and image analysis. *Plant and Soil* 158, 145 – 149.
- SOMMER, M., M. WEHRHAN, M. ZIPPRICH, U. WELLER, W. CASTELL, S. EHRICH, B. TANDLER & T. SELIGE (2003): Hierarchical data fusion for mapping soil units at field scale. *Geoderma*, 112, 179 – 196.
- SRINIVISAN, A. & J.A. RICHARDS (1990): Knowledge-based techniques for multi-source classification. *International Journal of Remote Sensing*, 11 (3), 505 – 525.
- TENNANT, D. (1975): A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecol.* 63, 995 – 1001.
- TIMSINA, J. & E. HUMPHREYS (2006): Performance of CERES-Rice and CERES-Wheat models in rice-wheat systems: A review. *Agricultural Systems* 90, 5 – 31.
- TSUJI, G.Y., G. HOOGENBOOM & P.K. THORNTON (1998). *Understanding Options for Agricultural Production*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 399 Seiten.
- VIERA, S. (1999): Geostatistical applications in mapping of crop yield and soil properties. In: Stafford, J.V. [Ed.]: *Precision Agriculture 99: Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture*, Odense, Denmark, pp. 365 – 373.
- WALLACH, D., D. MAKOWSKI & J.W. JONES (2006): *Working with Dynamic Crop Models*. Elsevier, Dordrecht, 450 Seiten.

Anschrift der Autoren:

Prof. Dr. agr. Ruprecht Herbst

Humboldt-Universität zu Berlin
Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät
Institut für Pflanzenbauwissenschaften
Invalidenstr. 42
10115 Berlin, Germany
Telefon: (030) 2093-6402
Fax: (030) 2093-8751
E-Mail: r.herbst@agrار.hu-berlin.de

Prof. Dr. Matthias Langensiepen

Humboldt-Universität zu Berlin
Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät
Institut für Pflanzenbauwissenschaften
Invalidenstr. 42
10115 Berlin, Germany
Telefon: (030) 2093-9044
E-Mail: matthias.langensiepen@agrار.hu-berlin.de

M.Sc.Agr. Anna Schulte-Eickholt

Humboldt-Universität zu Berlin
Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät
Institut für Pflanzenbauwissenschaften
Invalidenstr. 42
10115 Berlin, Germany
Telefon: (030) 2093-9041
E-Mail: schulte-eickholt@agrار.hu-berlin.de

3.5 Einsatz von Nahsensorikmethoden zur Erfassung von Bestandeszuständen unter dem Einfluss von Pflanzenkrankheiten

Use of leaf-based sensor technologies to assess the effects of various diseases on crop growth and development

Kerstin Gröll, Simone Graeff-Hönninger & Wilhelm Claupein

Zusammenfassung

Ziel moderner landwirtschaftlicher Produktionssysteme ist, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren, um gleichzeitig die Belastungen für die Umwelt zu reduzieren bzw. Produktionskosten zu senken. Ein teilflächenspezifisches Pflanzenschutzmanagement würde die Option eröffnen Pflanzenschutzmittel nur an den Stellen im Feld auszubringen, an denen Pflanzenkrankheiten in einem nicht mehr tolerierbaren Umfang auftreten, bzw. hohe Ertragseinbußen die unabdingbare Folge eines hohen Schaderregeraufkommens wären. Aktuelle Entwicklungen im Bereich optische Sensoren zeigen, dass Blattkrankheiten unter Feldbedingungen erkannt werden können (WEST et al. 2003). Ziel des Teilprojektes war daher, in einem ersten Schritt die für eine sensorgestützte Identifizierung von Pflanzenkrankheiten notwendigen Grundlagen zu entwickeln, Wellenlängenbereiche zu identifizieren in denen eine eindeutige Detektion unterschiedlicher Erreger möglich ist und darauf aufbauend mögliche Kalibrierungen für die Realisierung einer praxistauglichen Onlinetechnik zu erstellen. Hierzu wurde in Gewächshaus- und Feldversuchen der Einfluss der Krankheiten *Erysiphe graminis* (Mehltau), *Septoria tritici* (Blattdürre) und *Pseudocercospora herpotrichoides* (Halmbruch) auf die Reflexion von Winterweizen untersucht. Zur Messung der Reflexion wurden folgende Sensoren verwendet: Digitale LEICA S1 Pro Kamera, Field Spec® Hand Held, Yara N-Sensor und AVIS Sensor.

Die Ergebnisse aus den Gewächshausversuchen zeigten, dass für die Krankheit Mehltau die Wellenlängenbereiche 516-540 nm und 540-600 nm zur frühen Identifizierung geeignet sind. In diesen Wellenlängenbereichen konnte Mehltau bei einem sehr frühen Befall von 0,5 Pusteln/cm² erkannt werden. Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass der sichtbare Wellenlängenbereich besser geeignet war als der Infrarotbereich. Des Weiteren konnte für diese Bereiche mit $r^2 = 0,87$ (516-540 nm) und $r^2 = 0,82$ (540-600 nm) eine enge Beziehung zwischen Befall und Reflexionsänderung erzielt werden, die eine Quantifizierung des Mehлтаubefalls ermöglichte. Für die Krankheiten Septoria und Halmbruch hingegen konnten in den Gewächshausversuchen keine Wellenlängenbereiche identifiziert werden, da hier eine Mischinfektion bzw. ein zu geringer Befall vorlag, um Reflexionsänderungen eindeutig den Krankheiten zuzuordnen.

In den Feldversuchen konnte zusammenfassend festgestellt werden, dass eine Identifikation von Mehltau unter Feldbedingungen mit der digitalen LEICA S1 Pro Kamera und dem Field Spec® Hand Held ab einem Befall > 5 % möglich ist. Die Reflexion änderte sich im sichtbaren und im infraroten Wellenlängenbereich. Die Ergebnisse der Feldversuche deckten sich damit mit denen der Gewächshausversuche. Sowohl in den Feldversuchen als auch in den Gewächshausversuchen konnten Unterschiede zwischen der Kontrolle und den inokulierten Pflanzen im sichtbaren Wellenlängenbereich um 550 nm festgestellt werden. Des Weiteren ließ sich feststellen, dass Reflexionsänderungen unter Septoriabefall vor allem im infraroten Bereich auftraten. Wie auch in anderen Versuchen bestätigt, ließ sich Septoria in einem frühen Infektionsstadium bei einem Befall > 3 % erkennen. Unter Halmbruch hingegen konnten zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede zwischen der Kontrolle und den Inokulations-

stufen 50 % und 100 % festgestellt werden. Jedoch war erkennbar, dass zu Beginn die inokulierten Varianten eine höhere Reflexion aufwiesen und danach eine geringere Reflexion im Vergleich zur Kontrolle hatten. In den Versuchen mit Halmbruch trat allerdings nicht nur ein Befall mit Halmbruch auf, sondern auch mit Mehltau und Septoria, so dass von einer Mischinfektion ausgegangen werden muss und die gemessenen Reflexionsänderungen damit nicht ursprünglich auf einen Befall mit Halmbruch zurückgeführt werden können. Des Weiteren kann unter einem Befall mit Halmbruch wahrscheinlich nur eine sekundäre Ursache der Reflexionsänderung aufgrund von z.B. auftretenden Wasser- oder Nährstoffmangel in den Blättern gemessen werden, da der Infektionsort der Halmbasis vom eigentlichen Messort der Blätter bzw. des Bestandes weit entfernt ist.

Der Einsatz bereits in der Praxis verfügbarer Sensoren und die Überprüfung deren Eignung zur Identifizierung von Pflanzenkrankheiten zeigt, dass sowohl der N-Sensor als auch der AVIS Sensor an keinem Termin signifikante Unterschiede in der Bestandesreflexion aufzeigen konnten. Eine mögliche Erklärung ist die geringe räumliche Auflösung dieser Sensoren, wodurch es möglicherweise zu einer Überlagerung von Reflexionsspektren gesunder und kranker Pflanzen kommen kann. Bei einem sehr geringen Infektionsdruck im Bestand müsste für den Einsatz dieser Sensoren eine höhere räumliche Auflösung ähnlich der der Sensoren Field Spec® oder digitale Leica S1 Kamera überprüft werden.

Die Untersuchungen zur räumlichen und zeitlichen Ausbreitung von Pflanzenkrankheiten zeigten über alle drei Versuchsjahre in allen drei Ertragserwartungszonen einen nur sehr geringen und über allen Zonen gleichmäßigen Krankheitsbefall mit *Septoria tritici* und *Drechslera tritici-repentis*. Aus diesem Grund konnten keine Rückschlüsse von den heterogenen Bodenbedingungen auf die Ausbreitung und das räumliche und zeitliche Auftreten von Pflanzenkrankheiten gezogen werden.

Zur Analyse der Auswirkung eines Krankheitsbefalls auf den Ertrag wurde in einem ersten theoretischen Ansatz das Pflanzenwachstumsmodell CERES-Wheat mit den Sensordaten gekoppelt. Hierzu wurden sogenannte 'coupling points' (e.g. CARBO = Menge an produzierten Assimilaten) für unterschiedliche Pflanzenorgane definiert. Über diesen Ansatz konnte die angestrebte Kopplung aus Modell und Sensormessungen erzielt werden.

Summary

The aim of modern agricultural production systems is to minimize the use of fungicides in order to reduce the environmental impact and to lower production costs. Disease control could be more efficient if the patches within fields could be identified and fungicides applied only to the infected areas. Recent developments in optical sensor technologies have the potential to enable the direct detection of foliar diseases under field conditions (WEST et al. 2003). In the context of this subproject a sensor technology for the identification and quantification of plant diseases ought to be developed. The aim of this study was in a first step to develop the basics for the identification of different plant diseases by reflectance measurements and to set up calibrations for the development of a practical online technique. Therefore the influence of *Erysiphe graminis* (powdery mildew), *Septoria tritici* (blotch disease) and *Pseudocercospora herpotrichoides* (wheat eyespot) on reflectance of wheat plants and canopy was analyzed in greenhouse and field studies. For the measurement of the reflectance the following sensor systems were used: Digital LEICA S1 Pro Camera, Field Spec® Hand Held, Yara N-Sensor and AVIS Sensor.

The results of the greenhouse experiments showed that the wavelength ranges 516-540 nm and 540-600 nm were suitable to detect an early infection of powdery mildew. Powdery mildew could be identified at an early infection level of 0.5 pustules/m². Also it was evident that the visible wavelength

range was better suited for the detection of powdery mildew than the infrared wavelength range. A quantification of the infection level with powdery mildew was with a $r^2 = 0.87$ (516-540 nm) and $r^2 = 0.82$ (540-600 nm) also possible. For the diseases septoria leaf blotch and wheat eyespot an identification of wavelength ranges was not possible in the greenhouse trials because of a mixture infection and the low infection level respectively.

In the field experiment an identification of powdery mildew under field conditions was possible at an infection level $> 5\%$ using the digital LEICA S1 Pro camera and the Field Spec® Hand Held device. Reflectance changes were observed both in the visible and in the infrared wavelength ranges. The results of the field experiments were similar to the results of the greenhouse experiments. Both in the greenhouse and in the field experiments reflectance changes between the control and the inoculated treatments could be obtained in the wavelength range around 550 nm. Also it was evident that reflectance changes under septoria leaf blotch appeared especially in the infrared wavelength ranges. Identification of septoria leaf blotch was possible at an infection level $> 3\%$. Wheat eyespot did not lead to significant differences between healthy and diseased plants at any time. However, reflectance changed slightly at the beginning leading to higher reflectance in the inoculated treatments when compared to the control. Because of a mixed infection with powdery mildew and septoria leaf blotch the results could not be related to an infection with wheat eyespot.

The N-Sensor as well as the AVIS sensor were not able at any time to show significant differences in the canopy reflectance, because of both a low spatial resolution (N-Sensor) and the low infection potential. It is assumed that reflectance of healthy plants overlapped the reflectance signature of the diseased plants. However, the results of this subproject indicated a considerable potential for a sensor based disease identification. Further research has to focus on the necessary scale of spatial resolution in combination with the level of disease infection.

Considering the results of the experiments on the temporal and spatial spread of plant diseases it is visible that in all three experiment years and in all three zones of yield expectation the infection with the plant diseases *Septoria tritici* and *Drechslera tritici-repentis* was very low and uniform over all three zones. On this account no conclusion from the heterogeneous soil conditions to the spread and temporal and spatial appearance of plant diseases could be done.

To analyse the consequences of a plant disease infection on yield the crop simulation model CERES-Wheat was coupled with the sensor data's. Therefore so called coupling points (e.g. CARBO = amount of produced assimilates) for different plant organs was defined. By this approach the aspired coupling of the model and the sensor data's could be achieved.

3.5.1 Einleitung und Problemstellung

a) aus fachwissenschaftlicher Sicht

Seit den Anfängen der Landwirtschaft stellen Pflanzenkrankheiten eine Hauptursache für Ertrags- und Qualitätsverluste bei der Kultivierung von Nutzpflanzen dar. Zu den herkömmlichen Methoden des Pflanzenschutzes gehört bei der Bekämpfung von Schadpilzen neben der Züchtung resistenter Sorten die Anwendung von Fungiziden. Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln beugt einerseits Pflanzenkrankheiten vor, andererseits belasten sie jedoch die Umwelt. Pflanzenschutzmittel werden heutzutage immer noch einheitlich auf einem Schlag ausgebracht trotz vieler Unterschiede im Boden, im Pflanzenbestand und dem Schaderregerdruck. Moderne Entwicklungen im Bereich der landwirtschaftlichen

Maschinentechnik haben es möglich gemacht, Pflanzenschutzmittel räumlich variabel auszubringen und ermöglichen es im Hinblick auf das Precision Pest Management (PPM) genau dort Fungizide einzusetzen, wo Pflanzenkrankheiten in einem nicht mehr tolerierbaren Umfang auftreten. Precision Farming Technologien haben das Potential den Einsatz von Fungiziden auf einzelne Teilflächen zu reduzieren und somit variable Kosten im Betrieb einzusparen sowie Umweltbelastungen zu minimieren. Grundlage für eine teilflächen-spezifische Applikation von Fungiziden ist jedoch die räumliche Erfassung der Pathogene. Derzeit sind keine praxisreifen Sensorsysteme verfügbar, die fahrzeuggestützt den Krankheitsbefall identifizieren und quantifizieren. Jedoch könnten praxisreife Sensorsysteme zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung wie das Crop Meter oder der Yara N-Sensor eventuell auch zur Detektion von Pflanzenkrankheiten eingesetzt werden. Im Sinne einer nachhaltigen Landwirtschaft ist es daher notwendig Sensorsysteme zu entwickeln, die eine räumlich differenzierte Identifizierung und Quantifizierung von Pathogenen und darauf aufbauend eine teilflächenspezifische Steuerung der Fungizidapplikation ermöglichen. Ziel dieses Teilprojektes war daher in einem ersten Schritt, die für eine sensorgestützte Identifizierung von Pflanzenkrankheiten notwendigen Grundlagen zu entwickeln, Wellenlängenbereiche zu identifizieren in denen eine eindeutige Detektion unterschiedlicher Erreger möglich ist und darauf aufbauend entsprechende Kalibrierungen zu erstellen. Die identifizierten Wellenlängenbereiche und erstellten Kalibrierungen sollen dann in einem weiteren Schritt in bestehende Sensorsysteme, z. B. Yara-N-Sensor, AVIS etc. integriert und auf ihre Anwendung für eine online-gestützte Nahsensorik für die landwirtschaftliche Praxis getestet werden.

b) aus Sicht des Gesamtprojektes

Ziel des gesamten Projektes ist, durch Precision Farming Technologien Voraussetzungen für eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaftlichen Landnutzung zu schaffen. Eine Entwicklung ist dann nachhaltig, wenn in der Produktion die standörtlichen Gegebenheiten, die ökologischen Sensitivitäten, die technologischen Möglichkeiten sowie die wirtschaftlichen Erfordernisse und die sozialen Ansprüche ziel- und sachgerecht als Ergebnis von Verhandlungen und iterativen Abwägungen mit den relevanten gesellschaftlichen Gruppen berücksichtigt werden. Ein solches Vorgehen erfordert bei der landwirtschaftlichen Produktion grundsätzlich eine Ausdehnung der Betrachtungsgrenzen auf die gesamte Wertschöpfungskette. Erst wenn in der Produktion abgestimmte Forderungen aus der Wertschöpfungskette berücksichtigt werden, bzw. deren Teilnehmer den Produktionsprozess nachvollziehen und ggf. rückkoppelnd beeinflussen können, sind die wesentlichen Elemente einer nachhaltigen Entwicklung der landwirtschaftlichen Landnutzung berücksichtigt. Für ein solches Vorhaben schafft die Technologie des Precision Farming zentrale Voraussetzungen, da sie es ermöglicht, die pflanzenbaulichen Maßnahmen spezifisch an standörtliche Potentiale, ökologische Sensibilitäten sowie Vorgaben zur Prozessqualität anzupassen. Aufgrund eines effizienteren Einsatzes von Betriebsmitteln können wirtschaftliche Vorteile entstehen. Zudem können mit dieser Technologie die Produktionsprozesse automatisch, kostengünstig, sicher und belastbar dokumentiert werden. Um dieses Ziel zu erreichen, sind insbesondere im Bereich des Managements von Pflanzenkrankheiten noch wesentliche Grundlagen und Entwicklungen seitens der Forschung und des anschließenden Transfers in die Praxis zu leisten. Aus der Sicht des Gesamtprojektes liefert das Teilprojekt daher einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung der Grundlagen für die sensorgesteuerte Identifizierung von Pflanzenkrankheiten und für die Übertragung der erzielten Ergebnisse in die landwirtschaftliche Praxis in Form geeigneter Empfehlungen für Sensortechnologien und Entscheidungsalgorithmen für einen gezielten Fungizideinsatz.

3.5.2 Material und Methoden

Kernziel des Teilprojektes war die Entwicklung einer sensorgestützten Methodik zur Identifizierung von Pflanzenkrankheiten mittels Reflexionsmessungen. Die Grundhypothese, die hierbei verfolgt wurde, war die Annahme, dass sich die Reflexion einer Pflanze in selektierten Wellenlängenbereichen stressspezifisch aufgrund von Pigment- sowie strukturellen Modifikationen ändert. Die verwendeten Sensortechniken beruhten auf der Messung der Reflexion der Pflanze unter kontrollierten Lichtverhältnissen sowohl in Feld- als auch in Gewächshausversuchen. Zum einen wurde die Reflexion mittels einer digitalen Kamera (LEICA S1 Pro, LEICA Kamera AG, Solms, Deutschland) und zum anderen mittels dem Field Spec® Hand Held (ASD, Inc. Boulder, CO, USA) gemessen. Bei der digitalen Kamera ermöglichte der Einsatz verschiedener Longpass-Filter (Maier Photonics, Manchester, VT, USA) die Aufspaltung des gesamten Tageslichtspektrums in einzelne kleinere Wellenlängenbereiche. Es wurden Blattscans in den Wellenlängenbereichen 380, 490, 510, 516, 540 und 600 nm sowie in den Infrarotbereichen 490, 510, 516, 540 und 600 IR durchgeführt. Die Blattscans wurden am letzten voll entwickelten Blatt vorgenommen und anschließend im L*a*b*-Farbraum mit der Software Adobe Photoshop® 5.0 ausgewertet. Der L*a*b*-Farbraum ist ein drei-dimensionaler Farbraum, wobei der Parameter a* den Grün/Rot-Anteil und der Parameter b* den Blau/Gelb-Anteil einer Farbe beschreibt. L* spezifizierte die Helligkeit einer Farbe (CIE 1986). Die Analyse der Parameter a* und b* ermöglichte in selektierten, für den Stressfaktor spezifischen Wellenlängenbereichen dessen Identifizierung. Das Feldspektroradiometer Field Spec® Hand Held war in der Lage, im Spektrum von 325-1075 nm in 1 nm Abständen die Reflexion des Bestandes in 2 m Höhe aufzuzeichnen. Als drittes eingesetztes Sensorsystem wurde der Yara-N-Sensor® (Yara, Deutschland) im Fieldscan-Modus verwendet. Hierbei handelte es sich um ein System, das in 2 m Höhe auf dem Schlepperdach montiert die Reflexionsdaten des Vegetationsbestandes in einer Breite von 6 m Aufnahmefläche auf jeder Seite maß. Dieses Gerät besitzt keine eigene Lichtquelle, misst aber die Stärke des einfallenden Lichtes und berechnet selbstständig den Referenzstandard. Im Fieldscan-Modus wurde pro Messung die Reflexion in 20 unterschiedlichen Wellenlängenbereichen gemessen. Beginnend bei 450 nm wurde im Bereich 500 nm, 510 nm, 520 nm, 550 nm, 600 nm, 620 nm, 640 nm, 660 nm, 680 nm, 700 nm, 720 nm, 730 nm, 740 nm, 750 nm, 760 nm, 780 nm, 800 nm und 850 nm die Reflexion gemessen.

Zur Durchführung der Messungen wurden auf dem Betrieb WIMEX in Wulfen Versuche auf dem Schlag 431 und 432 in den Jahren 2004/2005, 2005/2006 und 2006/2007 als vollständig randomisierte Blockanlage mit drei Wiederholungen angelegt. Die Aussaat erfolgt auf diesem Schlag jeweils Mitte Oktober mit der Winterweizensorte Ritmo. Vor der Aussaat wurde der Boden auf beiden Schlägen flachgründig bearbeitet. Die Vorfrucht war in allen drei Versuchsjahren Weizen. Es wurden je drei Parzellen mit den Erregern *Erysiphe graminis* (Weizenmehltauisolat 150, Kleinmachnow, Deutschland), *Septoria tritici* (CBS 292.69, Deutschland) und *Pseudocercospora herpotrichoides* (CBS 118.47, UK) in der Inokulationsstufe 100 % inokuliert. Drei Parzellen wurden mittels Fungiziden gegen Krankheiten behandelt und dienten als Kontrolle. Zwischen den einzelnen Parzellen wurden Trennstreifen von 15 m Breite angelegt, um die Windverdriftung der Krankheiten und die gegenseitige Beeinflussung zu vermeiden. Messungen mit der digitalen Kamera und mit dem Field Spec® Hand Held erfolgten ab dem BBCH Stadium 39 (Fahnenblatt) in regelmäßigen Abständen entsprechend der Entwicklung des Bestandes und der Ausbreitung der Pathogene. Bei jeder Messung wurden Pflanzenproben genommen, getrocknet, vermahlen sowie aufbereitet und die Trockenmasse und N-Konzentrationen bestimmt. Des Weiteren wurde bei jeder Messung das BBCH Stadium und der Krankheitsbefall festgehalten. Vor der Ernte wurden Quadratmeterschnitte genommen und folgende Parameter erhoben: Pflanzen pro m², Anzahl Ähren pro m², Körner pro Ähre, TKM, Fallzahl, Sedimentationswert, Korn/Strohertrag, Harvestindex, N in Ertragskomponenten, N-Harvestindex, Siebsor-

tierung, N_T -Gehalt und Rohprotein. Als weiterer Parameter wurde der Ertrag über eine Ertragskartierung festgehalten. Zu den Versuchen in Wulfen wurden zusätzliche Feldversuche auf der Versuchstation Ihinger Hof (48°44' N, 8°56' E; 687 mm, 7.9 °C) der Universität Hohenheim angelegt. Hier war es möglich eine anfällige Winterweizensorte (Monopol) mit einer resistenten Winterweizensorte (Empire) zu vergleichen.

Um Erhebungen zur räumlichen und zeitlichen Ausbreitung der Pflanzenkrankheiten durchführen zu können, wurden Messungen mit der digitalen Kamera sowie mit dem Field Spec® Hand Held auf dem Schlag „Hintere Pilsenhöhe“ des Teilprojektes 10 in den Jahren 2004/2005 und 2005/2006 entlang eines Transekts durchgeführt. Die Versuche wurde als Streifenversuch hinsichtlich der Fungizidapplikation mit folgenden Varianten angelegt: 1.) unbehandelte Kontrolle, 2.) betriebsüblich und 3.) teilflächenspezifisch. Messungen fanden in einem Transekt in der Variante unbehandelte Kontrolle statt. Entlang des Transekt-Streifens wurden die Messpunkte so platziert, dass auf jeder Ertragserwartungszone ein Messpunkt lag (siehe Abbildung 75). Weitere Details des Versuchaufbaues sind dem Abschlussbericht von Teilprojekt 10 zu entnehmen.

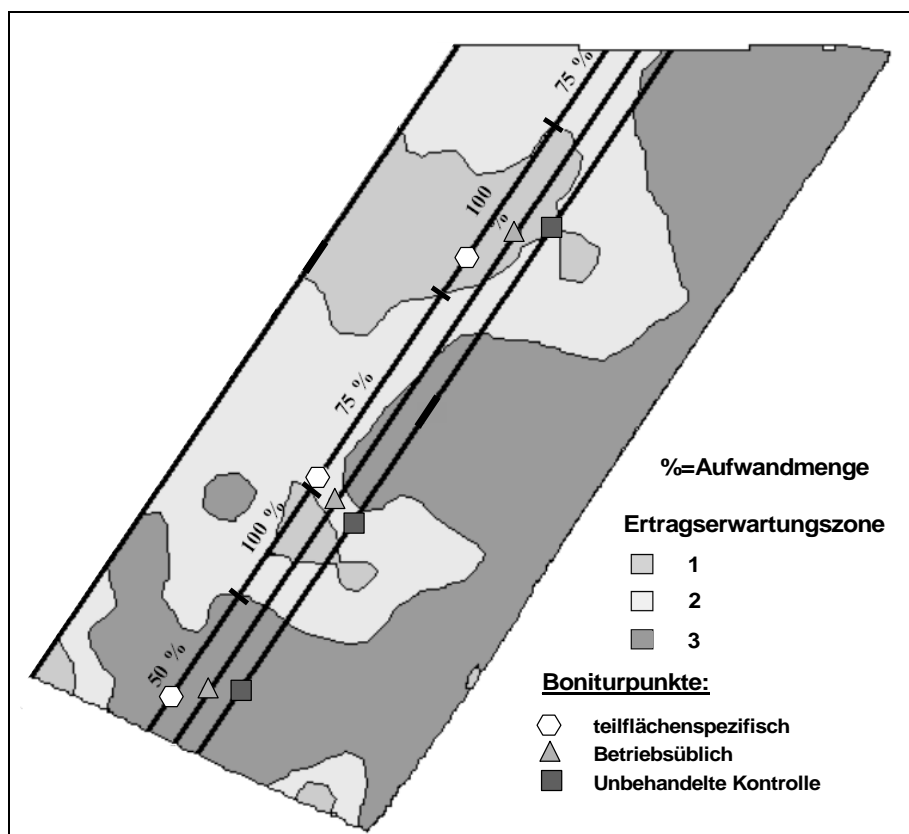


Abbildung 75: Lage der Prüfglieder und Boniturpunkte im Schlag „Hintere Pilsenhöhe“ (Schlagausschnitt nach WOLLNY & DAMMER, siehe 4.3, Abbildung 105)

Figure 75: Location of treatments and sampling points in the field „Hintere Pilsenhöhe“ (map after WOLLNY & DAMMER, see chapter 4.3, Figure 105)

Neben den Feldversuchen wurden Gewächshausversuche an der Universität Hohenheim angelegt in denen die Krankheiten *Erysiphe graminis*, *Septoria tritici* und *Pseudocercospora herpotrichoides* künstlich inokuliert wurden. Für die Versuche mit *Erysiphe graminis* und *Septoria tritici* wurden die Inokulumstufen 0 % = Kontrolle, 50 % sowie 100 % in dreifacher Wiederholung angelegt. Für die

Versuche mit *Pseudocercospora herpotrichoides* wurden die Inokulumstufen 0 % = Kontrolle, 20 %, 40 %, 60 %, 80 % sowie 100 % angelegt und ebenfalls dreifach wiederholt. Hierzu wurden Winterweizenpflanzen der Sorte Monopol in Mitscherlichgefäßen (6 kg) angezogen und nach 26 Tagen bei 4 °C und 8 Stunden Licht vernalisiert. Nach der Vernalisation wurden die Pflanzen in das Gewächshaus gebracht, in dem Temperaturen zwischen 20 °C und 35 °C herrschten. Die Inokulation mit *Pseudocercospora herpotrichoides* (CBS 118.47, UK) erfolgte vor der Vernalisation durch Ausbringen von befallenen Weizenkörnern in die Töpfe. Eine weitere Inokulation erfolgte wenige Tage nach der Vernalisation. Die Inokulation mit *Erysiphe graminis* (150, Mehltau Resistenzgene Pm1, 2, 3a, 3c, 3d, 4a, 4b, 5, 6, 7, 8 and 17) und *Septoria tritici* (CBS 292.69, Germany) erfolgte ausschließlich nach der Vernalisation. Für die Inokulation mit Mehltau wurden Töpfe mit befallenen Weizenpflanzen zwischen die Mitscherlichgefäße gestellt (50 % 3 Töpfe, 100 % 6 Töpfe) und für eine Woche dort belassen. 10 Tage nach der Inokulation waren erste Symptome sichtbar. Für die Inokulation mit Septoria wurden befallene Weizenkörner in die Töpfe gestreut. Entsprechend der Entwicklung des Befalls der Pflanzen wurde kurz nach der Inokulation jeweils im Abstand von zwei Tagen über einen Zeitraum von mehreren Wochen die Reflexion der Pflanzen mit einer digitalen Kamera (Leica S1 Pro, Leica, Solms, Deutschland) am jüngsten voll entwickelten Blatt gemessen. Von den Blattscans wurde als Lageparameter das arithmetische Mittel (MW = Mittelwert) und als Streuung der Standardfehler (= SF) berechnet. Mit Hilfe des Statistikprogramms Sigma.Stat. 3.1 (Jandel Scientific, USA) wurden die Versuche mittels einer ein- bzw. zweifaktoriellen ANOVA mit anschließendem multiplen Mittelwertsvergleich nach Tukey ($\alpha = 0,05$) ausgewertet.

3.5.3 Ergebnisse und Diskussion

a) Gewächshausversuche zur Kalibrierung von Nahsensorikmethoden zur Identifizierung von *Erysiphe graminis*, *Septoria tritici* und *Pseudocercospora herpotrichoides* als Vertreter dreier unterschiedlicher Erregerklassen

Erste sichtbare Symptome der Infektion mit Mehltau waren in den Gewächshausversuchen 10 Tage nach der Inokulation erkennbar. Vom ersten bis zum letzten Messtermin konnte Mehltau mittels Reflexionsmessungen erkannt werden (Abbildung 76). Der b*-Parameter konnte im Gegensatz zum a*-Parameter sehr früh Unterschiede zwischen gesunden und mit Mehltau erkrankten Pflanzen erkennen. Der b*-Parameter stieg dabei mit steigendem Mehлтаubefall an, verglichen zur Kontrolle. Abbildung 76 zeigt die Reflexionsänderungen in den Wellenlängenbereichen 516-540 nm (a) und 540-600 nm (b) für die gesamte Messdauer für die Kontrolle und die Inokulationsstufen 50 % und 100 %. 10 Tage nach der Inokulation änderte sich der b*-Parameter der Inokulationsstufen 50 % und 100 % signifikant, verglichen mit der Kontrolle. Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass der sichtbare Wellenlängenbereich besser geeignet war Mehltau zu identifizieren als der Infrarotbereich (Ergebnisse hier nicht gezeigt). Aus allen geprüften Wellenlängenbereichen waren die Bereiche 516-540 nm und 540-600 nm am besten geeignet, Mehltau frühzeitig zu erkennen.

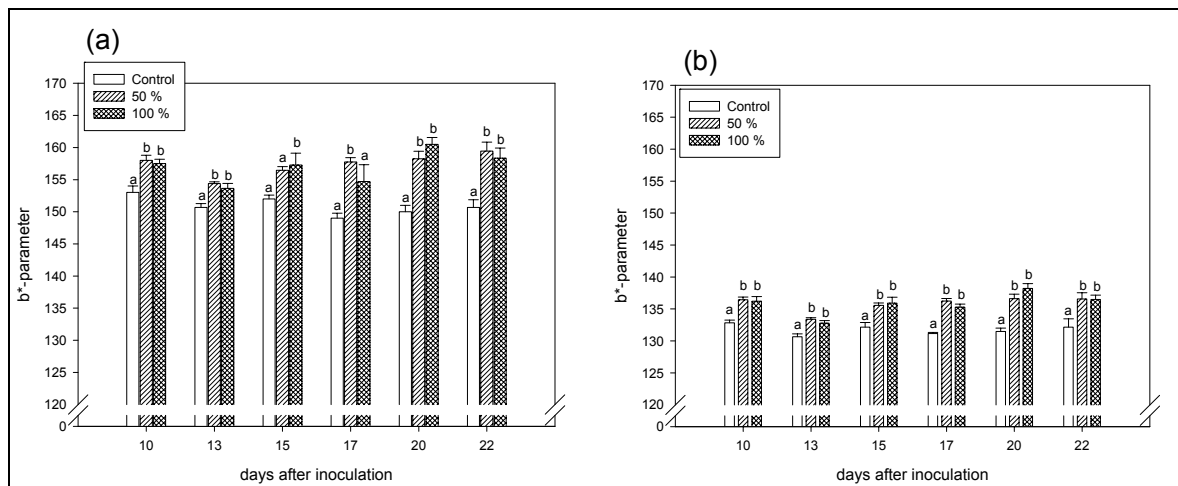


Abbildung 76: Änderung des Reflexionswertes b^* bei der Sorte Monopol in den Wellenlängenbereichen 516-540 nm (a) und 540-600 nm (b) infiziert mit Mehltau. Signifikante Unterschiede mit $\alpha = 0.05$ werden angezeigt
 Figure 76: Change of reflectance parameter b^* in cv. Monopol in the wavelength ranges 516-540 nm (a) and 540-600 nm (b) due to powdery mildew infection. Significant changes are indicated at $\alpha = 0.05$

Abbildung 77 zeigt die zeitliche Entwicklung von Mehltaupusteln/cm² auf den gemessenen Blättern. An allen Messterminen war die Kontrolle frei von Mehltau. Die Inokulationsstufe 50 % zeigte einen stetigen Anstieg von Mehltaupusteln bis 20 Tage nach der Inokulation. Am letzten Messtermin zeigte die Inokulationsstufe 50 % einen Abfall von Mehltaupusteln/cm². Die Inokulationsstufe 100 % zeigte einen stetigen linearen Anstieg von Mehltaupusteln/cm² bis 15 Tage nach der Inokulation. An allen Messterminen, ausgenommen 10 Tage nach der Inokulation, hatte die Inokulationsstufe 100 % mehr Mehltaupusteln/cm² als die Inokulationsstufe 50 %. Allgemein war der Infektionsgrad sehr gering mit 0,5 Pusteln/cm² zu Beginn des Versuches und 9 Pusteln/cm² 20 Tage nach der Inokulation.

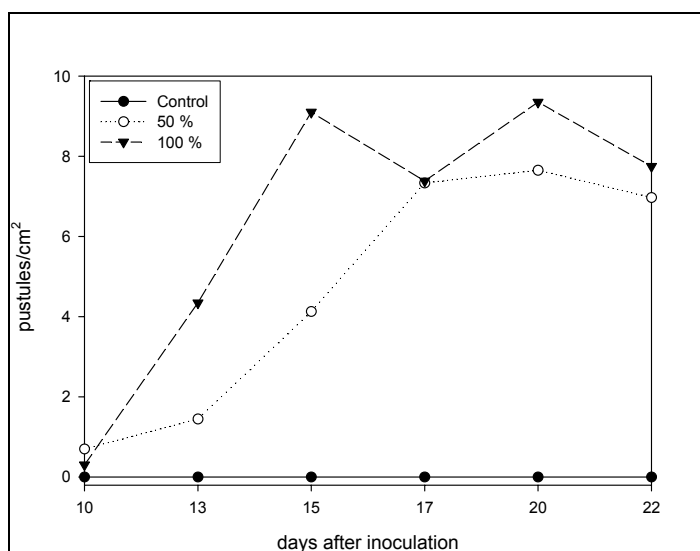


Abbildung 77: Zeitliche Entwicklung von Mehltau Pusteln/cm² auf den gemessenen Blättern bei der Sorte Monopol
 Figure 77: Temporal development of powdery mildew pustules/cm² on the measured leaves in cv. Monopol

Um die Blattreflexion in Beziehung zum Infektionsgrad mit Mehltau zu stellen, wurden die Reflexionsänderungen mit dem Infektionsgrad (%) korreliert. Basierend auf diesen Werten wurde eine quadratische Funktion zwischen dem Infektionsgrad und der Reflexion ermittelt. Diese Beziehung ermöglichte die Quantifizierung des Mehлтаubefalls.

Abbildung 77 zeigt die Beziehung zwischen dem Infektionsgrad und die Änderung des b^* -Parameters in den Wellenlängenbereichen 516-540 nm und 540-600 nm. Für diese Bereiche konnte mit $r^2 = 0,87$ (516-540 nm) und $r^2 = 0.82$ (540-600 nm) eine enge Beziehung zwischen Befall und Reflexionsänderung erzielt werden, die eine Quantifizierung des Mehлтаubefalls ermöglichte. Allerdings war es nicht möglich zwischen den Inokulationsstufen 50 % und 100 % zu unterscheiden, da der b^* -Parameter nicht in gleicher Weise wie die Mehлтаupusteln/cm² anstieg.

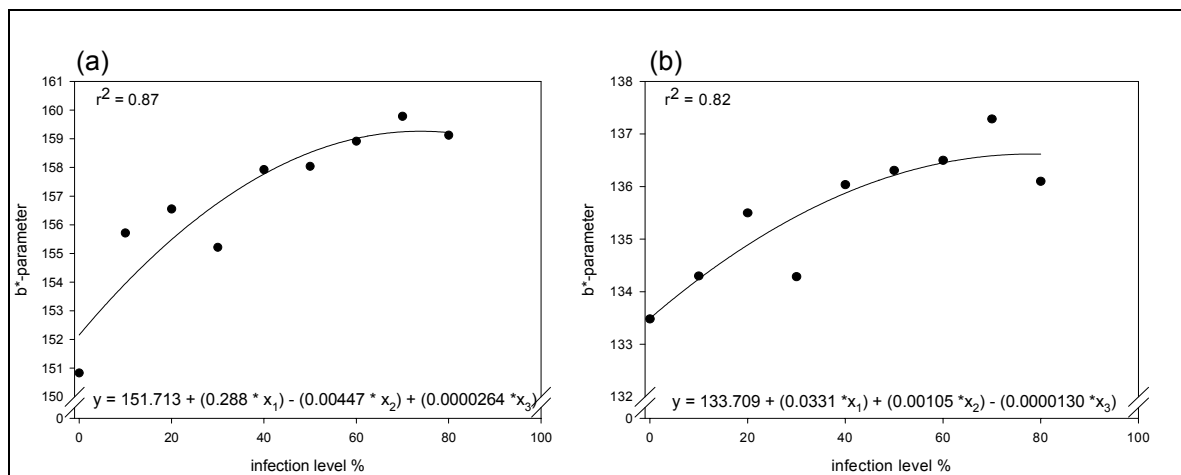


Abbildung 78: Korrelation zwischen Infektionsgrad und der Änderung des b^* -Parameters für die Wellenlängenbereiche 516-540 nm (a) und 540-600 nm (b) bei der Sorte Monopol

Figure 78: Correlation between infection level and the changes of the b^* -parameter for the wavelength 516-540 nm (a) and 540-600 nm (b) for cv. Monopol

Die Ergebnisse der Gewächshausversuche zeigten, dass Mehltau im sichtbaren Wellenlängenbereich in einem frühen Infektionsstadium erkannt und quantifiziert werden konnte.

LORENZEN & JENSEN (1989) untersuchten Reflexionsänderungen hervorgerufen durch Mehltau an verschiedenen Sorten von Sommergerste. Sie entdeckten signifikante Anstiege der Reflexion im sichtbaren Wellenlängenbereich (422-712 nm) 6 Tage nach der Inokulation, was mit dem Abbau von Chlorophyll korrelierte. Unterschiede im infraroten Wellenlängenbereich zwischen der Kontrolle und den befallenen Pflanzen waren sehr gering und konnten auch erst später als im sichtbaren Bereich erkannt werden. SASIKI et al. (1998) versuchten in einem frühen Infektionsstadium kranke von gesunden Gurkenblättern mit Hilfe von Reflexionsmessungen in den Wellenlängenbereichen 500, 600 und 650 nm zu unterscheiden. Sie fanden heraus, dass der Quotient aus dem roten Wellenlängenbereich um 660 nm und dem violetten Wellenlängenbereich um 400 nm die besten Ergebnisse zeigte um zwischen gesunden und kranken Pflanzen zu unterscheiden. BRAVO et al. (2003) erkannten erfolgreich Gelbrostinfektionen an Winterweizen im Feld mittels Reflexionsmessungen unter den Lichtbedingungen der Umgebung. CARTER & MILLER (1994) kamen zum Schluss, dass eine frühe Erkennung von Pflanzenstress mittels Reflexionsmessungen größtenteils davon abhängt, dass man die Wellenlängenbereiche identifiziert, in denen die Pflanzenreflexion am meisten von ungünstigen Wachstumsbedingungen beeinflusst wird. Für einzelne Blätter ist generell eine erhöhte Reflexion im sichtbaren Wellenlängen-

bereich (400-700 nm) die am meisten beobachtete Reaktion auf Stress im Bereich 400-2500 nm. Das Reflexionsspektrum der meisten grünen Blätter beruht sehr eng auf der chemischen Zusammensetzung und der Blattstruktur (GATES et al. 1965, KNIPLING et al. 1970). Pflanzenpigmente, wie z. B. Chlorophyll und Carotinoide, haben sehr großen Einfluss auf die Reflexion von grünen Blättern im sichtbaren Wellenlängenbereich, wohingegen die Reflexion im infraroten Wellenlängenbereich sich aufgrund von strukturellen Änderungen ändert (GATES et al. 1965, SLATON et al. 2001).

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigten, dass im sichtbaren Wellenlängenbereich, insbesondere die Bereiche 516-540 nm und 540-600 nm geeignet waren, Mehltau in einem frühen Stadium zu erkennen. Die Eignung der identifizierten Wellenlängenbereiche ist übereinstimmend mit den Ergebnissen aus der Literatur. Unter dem Befall mit dem biotrophen Erreger des Mehltaus ändert sich in allererster Linie der Gehalt an Chlorophyll bzw. Blattpigmenten und nicht die Struktur der Blätter. Die Reflexion im sichtbaren Wellenlängenbereich wird von Blattpigmenten, wie z. B. Chlorophyll, beeinflusst, wohingegen die Reflexion im infraroten Bereich von der anatomischen Struktur der Blätter beeinflusst wird (GUYOT 1990, GRANT 1987). Da Mehltau zu Beginn einer Infektion keine strukturellen Schädigungen in den Blättern hervorruft, sondern eine Reduktion von Chlorophyll und sekundären Abbauprodukten in den Blättern, wurde erwartet, dass Änderungen in der Reflektion im sichtbaren Wellenlängenbereich auftreten, was sich anhand der gezeigten Ergebnisse bestätigen ließ. Ferner wird angenommen, dass der Gehalt von sekundären Abbauprodukten die einer Pilzinfektion im Blatt entgegenwirken in den ersten drei Wochen nicht im selben Ausmaß anstieg wie die Mehлтаupusteln/cm². Für eine teilflächenspezifische Sensorik wäre aber in einem ersten Ansatz eine binäre Entscheidungshilfe ausreichend, die die Unterscheidung zwischen kranken und gesunden Pflanzen ermöglicht.

Die beschriebenen Ergebnisse wurden als Artikel mit dem Titel „Spectral identification of powdery mildew (Erysiphe graminis) in wheat using digital image analysis“ beim Journal Advances in Optical Technologies, Special Issue on Spectral Color Discrimination and Segmentation in Nature and Technology eingereicht.

In den Gewächshausversuchen zu Septoria lag der Infektionslevel für alle Inokulumstufen unter 5 %. Des Weiteren trat ebenfalls ein starker Befall mit Mehltau von über 20 % auf, so dass die identifizierten Wellenlängenbereiche nicht eindeutig der Krankheit Septoria zugeordnet werden konnten. Unterschiede zwischen gesunden und kranken Blättern traten vor allem im sichtbaren Wellenlängenbereich auf, was auf pigmentelle Änderungen, hervorgerufen durch Mehltau, schließen lässt. Aus der Literatur ist bekannt, dass Septoria vor allem strukturelle Änderungen in den Blättern hervorruft, was sich im Reflexionsspektrum im infraroten Wellenlängenbereich widerspiegelt (EYAL 1987, KING et al. 1983, GATES et al. 1965, MALTHUS & MADEIRA 1993).

In den Gewächshausversuchen zu Halmbruch konnten keine Wellenlängenbereiche identifiziert werden. Hier lag der Befall mit Halmbruch in allen Inokulationsstufen unter 7 %. Trotz Fungizidbehandlung war ein Befall mit Mehltau nicht zu vermeiden, wodurch es zu einer Mischinfektion aus beiden Krankheiten kam, die eine singuläre Identifizierung von halmbruchspezifischen Wellenlängenbereichen nicht ermöglichte. Darüber hinaus bestätigten die Ergebnisse die anfängliche Hypothese des Projektes, dass verschiedene Erregerklassen (biotroph, nekrotroph, halmbasis) unterschiedliche Ansprüche an die zu entwickelnde Sensortechnologie stellen. Die Ergebnisse zeigten, dass mit zunehmender Entfernung des Infektionsortes (Halmbasis) vom Messort (Blatt, Bestand) eine sensorgestützte Erkennung eines Krankheitsbefalls erschwert wird. Eine Identifizierung von Halmbruch über die Messung

am Blatt erfolgt, im Gegensatz zu Mehltau und Septoria nicht direkt, sondern nur indirekt über einen ausgelösten Wasser- oder Nährstoffmangel. Der Befall von 7 % führte jedoch nicht zu einem erkennbaren Wasser- bzw. Nährstoffmangel und somit auch zu keinen Änderungen in der Reflexion der Blätter.

b) Feldversuche zur Kalibrierung von Nahsensorikmethoden zur Identifizierung von *Erysiphe graminis*, *Septoria tritici* und *Pseudocercospora herpotrichoides* unter Praxisbedingungen

Abbildung 79 zeigt die Bestandesreflexion der Winterweizensorte Monopol unter Mehltaubefall für die Inokulumstufen Kontrolle, 50 % und 100 % gemessen mit dem Field Spec® Hand Held, 4 (a) und 58 (b) Tage nach der Inokulation. Zu Beginn der Infektion konnten keine signifikanten Unterschiede in der Bestandesreflexion zwischen der Kontrolle und den Inokulumstufen 50 % und 100 % festgestellt werden. Zu dieser Zeit lag der Mehltaubefall unter 1 %. 58 Tage nach der Inokulation konnten signifikante Unterschiede zwischen der Kontrolle und der Inokulationsstufe 50 % festgestellt werden bei einem Mehltaubefall von 0 % für die Kontrolle, 5,7 % für die Inokulationsstufe 50 % und 7 % für die Inokulationsstufe 100 %. Die Änderungen traten im sichtbaren und im infraroten Wellenlängenbereich auf.

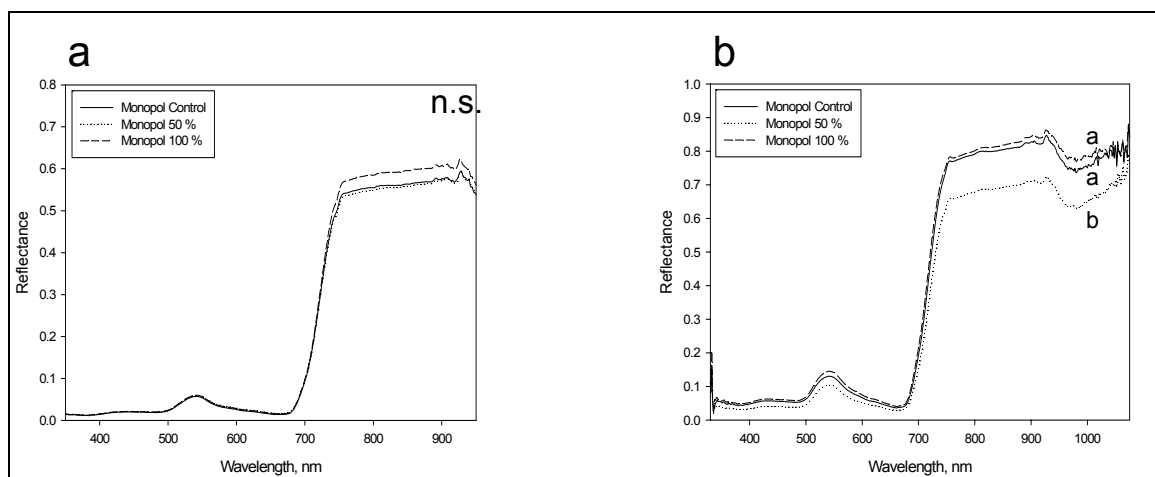


Abbildung 79: Bestandesreflexion der Sorte Monopol unter Mehltaubefall für die Inokulationsstufen Kontrolle, 50 % und 100 % gemessen mit dem Field Spec® Hand Held, 4 Tage (a) und 58 Tage (b) nach der Inokulation. Unterschiede zwischen den Inokulationsstufen werden durch unterschiedliche Buchstaben angezeigt.

Figure 79: Canopy reflectance of cv. Monopol under powdery mildew for the treatments control, 50 % and 100 % measured with the Field Spec® Hand Held for the cultivar Monopol 4 days (a) and 58 days (b) after inoculation. Differences between treatments are indicated by different letters.

Abbildung 80 zeigt die Bestandesreflexion der Winterweizensorte Empire unter Mehltaubefall für die Inokulumstufen Kontrolle, 50 % und 100 % gemessen mit dem Field Spec® Hand Held, 4 (a) und 58 (b) Tage nach der Inokulation. Zu Beginn der Infektion konnten keine signifikanten Unterschiede in der Bestandesreflexion zwischen der Kontrolle und den Inokulumstufen 50 % und 100 % festgestellt werden, da noch kein sichtbarer Befall zu erkennen war. 58 Tage nach der Inokulation konnten ebenfalls noch keine Unterscheide erkannt werden. Der Befall lag dabei bei 0 % für die Kontrolle, bei 1,7 % für die Inokulationsstufe 50 % und bei 2,3 % für die Inokulationsstufe 100 %. Jedoch war eine

Veränderung der Reflexion unter Mehltaubefall im sichtbaren und infraroten Bereich zu erkennen (Abbildung 80 b).

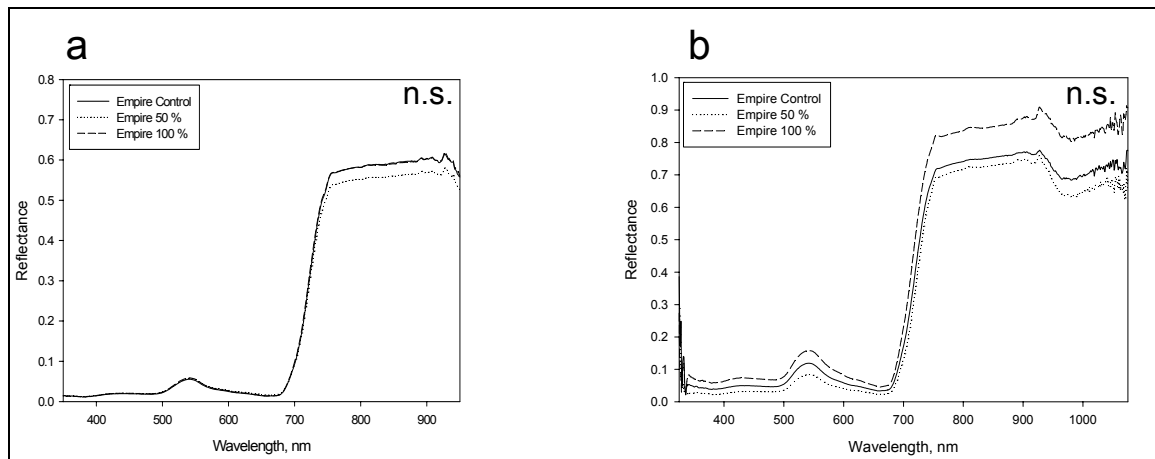


Abbildung 80: Bestandesreflexion der Sorte Empire unter Mehltaubefall für die Inokulationsstufen Kontrolle, 50 % und 100 % gemessen mit dem Field Spec® Hand Held 4 Tage (a) und 58 Tage (b) nach der Inokulation. Unterschiede zwischen den Inokulationsstufen werden durch unterschiedliche Buchstaben angezeigt.

Figure 80: Canopy reflectance of cv. Empire under powdery mildew for the treatments control, 50 % and 100 % measured with the Field Spec® Hand Held for the cultivar Empire 4 days (a) and 58 days (b) after inoculation. Differences in the reflectance are indicated by different letters.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass eine Identifikation von Mehltau unter Feldbedingungen ab einem Befall > 5 % möglich war. Die Reflexion änderte sich im sichtbaren und im infraroten Wellenlängenbereich. Die Ergebnisse der Feldversuche deckten sich mit denen der Gewächshausversuche. Sowohl in den Feldversuchen als auch in den Gewächshausversuchen konnten Unterschiede zwischen der Kontrolle und den inokulierten Pflanzen im sichtbaren Wellenlängenbereich um 550 nm festgestellt werden. Die Änderung im sichtbaren Wellenlängenbereich wird zurückgeführt auf eine Reduktion von Chlorophyll und das Auftreten sekundärer Abbauprodukte in den Blättern. Das erste Auftreten unterschiedlicher Reflexionen im sichtbaren oder infraroten Wellenlängenbereich zwischen gesundem und krankem Blattgewebe könnte nach MALTHUS & MADEIRA (1993) damit zusammenhängen, dass es sich um einen nekrotrophen oder biotrophen Pilz handelt. *Erysiphe graminis* ist ein bitropher Pilz, was bedeutet, dass der Pilz auf lebendes Gewebe angewiesen ist und versucht seinen Wirt „grün“ zu erhalten. Die Pflanze wehrt sich gegen diesen Pilz, indem sie um den Eindringort der Pilzhyphen Chlorophyll abbaut und im weiteren Verlauf das Gewebe absterben lässt. Aus diesem Grund treten möglicherweise Reflexionsänderungen unter Mehltaubefall zuerst im sichtbaren und zu einem späteren Zeitpunkt dann auch im infraroten Bereich auf. POLISCHUK et al. (1997) konnten in Gewächshausversuchen stressbedingte Veränderungen der Reflexion von Tabakpflanzenblättern im sichtbaren Bereich zeigen, ohne dass sichtbare Symptome vorlagen. Dazu wurden Tabakblätter im Gewächshaus künstlich mit dem Tabakmosaikvirus infiziert. Schon 10 Tage nach Inokulation konnte analytisch und über Reflexionsmessungen eine Abnahme des Chlorophyllgehaltes festgestellt werden. Nach 3 Wochen wurden äußere Krankheitssymptome sichtbar. KNIPLING (1970) führte frühe Veränderungen in der Reflexion im sichtbaren Wellenlängenbereich auf die Sensitivität von Chlorophyll bezüglich metabolischer Beeinträchtigungen zurück. Auch SCOTT & SMILLIE (1965) haben in Gewächshausversuchen mit Gerstenblättern der Sorte „Manchuria“ 48 h nach Infektion mit *Erysiphe graminis* eine Abnahme der Photosyntheserate im Vergleich mit nicht infizierten Blättern entdeckt. Sie führten

dies auf den Verlust der photosynthetischen Kapazität der Wirtszellen durch den Abbau von Chlorophyll zurück.

Abbildung 81 zeigt die Bestandesreflexion der Winterweizensorte Monopol unter Septoriabefall für die Inokulumstufen Kontrolle, 50 % und 100 % gemessen mit dem Field Spec® Hand Held, 4 (a), 22 (b) und 48 Tage (c) Tage nach der Inokulation. 4 Tage und 48 Tage nach der Inokulation konnten keine Unterschiede zwischen den Inokulationsstufen festgestellt werden. 22 Tage nach der Inokulation lag die Reflexion der Inokulationsstufen 50 % und 100 % signifikant unterhalb der Kontrolle im Wellenlängenbereich um 550 nm und 750-950 nm. Dabei hatte die Kontrolle einen Befall von 2,3 %, die Inokulationsstufe 50 % von 2,7 % und die Inokulationsstufe 100 % von 2 %.

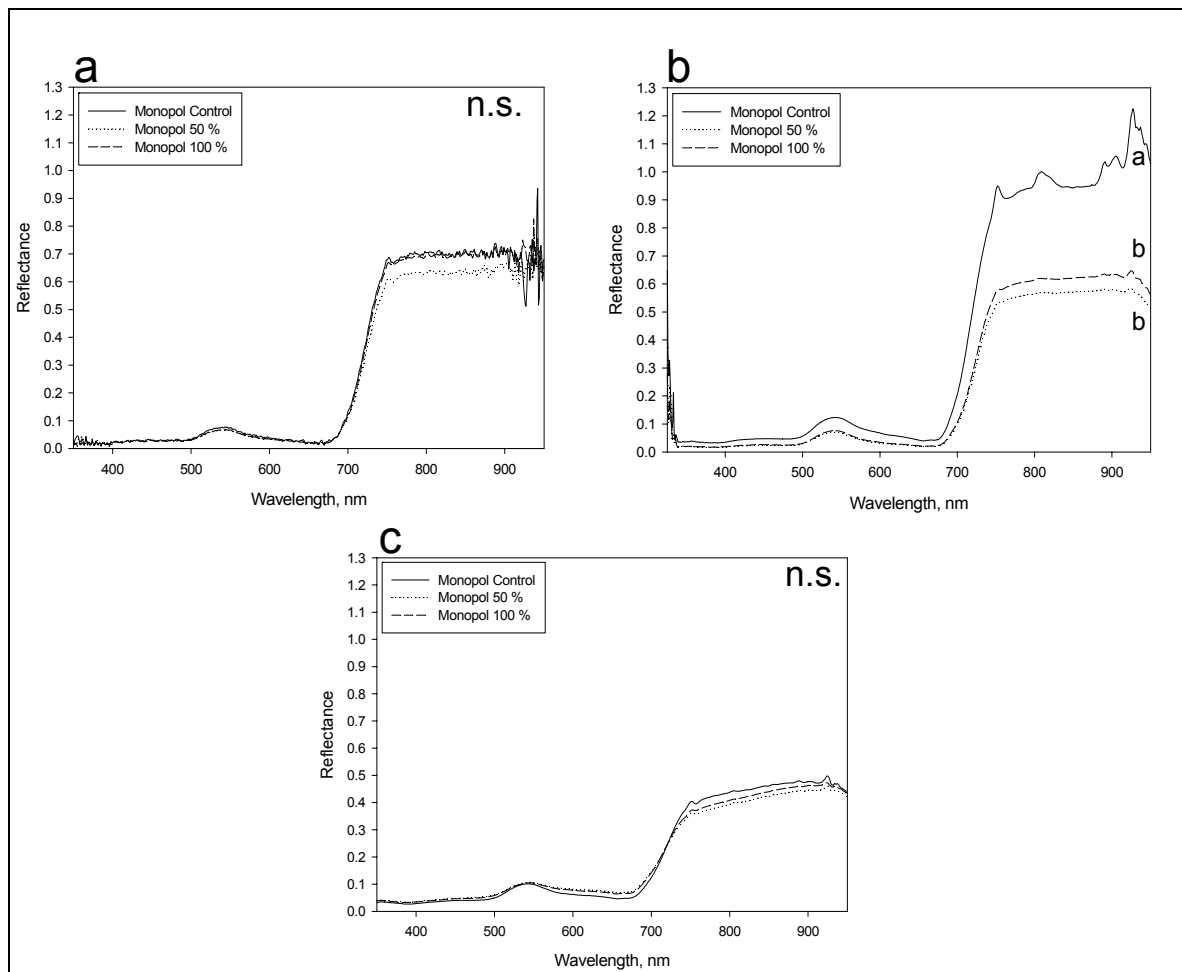


Abbildung 81: Bestandesreflexion der Sorte Monopol unter Septoriabefall für die Inokulationsstufen Kontrolle, 50 % und 100 % gemessen mit dem Field Spec® Hand Held 4 Tage (a), 22 Tage (b) und 58 Tage (c) nach der Inokulation. Unterschiede zwischen den Inokulationsstufen werden durch unterschiedliche Buchstaben angezeigt.

Figure 81: Canopy reflectance of cv. Monopol under septoria leaf blotch for the treatments control, 50 % and 100 % measured with the Field Spec® Hand Held for the cultivar Monopol 4 days (a), 22 days (b) and 48 days (c) after inoculation. Differences in reflectance are indicated by different letters.

Abbildung 82 zeigt die Bestandesreflexion der Winterweizensorte Empire unter Septoriabefall für die Inokulumstufen Kontrolle, 50 % und 100 % gemessen mit dem Field Spec® Hand Held, 4 (a), 22 (b) und 48 Tage (c) Tage nach der Inokulation. An allen Terminen lag die Reflexion der Inokulationsstu-

fen 50 % und 100 % unterhalb der Reflexion der Kontrolle, jedoch waren diese Unterschiede nicht signifikant, da die Unterschiede im Befall nicht groß genug waren. Die Kontrolle erreichte einen Befall von 7,7 %, die Inokulationsstufe 50 % von 18 % und die Inokulationsstufe 100 % von 23,3 %.

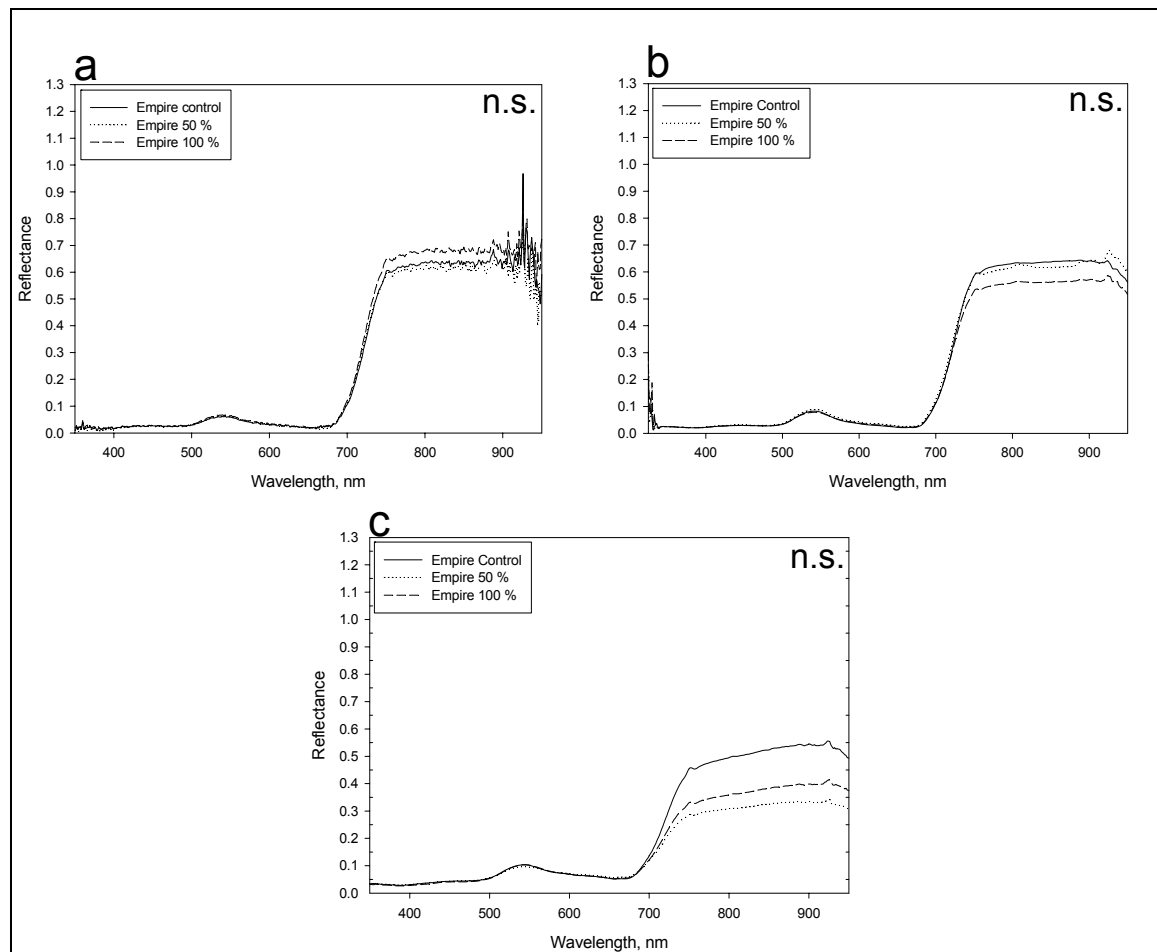


Abbildung 82: Bestandesreflexion der Sorte Empire unter Septoriabefall für die Inokulationsstufen Kontrolle, 50 % und 100 % gemessen mit dem Field Spec® Hand Held 4 Tage (a), 22 Tage (b) und 58 Tage (c) nach der Inokulation. Unterschiede zwischen den Inokulationsstufen werden durch unterschiedliche Buchstaben angezeigt.

Figure 82: Canopy reflectance of cv. Empire under septoria leaf blotch for the treatments control, 50 % and 100 % measured with the Field Spec® Hand Held for the cultivar Empire 4 days (a), 22 days (b) and 48 days (c) after inoculation. Differences in reflectance are indicated by different letters).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Reflexionsänderungen unter Septoriabefall vor allem im infraroten Bereich auftraten. Wie auch in anderen Versuchen bestätigt (hier nicht gezeigt) ließ sich Septoria in einem frühen Infektionsstadium bei einem Befall ab 3 % erkennen.

Septoria tritici ist ein nekrotropher Pilz und ruft in erster Linie strukturelle Änderungen in den Blättern hervor. MALTHUS & MADEIRA (1993) zeigten in einem Gewächshausversuch mit Ackerbohnenblättern der Sorte „Ticol“, die mit dem nekrotrophen Pilz *Botrytis fabae* infiziert waren, dass je nach Infektionsgrad von 0 % bis 85 % der Blätter Reflexionsänderungen in bestimmten Wellenlängenbereichen auftraten. Im sichtbaren Bereich waren dabei Reflexionsänderungen bei 470-500 nm mit auftretenden Nekrosen auf den Blättern positiv korreliert. Parallel dazu wurde eine signifikante Abnahme

des Carotiningehalts generell und der Photosyntheserate bei Befallswerten unter 10 % festgestellt. Die ersten messbaren Reflexionsänderungen wurden im infraroten Wellenlängenbereich bei 800 nm im Zusammenhang mit sichtbaren Symptomen festgestellt. Begründet wurde die Abnahme der Reflexion im infraroten Wellenlängenbereich mit der Zerstörung der Blattstruktur, während sich der Pilz ausbreitet. Dadurch kommt es zu einer Abnahme der Streuung der Strahlung innerhalb des Blattgewebes und einer Zunahme der Transmission in diesen Bereichen (KNIPLING 1970). Bei Befall mit *Septoria tritici* kommt es zu einer fortschreitenden Besiedlung des Wirtsgewebes, Zellzerstörung und Pyknidienbildung (EYAL 1987, KING et al. 1983). Nach GATES et al. (1965) wird die Reflexion im infraroten Wellenlängenbereich primär durch die Blattstruktur beeinflusst. KNIPLING (1970) zeigte, dass Änderungen der Reflexionseigenschaften von Blättern, die auf physiologischen Stress zurückzuführen sind, auch im Nahinfrarot zu entdecken sind. Verschiedene Autoren konnten zeigen, dass bei Krankheitsbefall mit einem nekrotrophen Pilz die Reflexion im Infrarotbereich abnahm: Bei Feldversuchen mit Weizen in Rothamsted mit der Sorte „Madrigal“, die mit Gelbrost inokuliert wurde, zeigten BRAVO et al. (2003) mittels spektrographischen Messungen, dass mit Gelbrost befallene Pflanzen eine niedrigere Reflexion im Bereich 700-900 nm durch Schädigungen der Blattstrukturen aufweisen.

Abbildung 83 zeigt die Bestandesreflexion der Sorte Monopol unter Halmbruchbefall für die Inokulationsstufen Kontrolle (....), 50 % (----) und 100 % (- -) gemessen mit dem Field Spec® Hand Held 37 Wochen (a), 40 Wochen (b) und 41 Wochen (c) nach der Inokulation. Zu keinem Zeitpunkt konnten signifikante Unterschiede zwischen der Kontrolle und den Inokulationsstufen 50 % und 100 % festgestellt werden. Jedoch war erkennbar, dass zu Beginn die inokulierten Varianten eine höhere Reflexion aufwiesen und danach eine geringere Reflexion hatten. In den Versuchen trat nicht nur ein Befall mit Halmbruch auf, sondern auch mit Mehltau und Septoria, so dass von einer Mischinfektion ausgegangen werden muss und die gemessenen Reflexionsänderungen damit nicht ursprünglich auf einen Befall mit Halmbruch zurückgeführt werden können. Auch für die Sorte Empire waren an allen Messterminen Unterschiede in der Reflexion von inokulierten und nicht inokulierten Pflanzen zu erkennen, diese waren jedoch nicht signifikant. Auch hier lag eine Mischinfektion von Halmbruch, Mehltau und Septoria vor, wodurch eine Kalibrierung für Halmbruch alleine nicht möglich war.

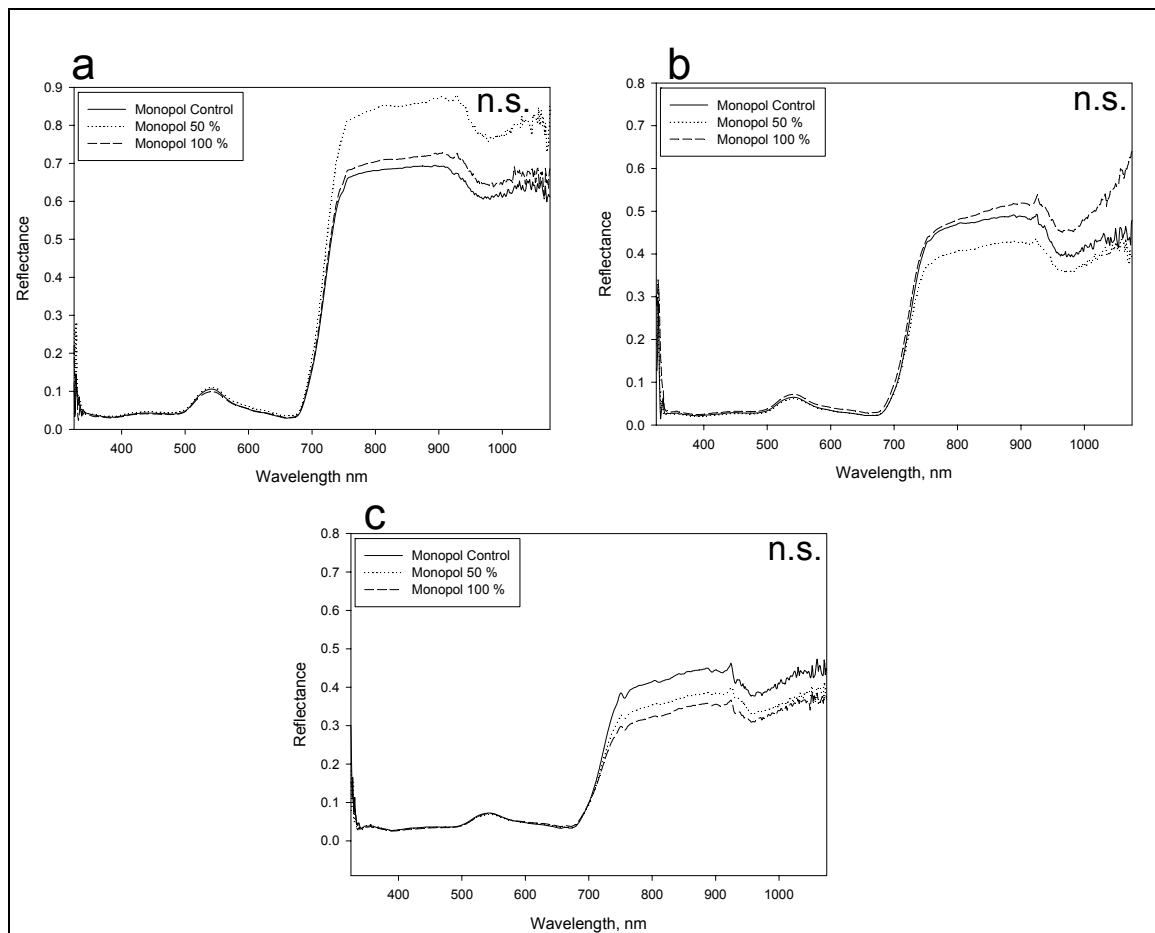


Abbildung 83: Bestandesreflexion der Sorte Monopol unter Halmbruchbefall für die Inokulationsstufen Kontrolle, 50 % und 100 % gemessen mit dem Field Spec® Hand Held 37 Wochen (a), 40 Wochen (b) und 41 Wochen (c) nach der Inokulation. Unterschiede zwischen den Inokulationsstufen werden durch unterschiedliche Buchstaben angezeigt.

Figure 83: Canopy reflectance of cv. Monopol under wheat eyespot for the treatments control, 50 % and 100 % measured with the Field Spec® Hand Held for the cultivar Monopol 37 weeks (a), 40 weeks (b) and 41 weeks (c) after inoculation. Differences in reflectance are indicated by different letters.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass aufgrund einer Mischinfektion von Halmbruch, Mehltau und Septoria keine Wellenlängenbereiche zur sensorgestützten Identifizierung von Halmbruch abgeleitet werden konnten. Bei dem Erreger *Pseudocercospora herpotrichoides* handelt es sich um einen parasitischen Pilz aus der Gruppe der Ascomyceten. Infizierte junge Pflanzen weisen unspezifische Verbräunungen an den äußeren Blattscheiden auf. Später folgen dann typische Augenflecken an der Halmbasis. Diese gehen ohne scharfe Abgrenzung ins gesunde Gewebe über und bilden im Bereich der Flecken ein watteartiges Mycel (Pilzgeflecht). Nach dem Eindringen des Pilzes in den Halm vermodert die Stängelbasis. Dadurch wird der Wasser- und Nährstofftransport gestört. Diese Störung des Wasser- und Nährstofftransportes könnte sich in der Reflexion bemerkbar machen, wodurch ein Erkennen von Halmbruch an den Blättern theoretisch möglich sein könnte. Ein Befall mit Halmbruch würde in diesem Fall aber nicht direkt, sondern nur über sekundäre Befallsmerkmale, wie z. B. einen Wasser- oder Nährstoffmangel, erkannt werden. Da in den beschriebenen Versuchen der Befall mit Halmbruch sehr gering war und auch kein Wasser- bzw. Nährstoffmangel in den Blättern festgestellt werden konnte, konnten keine Wellenlängenbereiche identifiziert werden. Damit bestätigt sich die

Hypothese dass je weiter die Krankheit vom eigentlichen Messort entfernt ist, desto schwieriger wird es für eine Sensortechnologie werden, einen Befall zu detektieren.

*Die Ergebnisse der Feldversuche wurden in dem Artikel „Use of different vegetation indices to detect various plant diseases in winter wheat (*Triticum aestivum* L.)“ bei der Zeitschrift “Central European Journal of Biology” eingereicht.*

c) Übertragung der Ergebnisse auf praxisreife Sensortechnologien bzw. Abschätzung des Potenzials der Fernerkundung

Exemplarisch sollte in vorhandenen Feldversuchen des Gesamtprojektes in Zusammenarbeit mit Teilprojekt 9 und 13 geprüft werden, inwieweit eine Verknüpfung und ein Abgleich der Kalibrierungen aus den Nahsensorikmessungen mit praxisreifen Sensortechnologien bzw. Fernerkundungsdaten möglich ist. Darüber hinaus sollte geklärt werden, ob eine Verknüpfung mit Fernerkundungsdaten eventuell nur für bestimmte Erreger (z. B. Blattkrankheiten) sinnvoll möglich ist. Technische Innovationen im Bereich der Fernerkundung lassen es mittelfristig erwarten, dass Satellitensysteme eine Möglichkeit bieten, in der Zukunft die Erkennung von Pflanzenkrankheiten durch die Übertragung bestehender Kalibrierungen aus dem Nahsensorikbereich sinnvoll zu ergänzen.

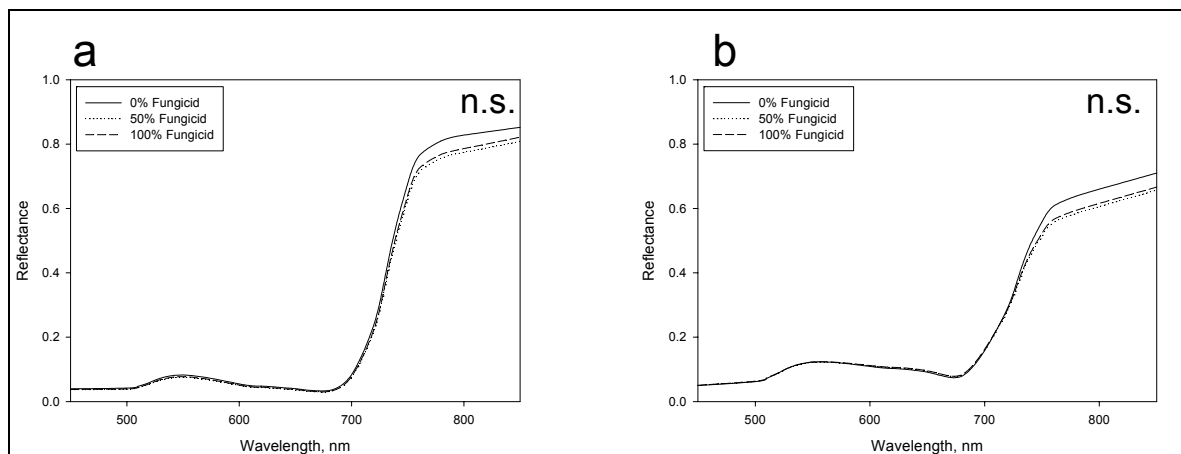


Abbildung 84: Bestandesreflexion gemessen mit dem Yara N-Sensor in dem Wellenlängenbereich 450-850 nm für die Fungizidstufen 0 %, 50 % und 100 % in den Wachstumsstadien BBCH 70 und BBCH 85

Figure 84: Canopy reflectance measured with the Yara N-Sensor in the wavelength range 450-850 nm for the fungicide steps 0 %, 50 % and 100 % in the growing stages GS 70 and GS 85

In einem ersten Ansatz wurden die in den Gefäß- und Feldversuchen für die Erkennung von Mehltau und Septoria identifizierten Wellenlängenbereiche auf den Yara-N-Sensor im Fieldscan-Modus übertragen. Abbildung 85 zeigt die Bestandesreflexion gemessen mit dem Yara N-Sensor im Wellenlängenbereich 450-850 nm für die Fungizidstufen 0 %, 50 % und 100 % in den Wachstumsstadien BBCH 70 (a) und BBCH 85 (b). Ein Krankheitsbefall, hier vor allem mit *Septoria tritici*, konnte zu keinem Zeitpunkt mittels des Yara-N-Sensors in den getesteten Wellenlängenbereichen 450 nm, 500 nm, 510 nm, 520 nm, 550 nm, 600 nm, 620 nm, 640 nm, 660 nm, 680 nm, 700 nm, 720 nm, 730 nm, 740 nm, 750 nm, 760 nm, 780 nm, 800 nm und 850 nm erkannt werden. In keinem der getesteten Wellenlän-

genbereiche und zu keinem Messtermin konnten signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Fungizidstufen festgestellt werden.

Der N-Sensor konnte an keinem Termin signifikante Unterschiede in der Bestandesreflexion aufzeigen. Dieses Sensorsystem erfasste die Bestandesreflexion wie das Field-Spec in 2 m Höhe, interpolierte jedoch über eine Arbeitsbreite von 12 m und erfasste damit deutlich mehr Pflanzen als das Field-Spec. Unter der Annahme, dass es bei der aufgenommenen Bestandesreflexion zu einem Mischsignal zwischen teilweise gesunden und kranken Pflanzen gekommen ist, war eine Reflexionsänderung unter den gegebenen Befallsintensitäten in den Feldversuchen nicht mehr messbar. Der Informationsverlust durch die geringe räumliche Auflösung (12 m) führte möglicherweise dazu, dass mit dem N-Sensor im Field-Scan Modus weder eine Erkennung noch eine Quantifizierung von *Septoria tritici* möglich war.

FRANKE et al. (2007) konnten in einer Feldstudie feststellen, dass eine räumlich hochauflösende, multispektrale Datenerfassung potenziell geeignet ist, um die schlagimmanente Dynamik von Pilzkrankheiten in Weizen zu beobachten. Dabei verwendeten sie Sensoren mit einer räumlichen Auflösung von 2,4 m und 4 m. Nach ihren Studien eignet sich diese Technik jedoch nicht für eine Früherkennung, da im frühen Infektionsstadium, in dem die Fungizidbehandlung mit derzeit am Markt verfügbaren Fungiziden erfolgen muss, die Erkennung nicht präzise genug ist, um Applikationskarten erstellen zu können. Um den N-Sensor zur Identifizierung von Pflanzenkrankheiten zu verwenden, müsste daher möglicherweise eine höhere räumliche Auflösung geschaffen werden.

Zur Eignung verschiedener Sensorsysteme in der Früherkennung von Pflanzenkrankheiten wurde ein Artikel unter dem Titel „Sensor-based identification of plant diseases: requirements of spatial resolution“ bei der Zeitschrift „Precision Agriculture“ eingereicht.

Um abzuschätzen, ob es möglich ist Pflanzenkrankheiten mittels Fernerkundung zu erkennen, wurden die Versuche in Wulfen von dem TP 13 mit dem Spectrometer AVIS (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer) überflogen. Der AVIS Sensor hat eine Auflösung von 300 Pixel und somit eine räumliche Auflösung am Boden in Abhängigkeit der Flughöhe von 2 m² bei einer Flughöhe von 600 m und 10 m² bei einer Flughöhe von 3000 m. Der AVIS Sensor misst die Reflexion in 64 Kanälen, die das Spektrum von 400-900 nm abdecken. Die Felder wurden im ersten Versuchsjahr an drei und in den Versuchsjahren zwei und drei an drei Terminen innerhalb der Vegetationsperiode überflogen. Der AVIS Sensor war in der Lage Heterogenitäten im Bestand zu detektieren und den LAI zu berechnen. Jedoch war er nicht in der Lage gesunde von kranke Pflanzen zu unterscheiden, was zum einen an dem geringen Infektionsgrad von < 10 % gelegen haben könnte. Wie auch schon bei den Untersuchungen mit dem N-Sensor festgestellt wurde, ist insbesondere unter einem geringen Befallsdruck eine hohe räumliche Auflösung notwendig, um Pflanzenkrankheiten frühzeitig erkennen zu können. Studien von JAKOBI (2005) bestätigen, dass ein hoch auflösender Sensor notwendig ist, um Pflanzenkrankheiten teilflächenspezifisch zu erkennen. MOSHOU et al. (2006) beschrieben in ihrer Arbeit, dass Fernerkundung nicht geeignet ist, um Pflanzenkrankheiten zu erkennen, auch wenn man geeignete Wellenlängenbereiche verwendet, da die räumliche Auflösung zu gering ist.

Bei einer geringen räumlichen Auflösung wird insbesondere unter geringem Befalldruck die Herausforderung für eine zu entwickelnde Sensortechnologie sein, dass die Reflexion von gesunden und kranken Pflanzen gemittelt wird und somit die gesunden Pflanzen das Signal der kranken Pflanzen überlagern. Schlussfolgernd bedeutet dies, dass eine entsprechende Sensortechnologie neben dem erforderlichen spektralen Eigenschaften eine entsprechend hohe räumliche Auflösung bietet, was wie-

derum neue Anforderungen an die Auswertung der Daten und die Umwandlung in eine Applikationskarte stellt. Daher ist gerade in der Umsetzung der Erkenntnisse in die Praxis und die darauf aufbauende Entwicklung einer Sensortechnologie weiterer Forschungsbedarf gegeben.

d) Feldversuche zur Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Variabilität von Pathogenen in Abhängigkeit variabler Standortfaktoren wie Bodenwassergehalt, Bestandesdichte, Nährstoffversorgung

Betrachtet man die Ergebnisse der Versuche zur Erhebung der räumlichen und zeitlichen Ausbreitung von Pflanzenkrankheiten, so ist festzustellen, dass es in allen drei Versuchsjahren in allen drei Ertragswartungszonen zu einem nur sehr geringen und über allen Zonen gleichmäßigen Krankheitsbefall mit *Septoria tritici* und *Drechslera tritici-repentis* gekommen ist. Dies wird auch bei der Betrachtung der Aufnahmen mit der digitalen Kamera sowie mit dem Field Spec® Hand Held sichtbar. Hier waren keine signifikanten Änderungen in der Reflexion erkennbar. In allen drei ausgewiesenen Ertragswartungszonen war der Befall gleich niedrig, so dass keine Rückschlüsse von den heterogenen Bodenbedingungen auf die Ausbreitung und das räumliche und zeitliche Auftreten von Pflanzenkrankheiten gezogen werden können.

Bei der Untersuchung der Verteilungsmuster von Pflanzenkrankheiten mit Hilfe von GIS konnte SPIEKERMANN (2005) feststellen, dass Krankheiten bevorzugt in Clustern oder Nestern auftreten, in denen die Infektion ihren Anfang nimmt. Gleichzeitig konnte festgestellt werden, dass sich manche Krankheiten bevorzugt entlang bestimmter Richtungen (Windrichtung) ausbreiten. Das Wissen um diese Abhängigkeiten ist für den präzisen Pflanzenschutz von großer Bedeutung, für Pflanzenkrankheiten konnten jedoch von SPICKERMANN (2005) keine räumlichen Abhängigkeiten von Bodeneigenschaften, Bodentypen oder dem Höhenprofil der Flächen festgestellt werden. Die Verteilung kann gleichmäßig (äquale Dispersion), in lokalen Anhäufungen (inäquale Dispersion), in gehäuften Anhäufungen (kumulare Dispersion) oder in inselartigen Verteilungsmustern (insulare Dispersion) verteilt sein. Diese Verteilung zeigt eine hohe zeitliche und räumliche Variabilität (KLOEPFER 1999).

Generell lassen sich aus den erhobenen Daten des Teilprojektes daher keine allgemeinen Aussagen über eine mögliche Auswirkung von Standortfaktoren auf Pilzkrankheiten machen. Jeder Erreger hat seine spezifischen Ansprüche an die Umwelt. Der Standort besitzt bei allen Erregern eine zentrale Funktion, da er im Zusammenhang mit der Witterung steht. Niederschlagsmengen, Luftfeuchtigkeit und Temperatur spielen bei der Ausbreitung der einzelnen Krankheiten eine bedeutende Rolle. Ebenso spielt die Düngung und die Nährstoffversorgung eine wichtige Rolle. Eine ausgeglichene Nährstoffversorgung ist die Grundlage für ein vitales Wachstum der Pflanzen. Eine Überdosierung begünstigt die Anfälligkeit gegenüber vielen Pilzkrankheiten (z. B. BÖRNER 1990, BÜSCHBELL & HOFFMANN 1992). Eine größere Pflanzendichte wiederum führt in der Tendenz zu einem steigendem Pathogenbefall (HEDKE 1999). Die möglichen Ursachen eines räumlichen Verteilmusters von Pflanzenkrankheiten sind daher sehr vielschichtig und lassen sich nicht konkret in einzelne singuläre Faktoren trennen, was die Notwendigkeit einer teilflächenspezifischen Sensorik untermauert.

e) Entwicklung und Integration pathogenspezifischer Algorithmen sowie Reflexionssignaturen in Pflanzenwachstumsmodellen zur Optimierung von Decision Support Tools im Precision Farming

Um Betriebsmittel einzusparen und die Umwelt zu schonen, ist es notwendig, Pflanzenschutzmittel nur dort auszubringen, wo auch tatsächlich Krankheiten in einem nicht mehr tolerierbaren Ausmaß

auftreten. Neueste Applikationstechniken und computerbasierte Informationssysteme machen es dem Landwirt möglich, Pflanzenschutzmittel teilflächenspezifisch auszubringen. Die Grundlage für eine teilflächenspezifische Applikation ist jedoch die teilflächenspezifische Identifizierung von Pflanzenkrankheiten im Feld mittels Sensoren und darauf aufbauend die Entwicklung von ackerbaulichen Entscheidungsregeln und Produktionsfunktionen für Fungizidapplikationen.

Seit einigen Jahren werden verstärkt Pflanzenwachstumsmodelle zur Analyse der räumlich unterschiedlichen Verteilung von Wachstumsfaktoren im Precision Farming eingesetzt (SADLER et al. 2000). Pflanzenwachstumsmodelle bieten die Möglichkeit teilflächenspezifische Managementkonzepte unter Berücksichtigung der gegebenen teilflächenspezifischen Variabilität zu erarbeiten (BOOLTINK et al. 2001). Prozessorientierte Pflanzenwachstumsmodelle, wie z. B. DSSAT 4.0 oder APSIM analysieren die Interaktionen zwischen Klima, Boden, genetischen Parametern, Produktionssystem und Ertrag (RITCHIE et al. 1998). Die Modelle benötigen als Eingangsparameter allgemeine Produktionsdaten wie z. B. Sorte, Reihenabstand, Bestandesdichte, Düngung, Bewässerung etc. sowie biotische und abiotische Standortparameter wie Bodentyp, Niederschlag, Minimum- und Maximumtemperatur, Einstrahlung etc. (HUNT et al. 2001). Basierend auf diesen Daten wird die tägliche Biomassezunahme der Pflanze als Funktion von Photosynthese, Entwicklungsstadium, Wasser- und/oder Nährstoffmangel berechnet. Bodenfeuchte- und Stickstoffmodelle werden zur Berechnung des Wasser- und Nitrat-haushaltes herangezogen. Klimamodelle berücksichtigen die tägliche Änderung des Pflanzenwachstums unter dem Einfluss von Niederschlag, Minimum- und Maximumtemperaturen, Einstrahlung und CO₂-Konzentrationen. In den meisten Modellen werden Pflanzenkrankheiten bislang jedoch noch nicht berücksichtigt.

Zur Erstellung eines modellgestützten Decision Support Systems zur Ableitung von Fungizidstrategien wurde das Precision Farming Modell APOLLO (Application of Precision Agriculture for Field Management Optimization) eingesetzt. APOLLO wurde in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. W. D. Batchelor, IOWA STATE UNIVERSITY; USA als „Precision Farming Decision Support System“ entwickelt. APOLLO ermöglicht als teilflächenspezifisches Modul in DSSAT 4.0 (JONES et al. 2003) die Analyse großer teilflächenspezifischer Datensätze. APOLLO analysiert in einem ersten Schritt für jedes Feld spezifisch in Abhängigkeit der verfügbaren Daten die Ursachen einer Ertragsvariabilität. Hierzu werden im Modul der Modelkalibrierung unterschiedliche Bodenparameter definiert und der Unterschied zwischen simuliertem und tatsächlichem Ertrag in einzelnen Teilflächen des Feldes in Abhängigkeit der definierten Parameter über mehrere Jahre geschätzt und anschließend über einen unabhängigen Datensatz validiert. Basierend auf den Ergebnissen der Validierung kann ein Level an Genauigkeit der Modellprognosen für unabhängige Vegetationsperioden abgeleitet werden. Die Ergebnisse dieser Analysen geben Aufschluss über mögliche Unsicherheiten in der Modellvorhersage basierend auf der jeweiligen Kalibrierung und damit auch für die entsprechenden Managementkonzepte. In einem weiteren Schritt wird der mögliche Ertragsverlust in Abhängigkeit der vorhandenen Stressfaktoren abgeschätzt. Der Anwender kann hier ein bestimmtes Szenario aus der Kalibrierung auswählen, die einzelnen Parameter in das Modell laden und dann jeweils unterschiedliche Stressfaktoren in ihrer Auswirkung auf den Ertrag testen. In einem letzten Schritt werden schließlich Managementkonzepte analysiert und die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen unterschiedlicher produktionstechnischer Maßnahmen abgeschätzt (BATCHELOR et al. 2004).

Die Simulation des Pflanzenwachstums und abschließenden Ertrages in einem Feld mittels APOLLO ermöglicht daher Zonen auszuweisen, in denen eine Ertragsvariabilität nicht über Faktoren wie Wasser oder Nährstoffe bzw. Bodenunterschiede erklärt werden kann (BACHELOR et al. 2002). In diesen Zonen könnten Pflanzenkrankheiten eine mögliche Rolle für eine Ertragsvariabilität spielen. Abbildung

85 verdeutlicht den geschilderten Ansatz und die mögliche systematische Analyse der Ertragsvariabilität basierend auf unterschiedlichen Faktoren.

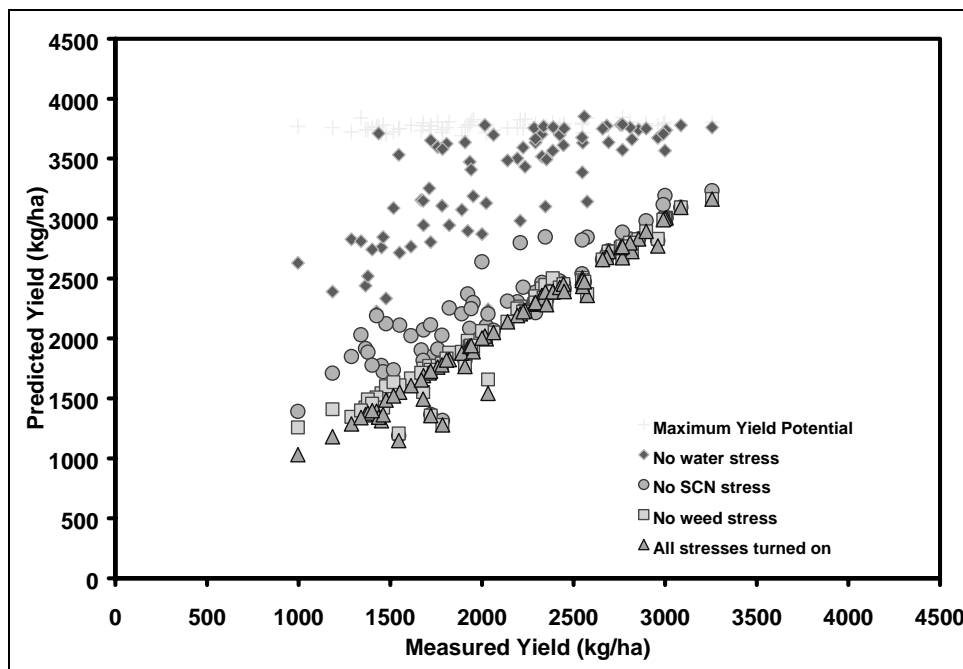


Abbildung 85: Analyse der Ertragsvariabilität basierend auf unterschiedlichen Faktoren (nach BATCHELOR et al. 2002)

Figure 85: Yield gap analysis (adapted from BATCHELOR et al. 2002)

Die modellgestützte Analyse der Ertragsvariabilität innerhalb eines Schlags resultierte in der Ausweisung von Zonen, in denen möglicherweise Pflanzenkrankheiten das Ertragspotenzial limitierten. Die Kopplung der Modellergebnisse mit den Sensormessungen gab in einem ersten Schritt Hinweise darauf, ob tatsächlich ein Krankheitsbefall in diesen Zonen vorlag oder möglicherweise weitere Faktoren (z. B. Unkautbefall etc.) eine Rolle gespielt haben könnten.

Zur Analyse der Auswirkung eines Krankheitsbefalls auf den Ertrag wurde in einem ersten theoretischen Ansatz das Modell mit den Sensordaten gekoppelt. Hierzu wurden sogenannte 'coupling points' (e.g. CARBO = Menge an produzierten Assimilaten) für unterschiedliche Pflanzenorgane definiert. Die gewählten coupling points sind so definiert, dass eine Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums zu korrespondierenden Variablen im Entwicklungsstadium oder der Entwicklungsrate erfolgen kann. Hierzu wurde ein einfacher Ansatz gewählt, der es ermöglicht, die Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums auf die einzelnen coupling points zu übertragen. Der Nutzer muss hierzu den über die Sensormessungen ermittelten Befall zu unterschiedlichen Zeitpunkten innerhalb der Vegetationsperiode als Startwert eingeben, einschließlich des Organs auf den sich die Krankheit auswirkt (z. B. Blatt). Über diesen Ansatz konnte die angestrebte Kopplung aus Modell und Sensormessungen erzielt werden. Ein ähnlicher Ansatz wurde bereits in SOYGRO (JONES et al. 1988), PNUTGRO (BOOTE et al. 1986), CERES-RICE (PINNSCHMIDT et al. 1990) integriert, um die Auswirkung unterschiedlicher Erreger auf den Ertrag verschiedener Kulturen zu simulieren (BATCHELOR et al. 1993).

Einschränkend muss hinzugefügt werden, dass aufgrund der geringen Befallsituation in den Versuchen in Wulfen die entwickelten Modellalgorithmen noch nicht mittels eines unabhängigen Datensatzes validiert werden konnten. Eine Validierung des Modells steht damit noch aus, wobei analog zu BOOTE et al. (1986) und GILBERT (1992) eine sinnvolle Strategie für die Validierung entsprechender Pflanzenkrankheitsmodule gefunden werden muss.

Die detaillierten Ergebnisse dieses Arbeitspaktes werden im Artikel Gröll, K., Graeff, S., Claupein, W: „Model based decision support system for site specific fungicide application (forthcoming)“ veröffentlicht.

Literatur

- BATCHELOR, W.D., J.W. JONES, K.J. BOOTE & H. PINNSCHMIDT (1993): Extending the use of crop models to study pest damage. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (TASAE) 36, 551 – 558.
- BATCHELOR, W.D., B. BASSO & J.O. PAZ (2002): Examples of strategies to analyze spatial and temporal yield variability using crop models. Europ. J. Agronomy 18. 141 – 158.
- BATCHELOR, W.D., J.O. PAZ & K.R. THORP (2004): Development and evaluation of a decision support system for precision farming. In: Proceedings of the 7th Precision Ag Conference [CD-Rom], July 25 – 28, Minneapolis, MN. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- BOOLTINK, H.W.G., B.J. van ALPHEN, W.D. BATCHELOR, J.O. PAZ, J.J. STOOBVOGEL & R.VARGAS (2001): Tools for optimizing management of spatially-variable fields. Agric. Syst., Vol. 70(2 – 3). S. 445 – 476.
- BOOTE, K.J., J.W. JONES, J.W. MISHOE & G.G. WILKERSON (1986): Modeling growth and yield of groundnut. Agrometeorology of groundnut. In Proceedings of an International Symposium, Aug 21 – 25, 1985, ICRISAT Sahelian Center, Niamey, Niger.
- BÖRNER, H. (1990): Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. 6. Auflage, Ulmer Verlag: Ökonomische Schadschwellen und die Bedeutung verbesserte Informationen, Agrarwirtschaft 2/97, S. 90 – 99.
- BRAVO, C., D. MOSHOU, J. WEST, A. McCARTNEY & H. RAMON (2003): Early disease detection in wheat fields using spectral reflectance. Biosystems Engineering, Vol. 84, S. 137 – 145.
- BÜSCHBELL, T. & G.M. HOFFMANN (1992): Die Effekte unterschiedlicher N-Versorgung auf die epidemiologische Entwicklung von Krankheitserregern in Winterweizen und deren Bekämpfung. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Vol.99.
- GILBERT, R. (1992): On-farm testing of the PNUTGRO crop model in Florida. MS Thesis, Agronomy Dept., University of Florida, Gainesville, Fl. 32611.
- JONES, J.W., K.J. BOOTE, S.S. JAGTAP, G. HOOGENBOOM & G.G. WILKERSON (1988): SOYGRO 5.4. Soybean crop growth simulation model user's guide. Florida Agricultural Experiment Station Journal no. 8304, University of Florida, Gainesville, Fl. 32611. 75 pp.
- CARTER, G.A. & R.L. MILLER (1994): Early detection of plant stress by digital imaging within narrow stress-sensitive wavebands. Remote Sensing of Environment, Vol. 50, S. 295 – 302.

- CIE (1986): Colorimetry 2nd ed., Publication CIE No. 15.2. Vienna: Commission Internationale de l'Eclairage.
- EYAL, Z., A.L. SCHAREN, J.M. PRESCOTT & M. van GINKEL (1987): The Septoria diseases of wheat: Concepts and methods of disease management. CIMMYT. Mexico.
- FRANKE, J. & G. MENZ (2007): Multi-temporal wheat disease detection by multi-spectral remote sensing. Precision Agriculture, in press.
- GATES, D.M., H. J. KEEGAN, C.J. SCHLETER & V.R. WEIDNER (1965): Spectral properties of plants. Applied Optics, Vol. 4, S. 11 – 20.
- GRANT, L. (1987): Diffuse and specular characteristics of leaf reflectance. Remote Sensing of Environment, Vol. 22, S. 309 – 322.
- GUYOT, G. (1990): Optical properties of vegetation canopies. In: Steven, M.D. & J.A. Clark [Eds.]: *Applications of Remote Sensing in Agriculture*, Butterworths, London, 1990, pp. 19 – 43.
- HEDKE, K. (1995): Auswirkungen von Anbausystemen auf pilzliche Krankheitserreger im Winterweizen und resultierende Konsequenzen für den Integrierten Pflanzenschutz. Dissertation, Cuvillier Verlag Göttingen.
- HUNT, L.A., J.W. WHITE & G. HOOGENBOOM (2001): Agronomic data: Advances in documentation and protocols for exchange and use. Agric. Syst., Vol. 70, S. 477 – 492.
- JACOBI, J. (2005): Teilflächige Diagnose von Pilzbefall und Stickstoffmangel an Weizen mit Hilfe der optischen Fernerkundung. Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität zu Bonn, Dissertation.
- JONES J.W., G. HOOGENBOOM, C.H. PORTER, K.J. BOOTE, W.D. BATCHELOR, L.A. HUNT, P.W. WILKENS, U. SINGH, A.J. GIJSMAN & J.T. RITCHIE (2003): The DSSAT cropping system model. European Journal of Agronomy, Vol. 18, pp. 235 – 265.
- KING, J.E., J.R. COOK & S.C. MELVILLE (1983): A review of Septoria diseases of wheat and barley. Annual Applied Biology, Vol. 103, S. 345 – 373.
- KLOEPFER, F. (1999): Erfassung der kleinräumigen Heterogenität. KTBL-Schr. – Vertrieb im Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, 122 S.
- KNIPLING, E.B (1970): Physical and Physiological Basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. Remote Sensing of Environment, S. 155 – 159.
- LORENZEN, B. & A. JENSEN (1989): Changes in spectral properties induced in barley by cereal powdery mildew. Remote Sensing of Environment, Vol. 27, S. 201 – 209.
- MALTHUS, T.J. & A.C. MADEIRA (1993): High resolution spectroradiometry: spectral reflectance of field bean leaves Infected by Botrytis fabae. Remote Sensing of Environment, Vol. 45, S. 107 – 116.
- MOSHOU D., C. BRAVO, S. WAHLEN, J. WEST, A. MCCARTNEY, J. DE BAERDEMAEKER & H. RAMON (2006): Simultaneous identification of plant stresses and diseases in arable crops using proximal optical sensing and self-organising maps. Precision Agriculture, 7, 149-164
- PINNSCHMIDT, H., P.S. TENG & J.E. YUEN (1990): Pest effects on crop growth and yield. In Proceedings of the workshop on modeling pest-crop interactions, edited by Teng, P. & H. Yuen, University of Hawaii, Monoa, Honolulu, Hawaii. Jan 7 – 10. pp 26 – 29.

- POLISCHUK V.P., T.M. SHADCHINA, T.I. KOMPANETZ, I.G. BUDZANIVSKAYA, A.L. BOYKO & A.A. SOZINOV (1997): Changes in reflectance spectrum characteristic of *Nicotiana debneyi* plant under the influence of viral infection. *Arch. Phytopathol. u. Pflanzenschutz*, 31, S. 115-119.
- RITCHIE, J.T., U. SINGH, D.C. GODWIN & W.T. BOWEN (1998): Cereal growth, development and yield. S. 79 – 97. In: Tsuji, G.Y., G. Hoogenboom & P.K. Thornton [Ed.]: *Understanding options for agricultural production*. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, the Netherlands.
- SADLER E.J., B.K. GERWIG, D.E. EVANS, W.J. BUSSCHER & P.J. BAUER (2000): Site-specific modeling of corn yield in the SE coastal plain. *Agricultural Systems*, 64, 189-207.
- SASAKI, Y., T. OKAMOTO, K. IMOU & T. TORII (1998): Automatic diagnosis of plant disease: spectral reflectance of healthy and diseases leaves. *Proceedings AgEng'98 Conference*, Oslo, pp. 6.
- SCOTT, K.J. & R.M. SMILLIE (1965): Metabolic regulations in diseased leaves. The respiratory rise in barley leaves infected with powdery mildew. *Plant Physiology*, Vol. 41, S. 289 – 297.
- SLATON, M.S., E.R.JR. HUNT & W.K. SMITH (2001): Estimating near-infrared leaf reflectance from leaf structural characteristics. *American Journal of Botany*, Vol. 88, S. 278 – 284.
- SPICKERMANN, G. (2005): GIS-basierte Erfassung und Prognose der räumlichen Verteilung von Pflanzenkrankheiten. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn.
- WEST, J.S., C. BRAVO, R. OBERTI, D. LEMAIRE, D. MOSHOU & H.A. McCARTNEY (2003): The potential of optical canopy measurement for targeted control of field crop diseases. *Annual Review of Phytopathology*, Vol. 41, S. 593 – 614.

Anschrift der Autoren:**Ms. Sci. agr. Kerstin Gröll**

Universität Hohenheim
Institut für Pflanzenbau (340)
Fruwirthstraße 23
70593 Stuttgart
Telefon: (0711) 459 22221
Telefax: (0711) 459 24344
E-Mail: groell@uni-hohenheim.de

PD Dr. Simone Graeff-Hönninger

Universität Hohenheim
Institut für Pflanzenbau (340)
Fruwirthstraße 23
70593 Stuttgart
Telefon: (0711) 459 22376
Telefax: (0711) 459 24344
E-Mail: graeff@uni-hohenheim.de

Prof. Dr. Wilhelm Claupein

Universität Hohenheim

Institut für Pflanzenbau (340)

Fruwirthstraße 23

70593 Stuttgart

Telefon: (0711) 459 24115

Telefax: (0711) 459 24344

E-Mail: claupein@uni-hohenheim.de

Kapitel 4

Erweiterung und Vereinfachung der Entscheidungsunterstützung in der Pflanzenproduktion bei Einsatz von Precision Farming

4.1 Integrierte Bestandesführung in Precision Farming als zentrale Ebene der Informationsgeleiteten Pflanzenproduktion

Integrated crop management for Precision Farming as the core element of the information driven crop production

Armin Werner & Jürgen Schwarz

Zusammenfassung

Die Bestandesführung ist ein zentraler Bestandteil im Pflanzenbau. Die Maßnahmen der Bestandesführung müssen sinnvoll abgestimmt werden, daher ist die Kenntnis der Wirkungen der Maßnahmen bzw. deren Variation entscheidend. Diese Wirkung wird als Aufwand-Ertragsrelation, oder Produktionsfunktion beschrieben. Deren Ableitung war ein Hauptziel dieses Teilprojekts.

Auf den Pilotbetrieben (i) WIMEX in der Region Köthen (Durchschnittstemperatur 9,0 °C, Jahresdurchschnittsniederschlag 470 mm, gekennzeichnet durch Vorsommertrockenheit) und (ii) Tägerfarny in der Region Wolfsburg (Durchschnittstemperatur 8,4 °C, Jahresdurchschnittsniederschlag 600 mm) wurden umfangreiche Systemversuche zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung angelegt. Diese Versuche wurden auch von anderen Teilprojekten (vergl. Kapitel 4.2, 6.1 und 6.3) genutzt.

In jedem Versuchsjahr (2005 bis 2007) wurden auf jeweils zwei Winterweizenschlägen unter anderem Großparzellen (ca. 3.600 m² bis zu 4.800 m²) und Kleinparzellen (Druschfläche 30 m²) angelegt. Diese Versuchsanlagen wurden mit sieben Stickstoffstufen – von 30 bis 210 kg N/ha – gedüngt. Im Jahr 2006 konnten aus Fruchtfolgegründen nur fünf Stickstoffstufen bei den Großparzellen und sechs bei den Kleinparzellen realisiert werden. Diese Stufen wurden sowohl bei den Groß-, als auch bei den Kleinparzellen mehrfach wiederholt.

Die Ernte der Kleinparzellen erfolgte mit spezieller Technik, die Ernte der Großparzellen mit Betriebstechnik.

Die Ertragsrohdaten der Großparzellen wurden mittels eines standardisierten Algorithmus korrigiert (NOACK et al. 2001) und in Ertragsblöcken zusammengefasst, bei den Kleinparzellen war nur eine Umrechnung auf den Hektarertrag nötig.

Es zeigt sich, dass die Erträge im Betrieb WIMEX nur wenig auf das steigende Stickstoffangebot reagieren. Dies gilt sowohl für die Klein-, als auch die Großparzellen. Sofern man allerdings die Ertragszonenkarten hinterlegt, kann eine deutliche Reaktion der Erträge auf die N-Düngung gezeigt werden. Die ertragslimitierende Wasserversorgung der Standorte dieses Betriebes spiegelt sich dadurch deutlich wieder. Hier zeigt sich, dass zusätzliche Informationen im Pflanzenbau sowohl einen ökonomischen, als auch ökologischen Nutzen bringen.

Neben diesen Arbeiten wurden durch das Teilprojekt umfangreiche inhaltlich und fachlich abzustimmende Arbeiten auf den Pilotbetrieben für den Gesamtverbund erledigt. Das Teilprojekt fungierte dabei als zentrale Koordinierung der pflanzenbaulich ausgerichteten Forschungsarbeiten des Forschungsverbundes auf den Betrieben. Im Rahmen dieser Aufgaben wurde auch der sogenannte „Anwendungsschlag“ und die externe Durchführung von Bonituren der Projektexperimente betreut.

Summary

Crop management is a main component of agricultural crop production. The single measurements of the crop management should be usefully combined. For that reason knowledge of the impacts of these measurements and their variation are important. The quantitative relationship between changing degrees of management and the resulting impact onto crop yield are called production functions. To derive proper crop measurements in site specific farming and prepare for that the basics of crop production functions was a main target of this subproject.

Various systems of field trials for nitrogen application were established at the farm WIMEX in the region Köthen (Saxony-Anhalt) and the farm Täger-Farny in the region Wolfsburg (Lower-Saxony). The farm WIMEX has a size of about 7,000 hectares with a mean annual temperature of 9.0°C and a long term annual average in precipitation of 470 mm. The region is characterized by early summer droughts. The farm Täger-Farny has a size of about 450 hectares with a mean annual temperature of 8.4°C and a long term annual average in precipitation of 600 mm. The data of the field trials were additionally used by other subproject of *pre agro* (see chapters 4.2, 6.1 und 6.3).

At two winter wheat fields on WIMEX farm big scale plots (ca. 3,600 m² up to 4,800 m²) and small scale plots (harvested area 30 m²) were established in each year (2005 – 2007).

At these plots seven different nitrogen amounts were fertilised, with a range from 30 up to 210 kilogram nitrogen per hectare. Because of crop rotation reasons only five different nitrogen amounts for big scale plots and six for small scale plots were established in 2006.

The different nitrogen amounts were repeated several times for the both big and small scale plots.

The harvest of the small scale plots was done with experimental plot equipment (plot harvester combine). The harvest of the big scale plots was accomplished with a regular combine.

The raw data from yield values of the big scale plots were corrected with a standardized algorithm (NOACK et al. 2001) and clustered to yield blocks. Yield data for small scale plots were set up to the sizes of one hectare.

The analysis of the experimental results show that the different nitrogen fertilizer amounts affect the yield only in a minor way. This is true for both, small and big scale plots. But addressing the different yield zones (management zones) a clear response to the yield can be established. This shows that additional information for crop production has also an economical and ecological benefit.

Beyond this work substantial services for the whole project were also carried out by this subproject. This subproject coordinated the practical and experimental agronomic work of the subprojects the experimental farms. That included also the so called “field for applying the results” and the external ratings.

4.1.1 Einleitung und Problemstellung

Die teilflächenspezifische Bewirtschaftung, das Precision Farming, ist im Idealfall eine Kombination von unterschiedlichen zielgerichteten Bestandesführungsmaßnahmen im Rahmen der Pflanzenproduktion. Diese Bearbeitungsmaßnahmen müssen sinnvoll aufeinander abgestimmt werden. Die Entscheidungsfindung der Maßnahmengestaltung setzt voraus, die graduellen Wirkungsweisen der einzelnen teilflächenspezifischen Maßnahmen auf den potentiellen Ertrag zu kennen. Die Kenntnis dieser Aufwand-Ertragsrelationen oder auch Produktionsfunktionen ist daher von ausschlaggebender Wichtigkeit.

Die Bedeutung der Aufwand-Ertragsrelation wurde schon sehr früh in der Agrarforschung erkannt. Um 1850 wurde von Justus von Liebig das „Gesetz des Minimums“ postuliert, welches besagt, dass das Wachstum der Pflanze von dem Nährstoff gehemmt wird, welcher am meisten im Minimum ist. Dies wurde durch das sog. Liebig'sche Fass visualisiert. MITSCHERLICH (1956) fand das „Gesetz der abnehmenden Ertragszuwächse“, welches besagt, dass bei steigendem Faktoreinsatz (z. B. Dünger), der Ertrag dazu nicht proportional ansteigt.

Die Reaktion des Ertrags ist teilweise unerwartet und nicht linear bezogen auf die Wachstumsfaktoren, welche vom Landwirt beeinflusst werden können (ANDERSEN 1992).

Daher sind spezifische Anstrengungen nötig, um die optimalen Kombinationen von kontrollierbaren Wachstumsfaktoren für jede Teilfläche zu finden (ROBERT & IREMONGER 2003).

Die Ableitung dieser Aufwand-Ertragsrelationen ist ein Kernziel des Teilprojektes. Hierbei ist zu prüfen mit welchen Methoden und welcher Genauigkeit Aufwand-Ertragsrelationen unter praktischen Feldbedingungen zu ermitteln sind. Aus der Literatur (z. B. TOMPKINS et al. 1991) sind z. B. Produktionsfunktionen in Abhängigkeit von Aussaatdichte und Ertragsbedingungen beschrieben (vgl. Abbildung 86).

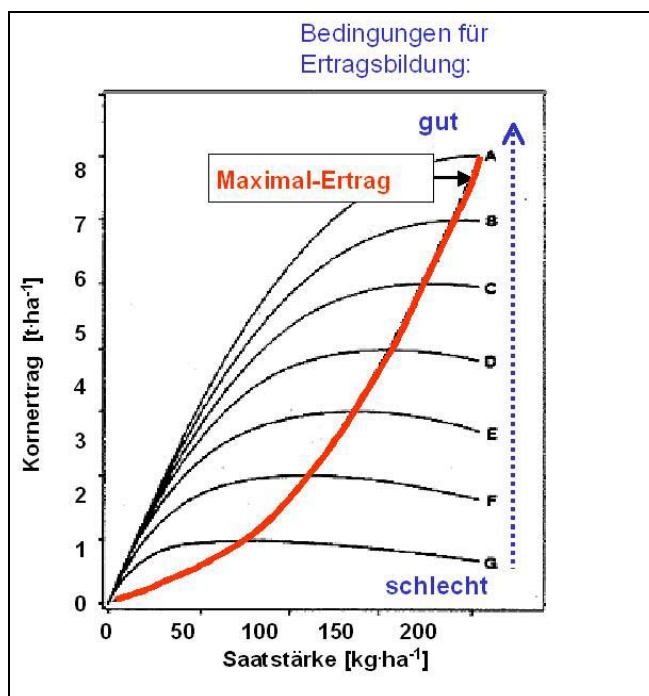


Abbildung 86: Schema zur Ableitung von Produktionsfunktionen als Aufwands-Ertragsrelationen bei unterschiedlicher Standortgüte (Quelle: TOMPKINS et al. 1991, modifiziert)

Figure 86: Scheme in deriving production functions as yield responses on varying inputs on different site qualities (Source: TOMPKINS et al. 1991, adapted)

Abbildung 86 macht deutlich, dass je nach den Bedingungen der Ertragsbildung (z. B. Boden), die Produktionsfunktionen sehr unterschiedlich ausfallen. Diesen zentralen Punkt gilt es bei der Anlage von Versuchen zu berücksichtigen.

4.1.2 Arbeiten für den Verbund

Neben der eigenständigen wissenschaftlichen Arbeit fungierte das TP 9 auch als zentrales Projekt zur Koordinierung der Feldversuche auf den beiden Pilotbetrieben des Forschungsverbundes. Dabei mussten die unterschiedlichen Ansprüche der Versuchsansteller einerseits, z. B. Fruchtart, Flächengröße und die Bedürfnisse der Betriebe andererseits in Einklang gebracht werden.

Die Daten der Systemversuche wurden von den TPen 3 (Wirtschaftlichkeit, Kapitel 6.1), 4 (Naturschutz, Kapitel 6.3), 10 (Pflanzenschutz, Kapitel 4.3), 11 (On-Farm-Experimente, Kapitel 4.2) und 12 (Nahsensorik, Kapitel 3.5) in unterschiedlicher Ausprägung genutzt. Partiiell fand auch eine gemeinsame Planung und Anlage der Feldversuche statt. Durch die Personalunion des Bearbeiters von TP 9 und Projektkoordinators der Projektbereiche 3 und 4, waren umfangreiche Kenntnisse der Versuchsdurchführungen und Ansprüche der beteiligten Teilprojekte gewährleistet. Somit konnten Reibungsverluste vermieden werden.

Leider war die personelle Kontinuität hinsichtlich des vom Betrieb bereitgestellten Betreuers auf dem Pilotbetrieb WIMEX nicht gegeben. In jedem Versuchsjahr stand dem Projekt ein anderer Betreuer der Versuche zur Verfügung. Das TP 9 fungierte auch hier als Ansprechpartner und ermöglichte eine kontinuierliche und reibungsarme Kommunikation mit dem Betrieb.

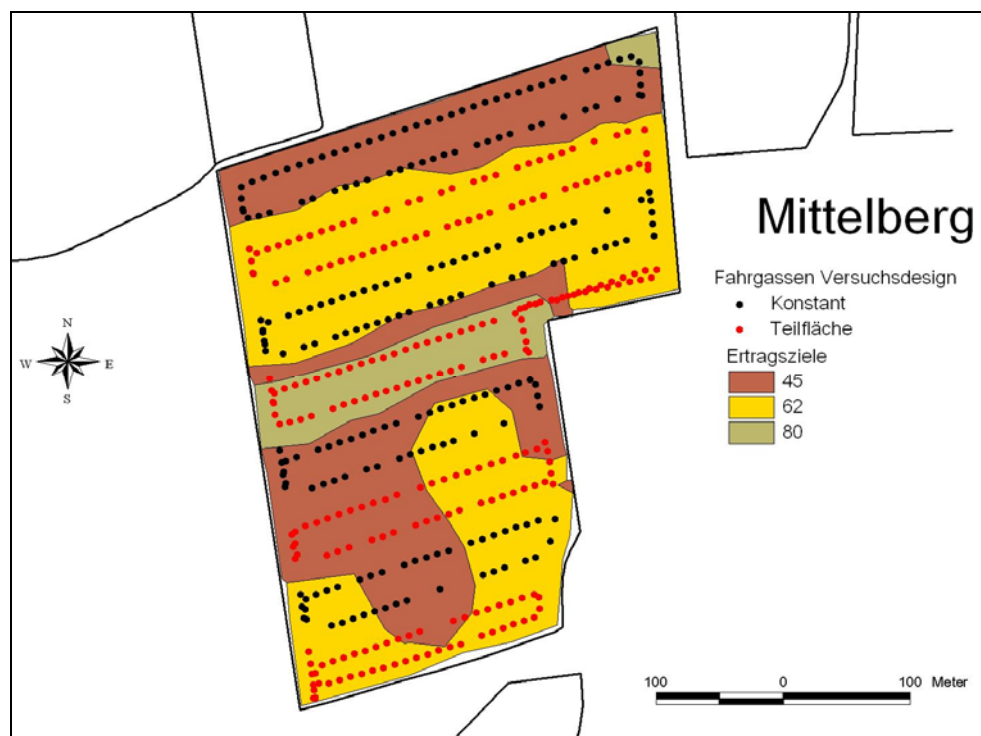


Abbildung 87: Ertragszielkarte (dt/ha) und Versuchsdesign zur N-Düngung (Konstant/Teilfläche) des Versuchsschlags „Auf dem Mittelberg“, Betrieb Täger-Farny

Figure 87: yield-expectation map (dt/ha) and experimental design for nitrogen application (constant/site-specific) of the trial field “Auf dem Mittelberg”, farm Täger-Farny

Im Versuchsjahr 2007 wurden auf den beiden Betrieben jeweils auf einem Schlag („Anwendungsschlag“) mehrere von den Teilprojekten bis zum Frühjahr 2007 entwickelte Verfahren des Precision Farming zeitgleich eingesetzt. Es wurde z. B. mittels des Saatmoduls aus *pre agro* I die Aussaat be-

rechnet und mittels der Ertragszielkarten des TP 15 aus *pre agro* II (vgl. Kapitel 3.3) die N-Düngung entsprechend den zu erwartenden Erträgen angepasst (siehe auch Abbildung 87).

Die Lenkung und Verknüpfung dieser verschiedenen Verfahren auf den Anwendungsschlägen wurde durch das TP 9 ausgeführt.

Ferner oblag dem TP 9 auch die Veranlassung und Betreuung der projektextern durchgeführten Bonituren der Jahre 2006 und 2007 durch die Firma BioChem. Dabei wurden Daten für das erweiterte Ground truthing erhoben, ebenso Datensätze für die Modellierung von Ertragserwartungskarten.

4.1.3 Material und Methode

Feldversuche, in unterschiedlichen Ausprägungen, wurden auf beiden Betrieben, Täger-Farny und WIMEX, angelegt.

Der Betriebe WIMEX liegt in Sachsen-Anhalt, Region Köthen (Lößgebiet). Der Betrieb umfasst eine Fläche von ca. 7.000 ha, die Hauptanbaufrüchte sind Winterweizen, Körnermais, Sommergerste und Raps. Die Durchschnittstemperatur der letzten Jahre betrug 9,0 °C, der durchschnittliche Jahresniederschlag 470 mm. Die klimatischen Verhältnisse sind von Vorsommertrockenheit gekennzeichnet. Die Größe der Felder kann bis zu 120 ha betragen. Die Arbeitsbreite der Applikationstechnik betrug in den Jahren 2005 und 2006 24 m und im Jahr 2007 36 m.

Der Betrieb Täger-Farny liegt in Niedersachsen, Region Wolfsburg. Der Betrieb umfasst eine Fläche von 450 ha, die Hauptanbaufrüchte sind Winterweizen, Zuckerrüben und Winterraps. Die Durchschnittstemperatur der letzten Jahre betrug 8,4 °C, der durchschnittliche Jahresniederschlag 600 mm. Die Größe der Felder ist hier deutlich kleiner. Die Arbeitsbreite der Applikationstechnik betrug in allen Jahren 27 m.

Die Untersuchungsjahre 2005, 2006 und 2007 zeichnen sich durch stark unterschiedliche Witterungsverläufe aus. Das Jahr 2005 folgte dem durchschnittlichen Verlauf, allerdings mit starken Niederschlägen zur Winterweizenernte. Dies führte zu Einbußen, insbesondere an Qualität (Rohprotein). Das Jahr 2006 war durch eine starke Trockenheit nach der zweiten N-Gabe des Weizens bis zum Zeitpunkt der dritten N-Gabe des Weizens gekennzeichnet. Daher muss die Wirksamkeit der N-Gaben kritisch betrachtet werden, dies findet sich auch in hohen Rohproteingehalten zur Ernte wieder. Im Jahr 2007 setzte die Trockenheit deutlich früher ein, so dass teilweise bei weit entwickelten Beständen (frühe Herbstsaat) Trockenschäden auftraten.

Ertragszonen

Durch das Vorgängerprojekt *pre agro* I wurden auf dem Betrieb WIMEX Ertragszonenkarten erstellt (vgl. DOHMEN 2004). Dabei wurden mittels Maximum-Likelihood Klassifikation drei Ertragszonen („gut“ – „mittel“ – „schlecht“) erstellt (vgl. Abbildung 88). Diese Ertragszonen wurden bei der Versuchsanlage berücksichtigt.

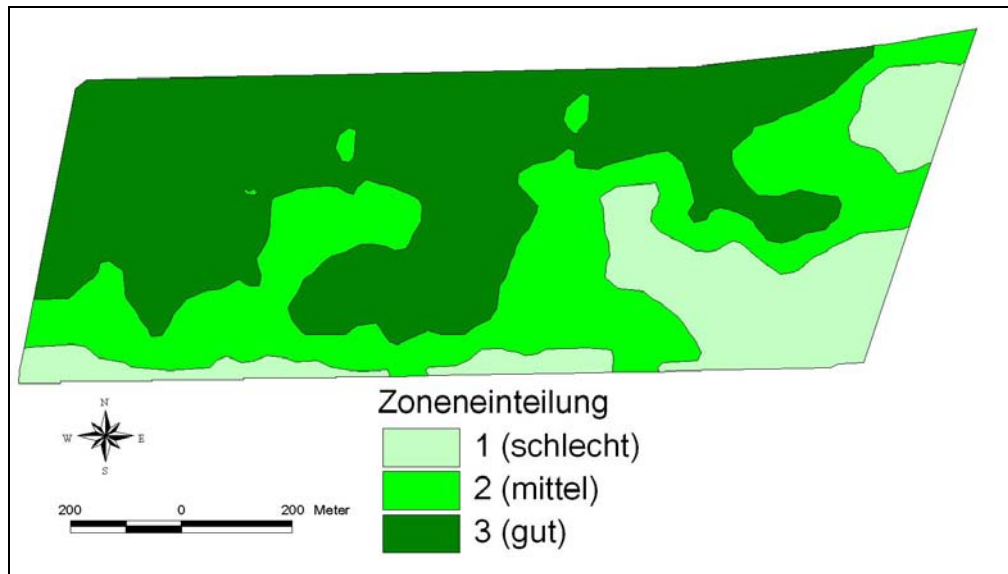


Abbildung 88: Verteilung der Ertragszonen auf dem Schlag 231 (Pfungstbreite)

Figure 88: Distribution of yield zones at field 231 (Pfungstbreite)

Systemversuche zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung

Als Beispiel seien hier die Systemversuche zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung genannt. Im Rahmen der informationsgeleiteten Pflanzenproduktion wurden folgende Düngersysteme für als wesentlich eingestuft und auf dem Betrieb WIMEX realisiert:

- **Konventionelle Düngung**, die Düngung erfolgt nach Vorgaben des Betriebsleiters, oder einer Beratungsorganisation. Es liegen keine aktuellen Informationen über den Standort (Bodenkarte) oder den aktuellen Pflanzenbestand vor. Ein derartiges Düngungssystem stellt den Standard auf vielen landwirtschaftlichen Betrieben dar.
- **Bodenkarte nach System Wagner**, der Schlag ist in drei Zonen bezüglich seiner Ertragsfähigkeit eingeteilt. Die Höhe der Düngergaben wird durch die historische Ertragsfähigkeit dieser Zonen bestimmt, ergänzend werden z. T. noch Fernerkundungsinformationen verwendet. Dieses Düngungssystem wird als ‚mapping approach‘ betrachtet.
- **Yara N-Sensor**, der aktuelle Pflanzenbestand, hier der N-Bedarf beeinflusst die Höhe der Stickstoffdüngung, sofern ein gewisses Entwicklungsstadium erreicht ist. Sofern bei der ersten Düngergabe dieses Entwicklungsstadium noch nicht erreicht ist, erfolgt eine alternative Festlegung der ersten Gabe. Dieses Düngesystem wird als ‚online approach‘ betrachtet.
- **Hybrides System (nur 2005)**, dieses Düngersystem koppelt den Einsatz des Yara N-Sensors, also aktuelle Bestandesinformationen, mit der Verwendung einer Karte, also Bodeninformationen. Es wird somit erreicht, dass der Sensor eine weitere Informationsebene erhält. Sofern bei der ersten Düngergabe ein entsprechendes Entwicklungsstadium noch nicht erreicht ist, erfolgt eine alternative Festlegung der ersten Gabe.
- **Großparzellen und Kleinparzellen**, dieses Düngesystem bildet ein steigendes Stickstoffangebot ab. Diese Experimente sind für das Finden von Response-Funktionen für den Steuerfaktor ‚N-Zufuhr‘ in der Pflanzenproduktion unerlässlich. Zugleich soll die Übertragbarkeit „klassischer“ Kleinparzellenversuche auf Großparzellen getestet werden.

Die nachfolgende Tabelle 29 zeigt die Übersicht über die Winterweizenversuchsschläge der einzelnen Versuchsjahre auf dem Betrieb WIMEX und deren experimentelle Nutzung.

Tabelle 29: Versuchsschläge auf dem Betrieb WIMEX und deren Nutzung

Table 29: Experimental field sites with their experimental usage at the farm WIMEX

Versuchsjahr	Feldnummer (Feldname)			
	231 (Pfungsbreite)	411 (Wolfswinkel)	432 (Trinumer Feld)	631 (Weinberg)
2005	Systemversuche Großparzellen Kleinparzellen		Systemversuche Großparzellen Kleinparzellen	
2006	Systemversuche Großparzellen Kleinparzellen	Systemversuche Großparzellen Kleinparzellen		
2007			Systemversuche Großparzellen Kleinparzellen	Systemversuche Großparzellen Kleinparzellen

Alle drei Versuchstypen, Systemversuche, Groß- und Kleinparzellen, wurden mit betriebseigener Technik durchgeführt und waren in den normalen pflanzenbaulichen Ablauf eingebunden. Lediglich die Beerntung der Kleinparzellen erfolgte in allen drei Jahren mit spezieller Kleinparzellentechnik der Forschungsstation des ZALF, Außenstelle Müncheberg (siehe Abbildung 89).



Abbildung 89: Erntetechnik für die Kleinparzellenversuche

Figure 89: Combine harvester on the small scale plots

Auf dem Betrieb WIMIX betrug im Jahr 2005 die Arbeitsbreite 24 m, die Stickstoffdüngung erfolgte in flüssiger Form (Ammoniumnitrat-harnstofflösung AHL). Es konnten hier 3 m Teilbreiten geschaltet werden, dies war für die Anlage der Kleinparzellen wichtig (vgl. Abbildung 91).

Im Jahr 2006 wurde durch den Betriebsleiter die Arbeitsbreite im Betrieb auf 36 m erhöht, auf den erwähnten Versuchsschlägen wurde jedoch auf Wunsch des Forschungsverbundprojektes weiter mit 24 m Arbeitsbreite gearbeitet. Es erfolgte eine Stickstoffdüngerapplikation in fester Form (Harnstoff),

die Teilbreitenschaltung des Düngerstreuers betrug 6 m, daher musste das Design der Kleinparzellen (vgl. Abbildung 91) geändert werden.

Im Versuchsjahr 2007 wurde die Arbeitsbreite des Betriebs schließlich generell auf 36 m umgestellt, daher musste erneut das Design der Kleinparzellen modifiziert werden. Der Stickstoffdünger wurde in fester Form als Harnstoff appliziert.

Die Breite der Kleinparzellen betrug in allen Versuchsjahren 3 m und die Länge 15 m. Der Drusch wurde als Kerndrusch (2 m Breite) durchgeführt, so dass sich je Kleinparzelle eine Fläche von 30 m² ergibt.

Die Großparzellen mussten ebenfalls in ihrem Design den wechselnden Arbeitsbreiten angepasst werden. In den Jahren 2005 und 2006 betrug die Länge der Großparzellen 100 m und die Breite 48 m (doppelte Arbeitsbreite). Im Jahr 2007 betrug die Länge ebenfalls 100 m, die Breite 36 m (einfache Arbeitsbreite). Daraus ergeben sich (Brutto-)Flächen von 4.800 m² in den Jahren 2005 und 2006 und 3.600 m² im Jahr 2007. Ein Beispiel für die Systemversuche zeigt die Abbildung 90.

Die unterschiedlichen Arbeitsbreiten wurden bei der Erstellung aller Versuchstypen berücksichtigt. Besonders die Länge der Versuchsglieder kann die Genauigkeit der Messungen entscheidend beeinflussen (WUEST et al. 1994).

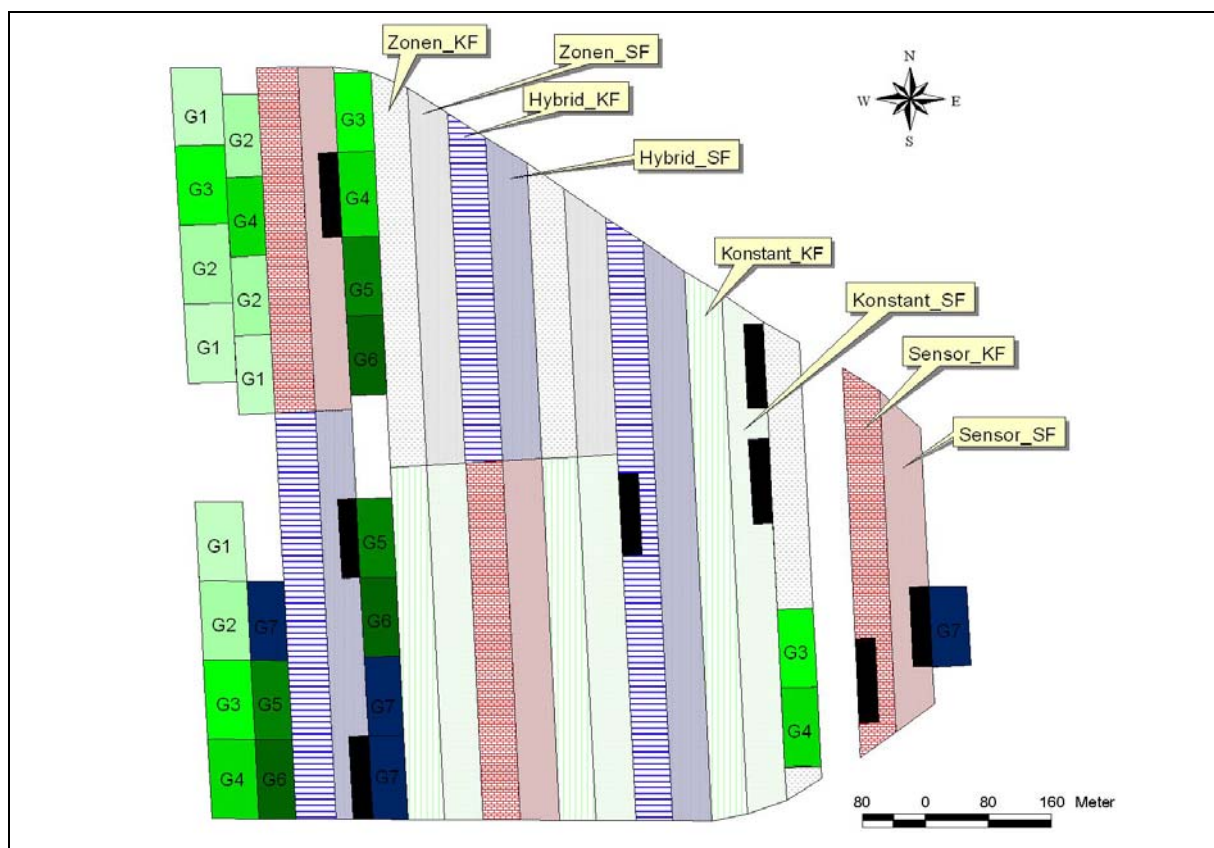


Abbildung 90: Beispielhaftes Design eines Stickstoffversuchs mit Einbettung der Großparzellen (G1 ... G7) und Kleinparzellen (schwarze Flächen)

Figure 90: Example of a field trial for nitrogen application with regard to the big scale plots (G1 ... G7) and the small scale plots (black areas)

- Schlag 231, Jahr 2006, 10 Großparzellen (2 je N-Stufe), 72 Kleinparzellen (12 je N-Stufe)
- Schlag 411, Jahr 2006, 20 Großparzellen (4 je N-Stufe), 144 Kleinparzellen (24 je N-Stufe)
- Schlag 432, Jahr 2007, 14 Großparzellen (2 je N-Stufe), 252 Kleinparzellen (36 je N-Stufe)
- Schlag 631, Jahr 2007, 14 Großparzellen (2 je N-Stufe), 252 Kleinparzellen (36 je N-Stufe)

Die Ertragsrohdaten der Großparzellen wurden mittels einer in *pre agro* I standardisierten Methoden bearbeitet (NOACK et al. 2001). Die Daten wurden auf 14 % Feuchte standardisiert. In den Jahren 2005 und 2007 wurden Ertragsblöcke mit einer Seitenlänge von 12 m auf 12 m bzw. 12,5 m auf 12,5 m berechnet, im Jahr 2006 waren dies 25 m auf 25 m. Nur Ertragsblöcke von denen mehr als die Hälfte der Fläche in der entsprechenden Großparzelle und Ertragszone waren wurden für die Berechnung berücksichtigt.

Bei den Kleinparzellen lag für jede Parzelle der auf dieser Fläche geerntete Ertrag vor, dieser musste nur auf 14 % Feuchte korrigiert und auf den Hektar hochgerechnet werden.

Zur besseren Vergleichbarkeit werden alle Erträge in prozentualen Angaben gezeigt. Somit können mehrere Jahre verglichen werden.

Aufgrund von technischen Schwierigkeiten und Problemen (z. B. falsche Düngergabe, fehlender Rückschrieb, teilweiser Drusch der Kleinparzellen mit Großtechnik, etc.) konnten nicht alle Versuchsglieder in den Jahren zur Auswertung gelangen.

Die kleineren Flächen auf dem Betrieb Täger-Farny stellten sich als Schwierigkeit beim Erarbeiten der Versuchsdesigns heraus. Daher wurde z. B. auf die Anlage von Kleinparzellen verzichtet.

4.1.4 Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse der einzelnen Schläge und Jahre näher betrachtet und erläutert. Die Abbildung 92 zeigt die Reaktion des Ertrages der Großparzellen auf das steigende Stickstoffangebot ($G1 = 30 \text{ kg N/ha}$... $G7 = 210 \text{ kg N/ha}$, vgl. Tabelle 30) des Schlages 231 im Jahr 2005. Die Produktionsfunktion verläuft sehr flach, lediglich bei $G3$, also 90 kg N/ha , ist eine leichte Reaktion (111 %) zu sehen. Auf dem Schlag 432 ergeben sich im Jahr 2005 bei den Großparzellen ähnliche Tendenzen, allerdings werden hier bereits bei der Stufe $G2$ (60 kg N/ha) hohe Erträge realisiert.

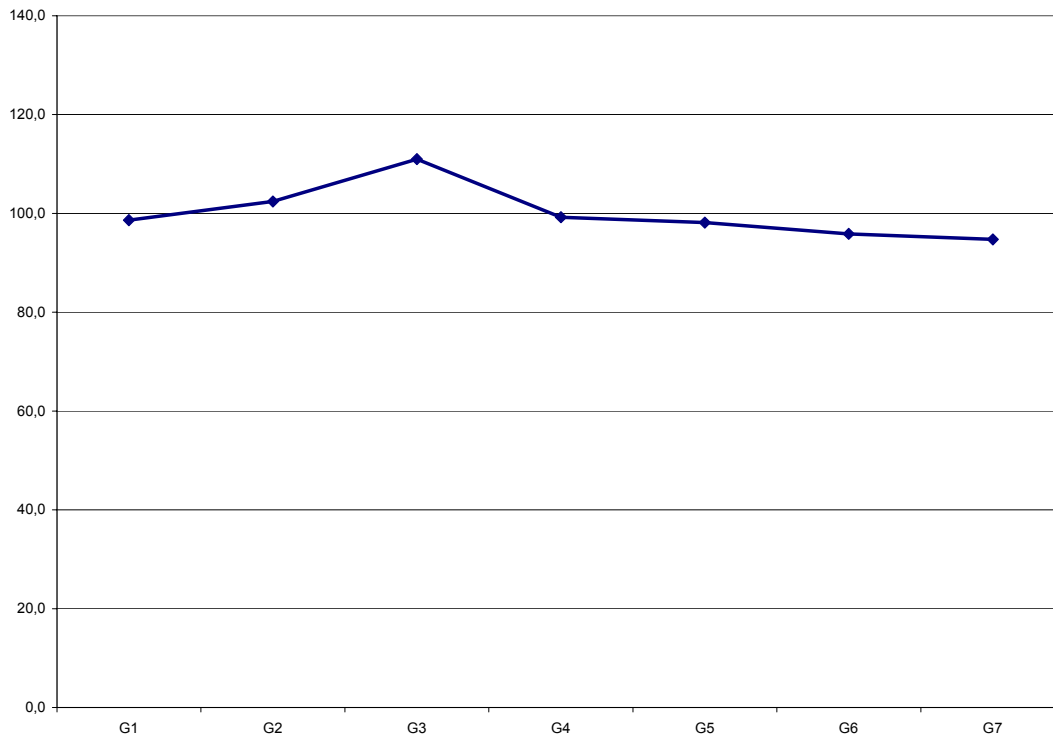


Abbildung 92: Reaktion des Ertrages auf steigendes Stickstoffangebot, Schlag 231, Jahr 2005, Großparzellen

Figure 92: Yield response on increasing nitrogen, field 231, year 2005, big scale plots

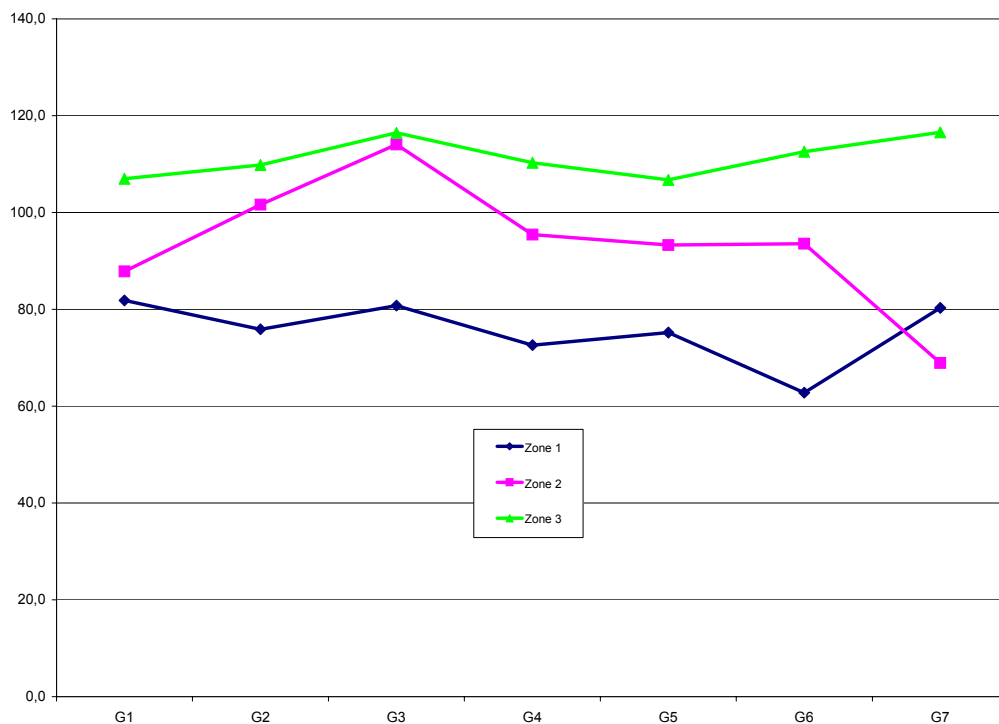


Abbildung 93: Reaktion des Ertrages auf steigendes Stickstoffangebot, Schlag 231, Jahr 2005, Großparzellen, unter Berücksichtigung der Ertragszonen (Zone 1 = niedrige Ertragserswartung)

Figure 93: Yield response on increasing nitrogen, field 231, year 2005, big scale plots with regard to yield zones (Zone 1 refers to “low yield expectation”)

Sobald man jedoch die Erträge mittels der bekannten Ertragszonen (vgl. Abbildung 88) unterlegt, ergibt sich ein anderes Bild (vgl. Abbildung 93).

Die Ertragszonen bilden sich klar ab, die Ertragszone 1 (typischerweise niedrige Erträge) reagiert kaum auf das steigende Stickstoffangebot und erreicht Erträge von ca. 80 % des Ertragsdurchschnittes. Die Ertragszone 3 (typischerweise hohe Erträge) hingegen liegt immer deutlich über dem Schlagdurchschnitt von 100 % und reagiert bis zur Stufe G3 (90 kg N/ha) auf das steigende Stickstoffangebot. Die mittlere Ertragszone 2 zeigt ebenfalls ein Ansprechen auf das steigende Stickstoffangebot und erreicht bei der Stufe G3 (90 kg) beinahe den Ertrag der Zone 3. Allerdings fällt der Ertrag bei weiter steigenden Stickstoffgaben deutlich stärker ab, als in der Zone 3.

Für die Kleinparzellen ergibt sich ein ähnliches Bild der Wirkung zunehmender N-Gaben auf die Erträge wie bei den Großparzellen, (vgl. Abbildung 94). Auch hier erfolgt eine sehr flache Reaktion auf steigende Stickstoffgaben, der Peak bei Stufe 3 (90 kg N/ha) ist hier nicht zu finden.

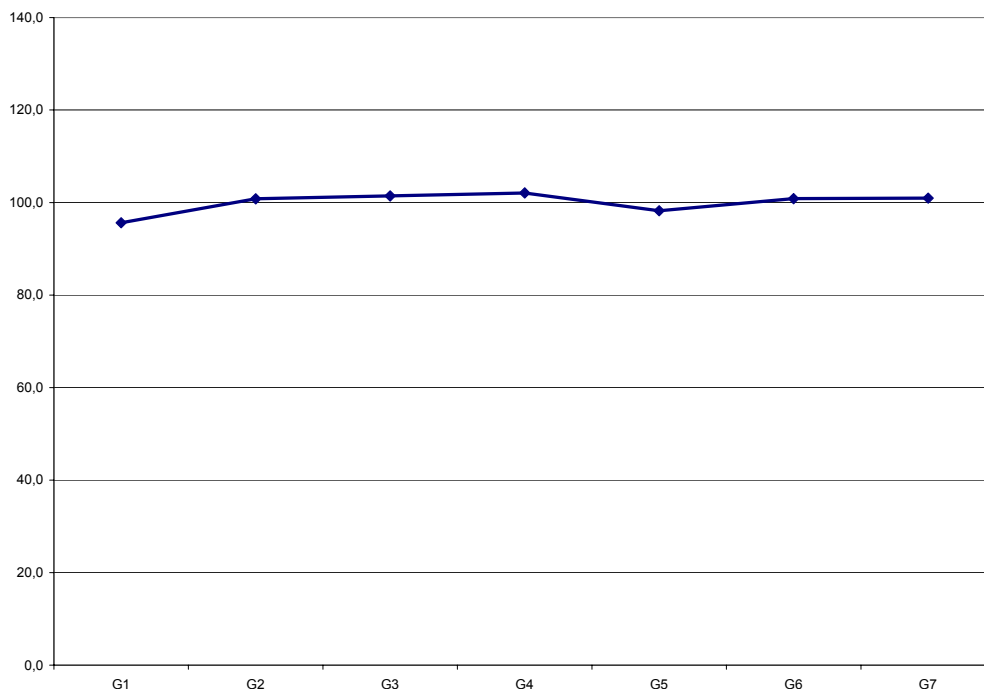


Abbildung 94: Reaktion des Ertrages auf steigendes Stickstoffangebot, Schlag 231, Jahr 2005, Kleinparzellen

Figure 94: Yield response on increasing nitrogen, field 231, year 2005, small scale plots

Die Aufspaltung in die drei Ertragszonen bringt bei den Kleinparzellen ein interessantes Bild (vgl. Abbildung 95). Hier zeigt sich die „Schichtung“ der einzelnen Ertragszonen noch deutlicher als bei den Großparzellen. Insbesondere die Zone 1 (typischerweise niedrige Erträge) fällt deutlich ab. Der Anstieg des Ertrags bei steigendem Stickstoffangebot ist nicht so deutlich ausgeprägt, wie bei den Großparzellen. Lediglich bei der Zone 3 (typischerweise hohe Erträge) steigt der Ertrag von der ersten Stickstoffstufe G1 (30 kg N/ha) zur zweiten Stickstoffstufe G2 (60 kg N/ha) etwas an.

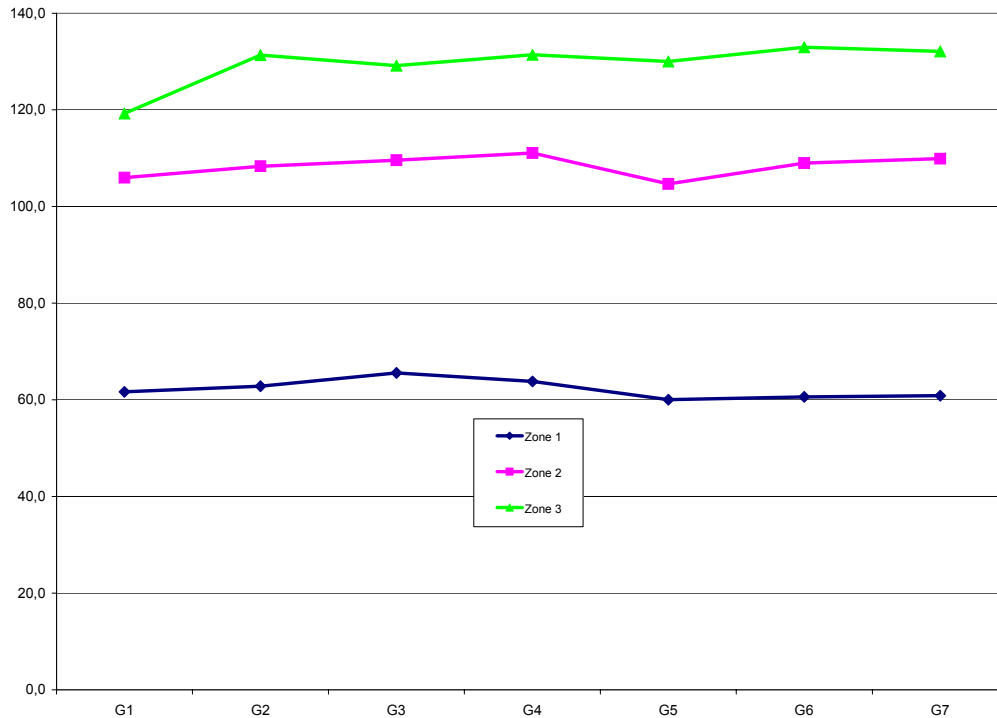


Abbildung 95: Reaktion des Ertrages auf steigendes Stickstoffangebot, Schlag 231, Jahr 2005, Kleinparzellen, unter Berücksichtigung der Ertragszonen (Zone 1 = typischerweise niedrige Erträge)

Figure 95: Yield response on increasing nitrogen, field 231, year 2005, small scale plots with regard to yield zones (Zone 1 refers to “typically low yields”)

Die Ergebnisse der anderen beiden Versuchsjahre 2006 und 2007 sind im Prinzip sehr ähnlich denen des Jahres 2005. Es zeigt sich immer wieder kaum eine Reaktion des Ertrages auf ein steigendes Stickstoffangebot durch N-Dünger, sofern man die kompletten Daten betrachtet. Sobald jedoch die Daten mit den unterlegten Ertragszonen betrachtet bilden sich klare Trends heraus.

Die Ertragszone 1 (typischerweise niedrige Erträge) erntet in allen Jahren und unabhängig von Groß- oder Kleinparzellen schlechter als die Ertragszonen 2 (typischerweise mittlere Erträge) und 3 (typischerweise hohe Erträge). Bei den Ertragszonen 2 und 3 sind die Abstände, bedingt nach den verschiedenen Erntejahren, teilweise nicht so deutlich (vgl. z. B. Abbildung 93, Stufe G3).

Bei den Kleinparzellen finden sich deutlichere Abstände der Erträge zwischen den drei Ertragszonen. Dies kann ein Indiz für Heterogenität innerhalb der Großparzellen sein, da diese deutlich mehr Druschfläche repräsentieren als die Kleinparzellen.

Die pflanzenbaulich höchsten Erträgen werden regelmäßig bei sehr geringen Stickstoffstufen (meist G3 = 90 kg N/ha und G4 = 120 kg N/ha) gefunden. Dieser Trend ist für die Groß- und Kleinparzellen nahezu identisch. Auch hier ergeben sich kaum Verschiebungen innerhalb der drei Versuchsjahre. Teilweise steigen die Produktionsfunktionen bei sehr hohen Stickstoffgaben (G6 = 180 kg N/ha oder G7 = 210 kg N/ha) wieder an.

Durch die Einbeziehung der Informationsschicht „Ertragszonen“ ist es möglich für jede Ertragszone eine separate Produktionsfunktion auszuweisen. Dies zeigt einerseits, dass die Ertragszonen richtig ausgewiesen wurden, andererseits ist es so möglich Betriebsmittel (Dünger) einzusparen. Diese Einsparpotentiale nutzen sowohl ökologisch, als auch ökonomisch.

Danksagung

Wir bedanken uns sehr herzlich bei den Leitern der Pilotbetriebe, den Herren Ulrich Wagner und Wolfgang Täger-Farny für die Möglichkeiten der Versuchsdurchführung auf ihren Betrieben. Bei diesem Dank schließen wir auch die Mitarbeiter der beiden Betriebe ein, die durch die Versuchsdurchführungen teilweise erhebliche Mehrarbeit hatten.

Literatur

- ANDERSON, M.D. (1992): Reasons for New Interest in On-Farm Research. *Biol. Agric. & Hortic.*, Vol. 8, S. 235 – 250.
- DOHMEN, B. (2004): Ausweisung von Ertragszonen mit der Maximum-Likelihood-Methode, In: Hufnagel, J., R. Herbst, A. Jarfe & A. Werner [Ed.] 2004: Precision Farming. Analyse, Planung, Umsetzung in die Praxis. KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH Münster, KTBL-Schrift 419, S. 3.2-87-3.2.-89.
- MITSCHERLICH, E.A. (1956): Ertragsgesetzte, Berlin : Akademie-Verlag, 75 Seiten.
- NOACK, P., T. MUHR & M. DEMMEL (2001): Long term studies on determination and elimination of errors occurring during the process of georeferenced yield data collection on combine harvesters, Grenier, G. & S. Blackmore [Eds.]: ECPA 2001. Third European Conference on Precision Agriculture. Agro Montpellier. Ecol Nationale Supérieure Agronomique. Montpellier (France). Vol. 2, S. 833 – 837.
- ROBERT, C.P. & C.J. IREMONGER (2003): The critical challenge of learning precision agriculture new skills: Grower learning groups and on-farm trials. In: Stafford, J & A. Werner: Precision Agriculture. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, S. 591 – 596.
- TOMPKINS, D.K., G.E. HULTGREEN, A.T. WRIGHT & D.B. FOWLER (1991): Seed rate and row spacing of no-till winter wheat. *AGRONOMY JOURNAL*. 83 (4), S. 684 – 689.
- WUEST, ST.B., B.C. MILLER, J.R. ALLDREDGE, S.O. GUY, R.S. KAROW, R.J. VESETH & D.J. WYSOCKI (1994): On-Farm Trials: Increasing plot length reduces experimental error on On-Farm Tests. *J. Prod. Agric.* 7, S. 211 – 215.

Anschrift der Autoren:

Dr. Armin Werner

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung
Institut für Landnutzungssysteme
Eberswalder Straße 84
15374 Müncheberg
Telefon: (033432) 82-310
Telefax: (033432) 82-387
E-Mail: awerner@zalf.de

Dr. Jürgen Schwarz

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung

Institut für Landnutzungssysteme

Eberswalder Straße 84

15374 Müncheberg

Telefon: (033432) 82-423

Telefax: (033432) 82-387

E-Mail: jschwarz@zalf.de

4.2 Betriebliche On-Farm Experimente im Precision Farming

On-Farm Research - Field trials on large surfaces

Peer Leithold & Hagen Piotraschke

Zusammenfassung

Pflanzenbauliche Feldversuche auf Praxisschlägen können unter Anwendung der Methoden des On-Farm Research (OFR) im Rahmen der betriebsüblichen Arbeitsgänge und zumeist auch gänzlich mit der bereits vorhandenen Produktionstechnik durchgeführt werden. Im Unterschied sowohl zum klassischen Feldversuchswesen auf Kleinparzellen als auch zu solchen Feldversuchen, bei denen die innerhalb von Praxisschlägen angelegten Parzellen in gesonderter Weise bearbeitet und/oder abgeerntet werden, folgen OFR-Versuche primär dem Ziel, möglichst alle ackerbaulichen Arbeiten durchgängig auf dem gesamten Schlag erledigen zu können. Sofern sich – wie in den meisten Fällen – die Versuchsfrage auf den Ertrag bezieht, ist ein OFR-Versuch daher in entscheidendem Maße davon abhängig, in welcher Quantität und Qualität die Daten der Ertragskartierung aus der Durchflussmessung in der Erntemaschine vorliegen. Auch lässt sich bei OFR-Versuchen die Anlage der Prüfglieder zumeist nicht so gestalten, dass damit der Einfluss von Störfaktoren auf die Zielgröße ausgeschlossen oder zumindest gleich verteilt wird. Deswegen beruht die Aussagekraft von OFR-Versuchen zudem darauf, zumindest die einflussreichsten Störfaktoren in hinreichend hoher räumlicher Auflösung messen und bei der Versuchsauswertung berücksichtigen zu können. Hierfür sind die Methoden und Werkzeuge des Precision Farming (PF) erforderlich; daher ist die Entwicklung von OFR direkt mit der von PF verbunden. Umgekehrt ist OFR in einzigartiger Weise zur praxisorientierten Validierung von PF-Techniken geeignet.

Im Teilprojekt „Betriebliche On-Farm Experimente im Precision Farming“ (TP 11) innerhalb des Forschungsverbundes „Informationsgeleitete Pflanzenproduktion“ (*pre agro II*) wurde ein konzeptionell-methodisches Regelwerk zur Planung, Durchführung und Auswertung von OFR-Versuchen erarbeitet und bei entsprechenden Versuchen in Praxisbetrieben zur Anwendung gebracht. Auf dieser Grundlage entstand ein Leitfaden, der in Form eines Praxishandbuchs potenziellen Versuchsanstellern in der betrieblichen Praxis zur Verfügung gestellt werden kann. Zudem wurde herausgearbeitet, in welcher Weise OFR-Versuche zur Bestimmung und praktischen Nutzung von verbesserten Produktionsfunktionen im Ackerbau führen können. Dabei muss jedoch neben der räumlichen auch die zeitliche Varianz der Versuchs- und Restfaktoren hinreichend berücksichtigt werden. OFR und PF bilden somit gemeinsam die Grundlage für eine dynamische Optimierung der ackerbaulichen Produktionsfunktionen, die sich aus einer sowohl kleinräumigen als auch sachgemäß zeitnahen Anpassung an die Eigenschaften von Standort und Pflanzenbestand ergibt.

Summary

By applying the methods of on-farm research, agronomic experiments can be carried out with conventional operational procedures. In comparison to classical methodologies, the management of such trials is much easier due to equal treatment of plots and non-proving ground. In order to achieve a good expressiveness (reasonable value) of the experiment, there are high requirements for acquisition of measured data.

A considerable property of on-farm experimental designs is the inclusion of intra plot variability of soil, which enabled the appreciation of precision farming effects. However by the statistical modelling of the plant growth, such natural factors, as electrical conductivity, must be considered. The measurement of these parameters demands the implementation of precision farming.

Vice versa the methodology of on-farm research is essential for the validation of these (precision-farming) techniques.

In the subproject “Operating on-farm experiments in precision farming” (TP 11) imbedded in the Research Association “Information Controlled Plant Production” (*pre agro* II), a manual for on-farm experiments was developed and realized adequately in practice. This essay can be provided for potentially interested parties (e.g. farmers or their advisers).

In particular, it was pointed out, in which amount on-farm methodology contributes to determine more effective production functions. Thereby the spatial and chronological variability of all influencing factors must be regarded.

In conclusion, on-farm research and precision farming provide the fundament of a dynamic optimisation of agronomic production functions, which derive from a spatial and chronological adaptation to the characteristics of soil and plants.

4.2.1 Einleitung und Problemstellung

Seit jeher haben pflanzenbauliche Feldversuche die Aufgabe, Produktionsfunktionen zu bestimmen, auf deren Grundlage Praxisbetriebe ihre Erträge und/oder die Effizienz ihres Betriebsmitteleinsatzes erhöhen können. Der Grenzertrag von Düngungsmaßnahmen wird beispielsweise zumeist mit entsprechenden Steigerungsversuchen bestimmt. Vor allem in dem der ackerbaulichen Primärproduktion vorgelagerten Bereich (z. B. Hersteller von Saatgut, Dünge- und Pflanzenschutzmitteln) hat sich – über sehr große Zeiträume hinweg – eine Methodik zur Durchführung solcher Versuche etabliert (im Folgenden als „klassisches Feldversuchswesen“ bezeichnet). Ein wesentliches Merkmal dieser Methodik besteht darin, dass hierbei durch die Anlage hinreichend kleiner und voneinander separierter Teilstücke (Parzellen) versucht wird, die Wirkung der Restfaktoren auf das Versuchsmerkmal minimieren (oder zumindest homogenisieren) und somit den Einfluss des Versuchsfaktors deutlicher bestimmen zu können. Die einzelnen Parzellen werden dabei üblicherweise auch als Wiederholungen der Versuchsglieder angelegt, so dass klassische Feldversuche zumeist nur in so genannten Parzellengärten durchführbar sind und daher einen dementsprechend hohen räumlichen, personellen und technischen Aufwand (z. B. spezielle Erntetechnik) erfordern.

Der Begriff des On-Farm Research (OFR) stand ursprünglich lediglich für eine solche Agrarforschung, die sich direkt mit Problemen der Agrarproduktion auf betrieblicher Ebene beschäftigt. Zur Bearbeitung ackerbaulicher Fragestellungen wurden insbesondere Methoden zur Realisierung von entsprechenden Praxisversuchen auf betriebsüblichen Schlägen entwickelt und erprobt. Die dem klassischen Feldversuchswesen entlehnte Herangehensweise, mit der eine Versuchsanlage von möglichst homogenen Einzelparzellen zur Reduzierung der Restvarianzen führen soll, zeigt sich dabei Übergangsweise noch in Versuchsgestaltungen mit eingebetteten Kleinparzellen (z. B. Fenster- oder Streifenversuche). Hier können die meisten pflanzenbaulichen Arbeiten – über die Grenzen dieser Teilstücke hinweg – schon durchgängig auf dem Gesamtschlag durchgeführt werden, die Ernte hingegen erfolgt noch immer parzellenspezifisch (z. B. mittels Kerndrusch), wenn das Versuchsmerkmal der Ertrag bzw. ein Ertragsmerkmal ist. Diese Form des Feldversuchswesens gründet somit neben den

Prinzipien der Wiederholung und der Randomisation weiterhin auf der Verminderung natürlicher Variation durch Blockbildung.

Den entscheidenden Schritt zu einer völlig neuartigen Versuchsmethodik (im Folgenden als „OFR-Versuch“ bezeichnet) geht jedoch ein Ansatz, bei dem als Versuchsfläche möglichst der gesamte Schlag genutzt wird. Im Gegensatz sowohl zum klassischen Feldversuchswesen als auch zu Praxisversuchen mit eingebetteten Kleinparzellen beruht dieser primär darauf, die Restvarianzen nicht mehr mit entsprechenden Versuchsanlagen verringern zu müssen, sondern quantitativ bestimmen und bei der Versuchsauswertung berücksichtigen zu können. Die auf Praxisschlägen üblicherweise bestehende Standort- und Bestandsheterogenität wird somit vom – weitestgehend verdrängten – Nebenbestandteil zu einer Kernkomponente von ackerbaulichen Feldversuchen. Maßgebliche Prinzipien dieser Versuchsmethodik, die z. B. in GRABO & TRAPHAN (2006), LEITHOLD (2006), LEITHOLD & TRAPHAN (2006), BRENNING & LEITHOLD (2007) sowie PIOTRASCHKE & LEITHOLD (2007) beschrieben sind, wurden von den Bearbeitern dieses Teilprojekts auch im Rahmen ihrer sonstigen betrieblichen Tätigkeit seit 1999 auf der Grundlage von Anregungen aus der internationalen Agrarwissenschaft (siehe z. B. unter LOWENBERG-DEBOER et al. 2003) erarbeitet und in Praxisversuchen erprobt.

Der Erfolg von OFR-Versuchen ist davon abhängig, dass möglichst alle Restfaktoren, deren Wirkung auf das Versuchsmerkmal nicht wesentlich geringer als die des Versuchsfaktors ist, in hinreichendem Maße quantifiziert werden können. Entsprechende Messungen müssen ebenso wie die quantitative Bestimmung der Zielgröße (z. B. Ertragskartierung) in einer genügend hohen räumlichen Auflösung erfolgen. Die hierfür erforderlichen Methoden und Werkzeuge entstammen zumeist dem Precision Farming (PF), zu dessen Aufgaben insbesondere die teilflächenspezifische Bestandesführung im Sinne einer kleinräumigen Optimierung der Produktionsverfahren zählt. Aus arbeitswirtschaftlicher Sicht sind dabei sowohl OFR als auch PF überwiegend auf solche Messtechniken angewiesen, deren Messvorgang während der üblichen ackerbaulichen Arbeitsgänge erfolgen kann bzw. diese möglichst nicht wesentlich einschränkt, verlangsamt oder verteuert.

Die primäre Zielgröße im PF ist der Ertrag bzw. dessen quantitative und/oder qualitative Parameter. Die meisten Maßnahmen im PF zielen daher entweder ausschließlich auf die Maximierung oder eine Optimierung (z. B. Homogenisierung oder Erreichung mit geringerem Betriebsmittelaufwand) des Ertrags. Auch im OFR steht üblicherweise der Ertrag bzw. eine Ertrags Eigenschaft als Versuchsmerkmal im Mittelpunkt der Versuchsfrage. Im Gegensatz zum klassischen Feldversuchswesen sowie zu den bereits beschriebenen Übergangsformen erfolgt jedoch bei OFR-Versuchen die Ertragsmessung lediglich als Durchflussmessung (Ertragskartierung) während des durchgängig auf der gesamten Schlagfläche durchgeführten Mähdruschs. Diese ist prinzipbedingt zwar häufig mit stärkeren Messfehlern behaftet als beispielsweise das Abwägen der Gesamternte einer Parzelle (oder eines Versuchsglieds), ermöglicht aber als einzige Messmethode die benötigte räumliche Auflösung der Ertragsdaten. Zudem ist die natürliche Ertragsstreuung (die Wirkung aller bekannten und unbekannt Rest- bzw. Störfaktoren) auf der gesamten Schlagfläche zumeist wesentlich größer als der Einfluss des Versuchsfaktors.

Die Bearbeiter dieses Teilprojekts standen vor der Aufgabe, anhand des aktuellen Entwicklungsstands der Agrartechnik (insbesondere der PF-Techniken) sowie auf der Grundlage einer Vielzahl von ackerbaulichen Praxisversuchen, die sowohl im Projektverbund selbst als auch im Rahmen der sonstigen betrieblichen Tätigkeit der Bearbeiter realisiert wurden, ein Regelwerk zur Planung, Durchführung und Auswertung von OFR-Versuchen zu erarbeiten. Die im folgenden Bericht beschriebenen Grundlagen, Methoden und Werkzeuge waren danach auch der vorgesehenen Hauptanwendergruppe (Betriebsleiter, Berater usw.) für derartige Versuche in einem entsprechend aufbereiteten Praxishandbuch

zu erläutern. Es sollte aufgezeigt werden, wie einerseits durch betriebliche OFR-Versuche eine Bestimmung der standortspezifischen Produktionsfunktion erfolgen kann und andererseits im PF die Produktionsverfahren im Sinne einer informationsgeleiteten Pflanzenproduktion daran angepasst werden können.

4.2.2 Vorgehensweise

Beginnend mit einer Zusammenstellung und vergleichenden Auswertung der Daten von bereits realisierten Praxisversuchen, wurden im ersten Teil der Arbeit dieses Teilprojekts konzeptionelle Grundlagen von OFR-Versuchen bestimmt. Dabei waren vor allem folgende Probleme bzw. Fragestellungen von besonderer Bedeutung:

- Versuchsfragen (ergänzend/alternativ zu herkömmlichen Kleinparzellenversuchen)
- Abbildung der Versuchsfragen in der Planung bzw. Gestaltung („Versuchsdesign“)
- Gesamtgröße der Versuchsfläche und Anzahl der Wiederholungen (Parzellen)
- Messbarkeit von Parametern der Heterogenität von Standort und Pflanzenbestand (bei Versuchsbeginn auf etablierten Beständen)
- Realisierung der ackerbaulich notwendigen Arbeitsabläufe
- Erfassung und Aufbereitung von Messdaten für Versuchsmerkmal und -faktor sowie Restfaktoren
- Versuchsauswertung (insbesondere hinsichtlich der Wirkung des Versuchsfaktors auf das Versuchsmerkmal)
- Aussagekraft der Versuchsergebnisse für die betriebliche Praxis (Interpretierbarkeit und Belastbarkeit der statistischen Maßzahlen)
- Bestimmung von zeitlich und standörtlich spezifizierten Produktionsfunktionen
- Nutzbarkeit der Versuchsergebnisse zur Optimierung der Produktionsverfahren.

Die entsprechende Überprüfung einer größeren Anzahl von Feldversuchen, die nicht nur innerhalb des Gesamtprojekts, sondern auch im Rahmen der sonstigen betrieblichen Tätigkeit des Teilprojekts (v.a. einzelbetriebliche Versuche zur Entwicklung und Validierung von PF-Techniken) realisiert wurden, ermöglichte insbesondere bereits eine Bestimmung allgemeiner Prinzipien zur Konzeption, Planung und Anlage von OFR-Versuchen.

4.2.2.1 Durchführung von Praxisversuchen

Entsprechend der nunmehr bestehenden Abgrenzungen bzw. grundlegenden Anforderungen von OFR-Versuchen wurden weitere Feldversuche geplant, angelegt und durchgeführt. Diese Bestandteile der gesamten Ablaufkette bei der Realisierung von OFR-Versuchen konnten dabei weitgehend vorbestimmt werden – umfangreiche Variationen beispielsweise beim Abbilden der Versuchsfrage im so genannten Versuchsdesign (Festlegung/Gestaltung der Versuchsglieder und ihrer Wiederholungen) sind aus arbeitswirtschaftlicher Sicht auch kaum realisierbar. Die Versuchsauswertungen selbst jedoch konnten mit verschiedenen Methoden und Werkzeugen bzw. Herangehensweisen bei ihrer Anwendung durchgeführt werden. Das betrifft sowohl die Hinzunahme und Aufbereitung verschiedener Datensätze als auch die eigentliche Datenanalyse zur Beantwortung der Versuchsfrage. Diese Vorge-

hensweise ermöglichte es, nicht nur die Wirkung des Versuchsfaktors auf das Versuchsmerkmal besser abzugrenzen, sondern darüber hinaus auch die Wirkungen und Interaktionen diverser Standort- und Bestandsparameter bestimmen zu können. Bei der Aufbereitung und Analyse der Versuchsdaten wurden insbesondere folgende Schritte in vergleichender Weise variiert:

- Bereinigung der Messdaten aus der Ertragskartierung (Einzelausreißer, unplausible Spuren bzw. Bereiche, Vorgewende, Teilbreiten, Hindernisumfahrungen usw.)
- Zusammenführung von Ertragskartierungen verschiedener Erntemaschinen und/oder Mähdruschtermine
- Auswahl/Ausschluss von Parzellen nach Plausibilität bzw. Kausalität
- Aggregation der Datensätze (räumliche Autokorrelation und Zuordnungen diverser Faktormessungen zum Datenbestand des Versuchsmerkmals)
- Berücksichtigung verschiedener Messwerte als Störfaktoren (Unabhängigkeit bzw. Interaktion, Signifikanz der Wirkungen auf das Versuchsmerkmal)
- Datenanalyse mit verschiedenen Vorgehensweisen (Gruppierung nach stärkstem Störfaktor und deskriptive Statistik oder Semivariogramm, Parameterschätzung und Varianzanalyse).

4.2.2.2 Datenauswahl und -aufbereitung

Zur Aufbereitung, Zusammenführung und Aggregation aller Messdaten im Bezug zur räumlichen Versuchsgestaltung wurde im ersten Projektabschnitt ausschließlich ein auf PF-Daten spezialisiertes geografisches Informationssystem (GIS) verwendet. Die Bearbeitung der Versuchsdaten im GIS ermöglicht durch eine fortlaufende Visualisierung der räumlichen Werteverteilung für alle Messdaten deren sachgerechte Aufbereitung durch einen Bearbeiter, der mit entsprechender Kenntnis der konkreten Versuchsbedingungen in vielen Fällen die Qualität einzelner Datensätze besser beurteilen kann, als es über eine rein mathematisch-statistische Herangehensweise (beispielsweise bei der Ausreißerentfernung gemäß der in den Messdaten bestehenden Häufigkeitsverteilung) möglich wäre. Diese Vorgehensweise hat sich im Rahmen des Teilprojekts insbesondere zur Bereinigung von Messdaten aus der Ertragskartierung durchaus bewährt. Es existieren derzeit zwar schon diverse Ansätze in der Erforschung von Algorithmen zur Analyse von Ertragsmesswerten anhand ihrer räumlichen Verteilung (siehe z. B. unter BACHMAIER (2007), BLACKMORE & MOORE (1999), STEINMAYR (2003) und WENDROTH et al. (1999)), womit prinzipiell eine automatisierbare Ertragsdatenbereinigung realisierbar ist, praktisch jedoch sind bis dato noch keine einsatzfähigen Lösungen verfügbar, die der manuellen Sichtung und Bewertung auf Grundlage detaillierter Informationen zur Durchführung des Versuchs im Allgemeinen und des Erntevorgangs im Besonderen (z. B. Kalibrierung, Teilbreitendokumentation, Bestandssituation zum Erntezeitpunkt) vergleichbar sein könnten. Die Ertragsdatenbereinigung im GIS ist allerdings sehr zeitaufwändig (Einarbeitungs- und Einzelanwendungsaufwand) sowie prinzipbedingt anfällig für subjektiv bedingte Verfälschungen und somit grundsätzlich kaum zur Durchführung von betrieblichen Versuchsanstellern geeignet. Im Verlauf der Bearbeitung des Teilprojekts wurde daher eine Vielzahl von Ertragsdaten aus Praxisversuchen auf ihre Unterschiede zwischen der unbereinigten Gesamtmenge aller Messwerte und den nach diversen (sowohl manuell als auch automatisiert durchgeführten) Aufbereitungsschritten verbliebenen Teilmengen untersucht. Einzelaktionen zur Aufbereitung, Zusammenführung und Aggregation der Versuchsdaten wurden anschließend in modularen Komponenten eines serverbasierten Programmpakets für die Auswertung von OFR-Versuchen programmiert. Die Bereitstellung einer entsprechenden Serveranwendung durch

einen qualifizierten Dienstleister erscheint zum gegenwärtigen Zeitpunkt als einziger Lösungsansatz hinreichend praxistauglich – einerseits sind diverse Einzelschritte hier automatisiert durchführbar, ohne den Versuchsansteller mit dem Einrichtungs- und Einarbeitungsaufwand einer Spezialsoftware zu belasten, andererseits befindet sich der Datenbestand mit allen Zwischenergebnissen in einem zentralen Speicher, wodurch der Dienstleister mit relativ geringem Aufwand ergänzend oder alternativ eine individuelle Datenverarbeitung realisieren kann.

4.2.2.3 Geostatistische Datenanalyse

Eine ähnliche Vorgehensweise wurde bei der eigentlichen Datenanalyse in Bezug zur jeweiligen Versuchsfrage gewählt. Hier wurde anfänglich nur eine Methode zur Anwendung gebracht, bei der im ersten Schritt für alle gemessenen Störfaktoren (z. B. Bodeneigenschaften, Biomasseverteilung zu Versuchsbeginn o.ä.) deren Korrelation mit dem Versuchsmerkmal bestimmt wurde. Der Wertebereich des Störfaktors mit der größten Korrelation wurde anschließend in Teilbereiche mit gleichem Wertumfang zerlegt. Gemäß ihrer räumlichen Zuordnung zu den Messpunkten der Störfaktoren wurden somit alle Messpunkte des Versuchsmerkmals (üblicherweise der Ertragskartierung) entsprechend des einflussreichsten Störfaktors klassifiziert. Im letzten Auswertungsschritt erfolgte dann innerhalb der jeweiligen Klassen eine deskriptive Statistik hinsichtlich des Versuchsmerkmals.

Diese Methode ist zwar in unkomplizierter Weise auch mit Standardwerkzeugen (z. B. Tabellenkalkulation) durchführbar und repräsentiert – wie von den Bearbeitern des Teilprojekts in sehr vielen Praxisversuchen festgestellt werden konnte – mit ihren Ergebnissen zumeist auch in hinreichender Entsprechung die tatsächlichen Sachverhalte, andererseits bestehen hierbei jedoch auch die folgenden Probleme:

- Die mögliche räumliche Autokorrelation der Messpunkte kann nicht berücksichtigt werden. Eine Ungleichverteilung der Messpunkte auf der gesamten Versuchsfläche bzw. insbesondere zwischen den Versuchsgliedern führt hier zu einer Verfälschung der Ergebnisse.
- Eine gleichzeitige Berücksichtigung mehrerer Versuchs- und Störfaktoren ist nicht bzw. nur sehr aufwändig realisierbar.
- Die für die Aussagekraft der Versuchsauswertung gewünschten bzw. grundsätzlich erforderlichen statistischen Maßzahlen (z. B. Signifikanz der Wirkung einzelner Faktoren) sind für die so berechneten Ergebnisse (z. B. der Differenz zwischen den Ertragsmittelwerten der jeweiligen Versuchsglieder) noch nicht verfügbar.

Einerseits zur Lösung dieser Probleme, andererseits jedoch auch schon in Vorbereitung einer serverbasierten Gesamtlösung als fachlich betreute Internetanwendung zur Aufbereitung und Auswertung von Datensätzen aus OFR-Versuchen, wurde innerhalb des Teilprojekts ein Programmpaket entwickelt, welches nach Aufruf von der Kommandozeile (bzw. durch ein vorher zur Datenaufbereitung ausgeführtes Softwaremodul) alle für die Datenanalyse von OFR-Versuchen erforderlichen Schritte bis zur Ausgabe der Ergebnisse und ihrer statistischen Maßzahlen ausführt. Hierfür müssen alle zu berücksichtigenden Messwerte bzw. Attribute bereits über ihre räumliche Beziehung zusammengeführt worden sein, d. h. für jeden Messpunkt des Versuchsmerkmals muss jeweils der nächstliegende Messpunkt aller Faktoren sowie die räumliche Zuordnung zu den Versuchsgliedern bestimmt werden. Die entsprechenden nominalen bzw. kategoriellen Werte werden somit für jeden Messpunkt des Versuchsmerkmals zeilenweise jeweils mit dessen metrisch projizierten Geokoordinaten in einer Gesamt-

datentabelle angeordnet. Im ersten Teil der Datenanalyse erfolgt eine robuste (d. h. medianbasierte) räumliche Aggregation im Radius von ca. 10 – 15 m sowie eine Ausreißersuche und -entfernung im Doppelten des Aggregierungsradius. Die primär mit der Aggregation zu erreichende Reduzierung der Zeilen in der Gesamtdatentabelle ist vor allem dafür erforderlich, dass die im zweiten Programmteil durchzuführende Varianzanalyse im Rahmen der jeweils gegebenen Rechnerkapazitäten realisierbar wird. Der Aggregierungsradius kann daher dynamisch so angepasst werden, dass sich – bei derzeit gebräuchlicher PC-Hardware – die Anzahl der Zeilen von einigen Zehntausend (übliche Größenordnung bei einer Ertragskartierung von Praxis schlägen) auf ca. 4.000 verringert. Die so reduzierte Gesamtdatentabelle wird anschließend in den zweiten Programmteil übernommen, in welchem die eigentliche Datenanalyse bis zur Ergebnisausgabe stattfindet. Bei Abarbeitung aller Komponenten des serverbasierten Programmpakets für die Auswertung von OFR-Versuchen können damit folgende Schritte ausgeführt werden:

1. Datenimport von Standard- und Spezialformaten (z. B. SHP, GML, XLS, CSV, Ertragskartierung wie AFT, YLD usw.)
2. Datenumwandlung (z. B. metrische Projektion der Geokoordinaten)
3. Bereinigung ausgewählter Listen von Messpunkten nach einstellbaren Kriterien (z. B. Minima/Maxima nach Häufigkeitsverteilung, Ertragsmessungen im Randbereich der Versuchsfläche, Teilbreitendokumentation)
4. Zusammenführung verschiedener Listen von Messpunkten anhand ihrer räumlichen Beziehung
5. Räumliche Aggregation von Messpunkten und Ausreißerentfernung
6. Aufstellung von Regressionsgleichungen
7. Berechnung eines empirischen Semivariogramms der Residuen einer gewöhnlichen linearen Regression
8. Anpassung eines sphärischen Semivariogramm-Modells
9. Definition einer räumlichen Autokorrelationsstruktur auf Basis der Semivariogramm-Modellierung
10. Anpassung eines linearen Regressionsmodells mit verallgemeinerten kleinsten Quadraten entsprechend dieser Autokorrelationsstruktur an die Daten
11. Durchführung einer Varianzanalyse (ANOVA) für dieses Modell
12. Speicherung der Ergebnisse, grafische Darstellung und Berichterstellung.

Die Gesamtlaufzeit dieser Schrittfolge beträgt auf derzeit gebräuchlicher PC-Hardware je nach Anzahl der zu berücksichtigenden Messpunkte ca. 15 – 30 Minuten. Die Speicherung der Zwischenergebnisse ermöglicht dabei eine kurzfristige – und somit auch mehrmals durchführbare – Wiederholung der eigentlichen Datenanalyse mit verschiedenen Parametern beim Programmaufruf. So kann beispielsweise die Einbeziehung einzelner Faktoren iterativ aus- bzw. abgewählt werden, was vor allem dann von besonderer Bedeutung ist, wenn diese Faktoren voneinander abhängig sein können (z. B. Messwerte der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit des Bodens und Höhenwerte aus GPS-Altitude). Dabei ist es möglich, bis zu zwei Versuchsfaktoren als nominale bzw. kategorielle Größen, deren mögliche Interaktion sowie eine beliebige Anzahl weiterer Variablen als Störfaktoren darauf zu prü-

fen, welchen Einfluss sie auf das Versuchsmerkmal ausüben. Dies ist zur Auswertung von OFR-Versuchen auch deshalb erforderlich, da bereits im Zeitraum des Teilprojekts diverse Standort- und Bestandseigenschaften (z. B. Lichtreflexion des Bestands bei verschiedenen Wellenlängen als Korrelat der Biomasse bzw. N-Aufnahme zu Versuchsbeginn), deren Einfluss auf das Versuchsmerkmal denjenigen des Versuchsfaktors häufig sogar erheblich überlagert, mit entsprechenden – in der betrieblichen Praxis seit Jahren etablierten – PF-Werkzeugen in hinreichend hoher räumlicher Auflösung gemessen werden können. Der technische Fortschritt insbesondere im Bereich der für Echtzeitanwendungen verfügbaren Sensorik wird zudem eine weitere Zunahme solcher Datenquellen zur Folge haben.

Unter Verwendung einzelner Komponenten des Programmpakets zur Aufbereitung und Auswertung von OFR-Versuchsdaten wurden 36 Systemversuche (davon 8 innerhalb des Gesamtprojekts und 28 im Rahmen der sonstigen betrieblichen Tätigkeit des Teilprojekts durchgeführt), die vorher bereits mit alternativen Methoden bzw. Vorgehensweisen ausgewertet worden sind, einer erneuten Auswertung unterzogen. Im direkten Vergleich der damit berechneten Ergebnisse zu denen der bisherigen Auswertungen zeigten sich dabei in erster Linie folgende Neuerungen:

- Die vorher mit alternativen Vorgehensweisen bei der Auswertung berechneten Ertragswirkungen einzelner Versuchsfasoren können in einigen Fällen aufgrund ihrer zu geringen Signifikanz nicht mehr nachgewiesen werden.
- Die aus der gemessenen Standort- und Bestandsheterogenität (z. B. Relief, scheinbare Bodenleitfähigkeit, aus Lichtreflexionswerten berechnete N-Aufnahme bzw. Biomasse zu Versuchsbeginn) sowie aus verschiedenen Messreihen für bestimmte Merkmale (z. B. Ertragskartierung von mehreren Erntemaschinen und/oder Ernteterminen) resultierende Ertragsvarianz überlagert in vielen Fällen deutlich den Einfluss der jeweiligen Versuchsfasoren.

Die bei der Neu- oder Wiederauswertung von OFR-Praxisversuchen mit verschiedenen Methoden (bzw. Vorgehensweisen bei deren Anwendung) gewonnenen Erfahrungen wurden innerhalb des Teilprojekts einerseits zur Weiterentwicklung der geostatistischen Routinen (v.a. bei der Bestimmung einer räumlichen Autokorrelation bzw. der Wirkung einer vorherigen räumlichen Aggregation) verwendet, andererseits bestand somit auch die Möglichkeit, potenziellen Versuchsstellern in der betrieblichen Praxis alternative Methoden und Werkzeuge zur Analyse der OFR-Versuchsdaten vergleichsweise erläutern zu können.

4.2.2.4 Praxishandbuch „On-Farm Research“

Die Erläuterung aller Schritte zur erfolgreichen Realisierung eines OFR-Versuchs erfolgte schließlich in Form eines Praxishandbuchs. Hierin finden sich neben einer praxisorientierten Darlegung der methodischen Grundlagen und Abgrenzungen von OFR-Versuchen in erster Linie Handlungsanleitungen zu folgenden Themen bzw. Fragestellungen:

1. Welche Versuchsfragen können in OFR-Versuchen sachgerecht bearbeitet werden?
2. Welche Ansprüche bestehen an die Größe und Beschaffenheit der Versuchsfläche?
3. Welche technischen Voraussetzungen müssen vom Versuchsansteller erfüllt werden?
4. Wie ist die Versuchsfrage auf einer bestimmten Fläche entsprechend der gegebenen betrieblichen Rahmenbedingungen (z. B. Produktionstechnik, Arbeitsorganisation) in der Versuchsge-

- staltung (z. B. Anzahl, Größe und Lage der Versuchsglieder bzw. ihrer Wiederholungen) abzubilden?
5. Was ist bei der Planung und Durchführung aller betriebsüblichen Arbeitsverfahren im Ackerbau auf der Versuchsfläche zu beachten?
 6. Welche Standort- und Bestandsparameter können – bzw. sollten – entsprechend der Versuchsfrage in welcher Weise gemessen werden?
 7. Wie muss die Erhebung, Speicherung und Weiterverarbeitung aller notwendigen Versuchsdaten geplant und realisiert werden?
 8. Welchen quantitativen und qualitativen Anforderungen muss der Gesamtdatenbestand nach Durchführung eines OFR-Versuchs genügen?
 9. Welche Möglichkeiten bestehen zur Datenaufbereitung und -analyse entsprechend der gegebenen Versuchsfrage?
 10. Wie sind die Ergebnisse der Versuchsauswertung zu interpretieren?
 11. Wie kann aufgrund der Ergebnisse von OFR-Versuchen (bzw. damit bestimmter Produktionsfunktionen) eine betriebs-, schlag- und teilflächenspezifische Optimierung einzelner Verfahren der ackerbaulichen Pflanzenproduktion erfolgen?

4.2.2.5 Produktionsfunktionen

Die Bestimmung bzw. Anpassung von Produktionsfunktionen insbesondere für die teilflächenspezifische Bestandsführung wurde bei der Bearbeitung des Teilprojekts anhand konkreter OFR-Versuche exemplarisch erprobt, so dass sich aufgrund der damit gewonnenen Erkenntnisse die Möglichkeiten und Methoden der Anwendung von OFR-Versuchen für eine Optimierung ackerbaulicher Produktionsverfahren aufzeigen ließen. Hierbei sind Ergebnisse von OFR-Versuchen zur Ertragswirksamkeit einzelner Verfahren der teilflächenspezifischen Mittelausbringung dahingehend verwendet worden, die primär auf pflanzenbauliche Ziele (Höchstertag) orientierten Steueralgorithmen mit betriebswirtschaftlichen Führungsgrößen (variable Erzeuger- und Betriebsmittelpreise) optimieren zu können. Der zur Bestimmung des jeweiligen Optimums nutzbare Abschnitt entsprechender Produktionsfunktionen aus den Ergebnissen einzelner OFR-Versuche wurde dabei auch zusätzlich eingeschränkt (z. B. Überschussbegrenzung der auf die gesamte Schlagfläche bezogenen N-Bilanz). Somit ließ sich eine Herangehensweise spezifizieren, mit der Verfahren bzw. Techniken des Precision Farming in OFR-Versuchen anhand betrieblicher Zielgrößen und gegebener Restriktionen validiert und optimiert werden können.

4.2.3 Ergebnisse

Im Rahmen des Teilprojekts wurde die Methodik „betrieblicher On-Farm Experimente im Precision Farming“ (Anwendung von PF-Techniken in OFR-Versuchen bzw. Nutzung von OFR-Versuchen zur Entwicklung und Erprobung von PF-Techniken) nicht zuletzt aufgrund der Erfahrungen bei der Anlage, Durchführung und Auswertungen zahlreicher Feldversuche in Praxisbetrieben so herausgearbeitet, dass nunmehr nicht nur konkrete Anleitungen für potenzielle Versuchsansteller, sondern auch besonders kritische Punkte in der Prozesskette von OFR-Versuchen spezifiziert werden konnten. Es hat sich gezeigt, dass bestimmte Fehler oder Nachlässigkeiten insbesondere bei der Versuchsgestaltung sowie bei der Erledigung von versuchsrelevanten ackerbaulichen Arbeiten die letztlich faktorbezogenen Er-

gebnisse der Versuchsauswertung in erheblichem Maße verfälschen oder sogar gänzlich ad absurdum führen können. Grundsätzlich besteht im OFR – wie bei allen Praxisversuchen – das Problem der Einpassung des Einzelversuchs in die jeweilige Arbeitswirtschaft. Eine hinreichende Berücksichtigung der wichtigsten Anforderungen bei der Realisierung von OFR-Versuchen führt jedoch in den meisten Fällen zu Versuchsdaten, deren sachverständige Auswahl, Aufbereitung und Analyse eine praxisgerechte Auswertung hinsichtlich der gegebenen Versuchsfrage ermöglicht. Hierfür geeignete Methoden und Werkzeuge wurden im Teilprojekt entwickelt und erprobt. Die Nutzung entsprechender Versuchsergebnisse über die Bestimmung kleinräumig angepasster Produktionsfunktionen – bzw. der darauf befindlichen Optima gemäß bestehender Zielsetzungen und Restriktionen – ist damit prinzipiell realisierbar, obschon sowohl zur Modifikation von PF-Algorithmen als auch für deren Anwendung in der betrieblichen Praxis noch weitere Bedingungen erfüllt sein müssen.

Sowohl die praxisorientierten Handlungsanleitungen zur Konzeption, Durchführung und Auswertung von OFR-Versuchen als auch die speziell zur Aufbereitung und Analyse von entsprechenden Daten entwickelten Werkzeuge werden potenziellen Versuchsanstellern auch nach Abschluss des Teilprojekts längerfristig zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus treten die Projektbearbeiter im Rahmen ihrer sonstigen betrieblichen Tätigkeit mit Angeboten zur Beratung und Betreuung bei OFR-Versuchen (v.a. im Zusammenhang mit PF-Techniken) auf.

Die folgenden Abschnitte zeigen exemplarisch einige besonders bedeutsame Aspekte der Realisierung und Verwertung von OFR-Versuchen in der betrieblichen Praxis auf.

4.2.3.1 Versuchsgestaltung und Arbeitserledigung

Grundsätzlich hat sich gezeigt, dass bei der Auswahl und Gestaltung der Versuchsfläche eine Vergrößerung der Gesamtfläche und eine Erhöhung der Anzahl von Wiederholungen der Versuchsglieder zu insgesamt robusteren Versuchsergebnissen führen. Dies beruht primär auf folgenden Prinzipien:

- Einzelne fehlerbehaftete Messpunkte (bzw. deren Bereinigung) wirken geringer auf das Gesamtergebnis. Unabhängig von der jeweils zur Aufbereitung und/oder Aggregation gewählten Vorgehensweise entspricht mit steigender Anzahl der Messpunkte die bereinigte bzw. aggregierte Datenmenge stärker den Relationen der Rohdaten.
- Wiederholungen oder Teilflächen, auf denen sich im Versuchsverlauf gehäuft nicht plausible (bzw. nicht hinreichend durch gemessene Faktoren erklärbare) Messwerte zeigen, können von der Versuchsauswertung unproblematisch ausgeschlossen werden.

Das folgende Beispiel zeigt einen Praxisversuch aus der betrieblichen Tätigkeit der Projektbearbeiter. Hier hat sich – nur in einer Parzelle – ein Bereich von Ertragsdepression bzw. -ausfall gezeigt, der mit den vorliegenden EM38-Messdaten zur Standortheterogenität (ECa, scheinbare Leitfähigkeit des Bodens) nicht hinreichend erklärt werden konnte.

Teilflächen mit stark abweichenden Ausprägungen des Versuchsmerkmals, die nicht auf gemessene Faktoren zurückführbar sind (z. B. Bestandsschäden durch Schaderreger, Wild o.ä. bzw. Moorsenken, verfüllte Sölle, alte Mietenplätze usw.), sollten bei der Auswahl und Aufbereitung von OFR-Versuchsdaten bestimmt und von der Versuchsauswertung ausgeschlossen werden. Dementsprechend sind sowohl eine Gesamtversuchsfläche von 30 ha (bzw. 15 ha je Versuchsglied) als auch die Anzahl von vier Wiederholungen je Versuchsglied durchaus als Mindestanforderungen zu verstehen. Es hat sich gezeigt, dass auf wesentlich größeren Gesamtversuchsflächen (bis über 100 ha) einzelne Mängel

bei der Ertragskartierung die Versuchsergebnisse kaum noch entscheidend beeinflussten. Sofern hierbei jedoch mehrere Erntemaschinen und/oder Erntetermine zum Einsatz kommen, sollten entsprechende Attribute in die Datensätze eingefügt und bei der Versuchsauswertung berücksichtigt werden (als kategorielle Störgrößen).

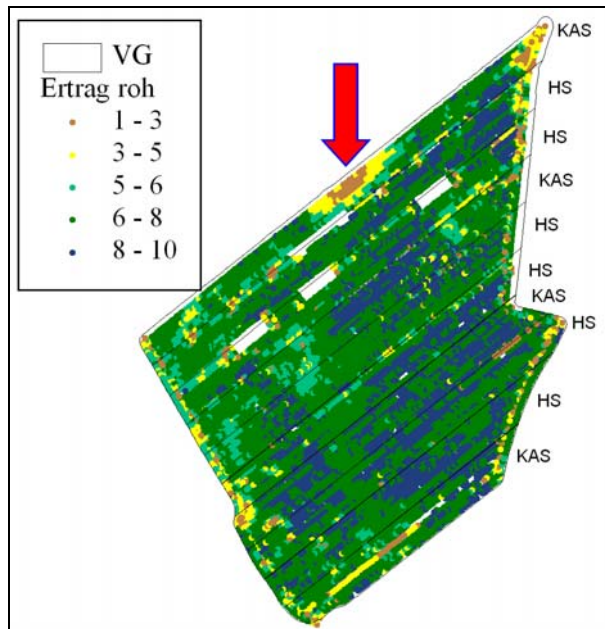


Abbildung 96: Ertragskartierung roh, Lübbersruh 411-2007

Figure 96: raw yield mapping Lübbersruh 411_2007

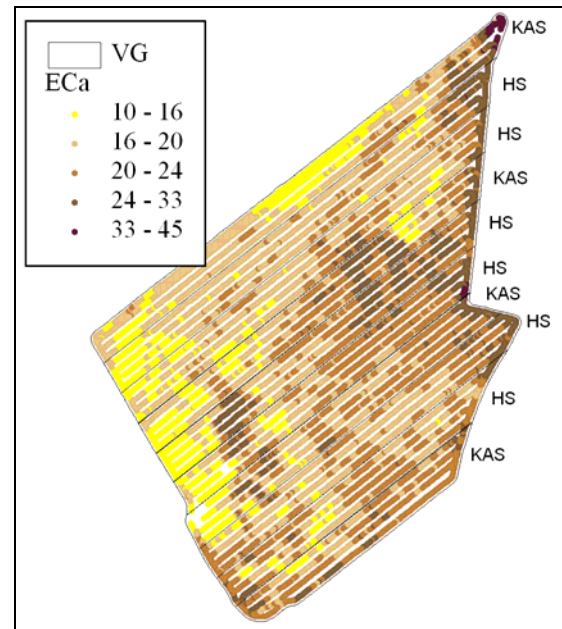


Abbildung 97: ECa (EM38-Messung), Lübbersruh 411_2007

Figure 97: ECa (EM38-measurement) Lübbersruh 411_2007

Die folgende Tabelle 31 zeigt vergleichsweise die Ergebnisse der geostatistischen Datenanalysen für den in Abbildung 96 und Abbildung 97 dargestellten Feldversuch (Versuchsglieder „HS“ und „KAS“).

Tabelle 31: Parameterschätzung und Signifikanz (rohe/bereinigte Ertragsdaten)

Table 31: parameter estimation and significance (raw/cleared yield data)

statistisches Maß statistical measure	Rohdaten (Gesamtschlag) raw data (whole field)	bereinigt, ohne 1. Parzelle cleared, without 1st plot
Versuchsfaktor (Schätzwert) trial factor (estimation)	0,85 dt/ha	2,34 dt/ha
Versuchsfaktor (Standardabw.) trial factor (standard deviation)	0,59 dt/ha	0,62 dt/ha
Versuchsfaktor (p-Wert) trial factor (p-value)	0,1513	0,0001
ECa/EM38 (Schätzwert) ECa/EM38 (estimation)	0,63 dt/ha	0,81 dt/ha
ECa/EM38 (Standardabw.) ECa/EM38 (standard deviation)	0,08 dt/ha	0,06 dt/ha
ECa/EM38 (p-Wert) ECa/EM38 (p-value)	<0,0001	<0,0001

Bei allen OFR-Versuchen, in denen der Ertrag bzw. ein Ertragsparameter als Versuchsmerkmal fungiert, hängt die Qualität der Ertragskartierung – und damit die Aussagekraft des Versuchs – primär von Fahrweise und Bedienung der Erntemaschinen ab. Zur Datenanalyse sollten immer möglichst nur bei geradliniger und unterbrechungsfreier Fahrt mit voller Schneidwerksbreite erzeugte Datensätze berücksichtigt werden. Eine entsprechende Bereinigung der Gesamtdaten wird wesentlich durch eine zeitnahe Markierung (z. B. als Teilbreite) durch den Fahrer erleichtert, sofern das jeweilige Kartiersystem dies unterstützt. Die Darstellung der Ertragsmesspunkte in einem GIS kann bereits dazu genutzt werden, eine ungenügende Datenqualität der Ertragskartierung zu erkennen und die Versuchsauswertung dann möglicherweise auch nicht weiter fortzusetzen. Die folgenden Abbildungen zeigen dementsprechend unterschiedlich zu bewertende Ertragskartierungen.

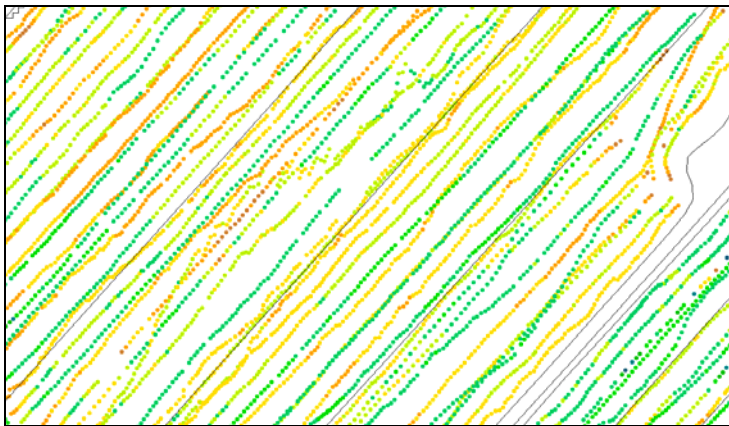


Abbildung 98: Ertragskartierung roh (Ausschnitt) WIMEX 741_2007

Figure 98: raw yield mapping (sector) WIMEX 741_2007

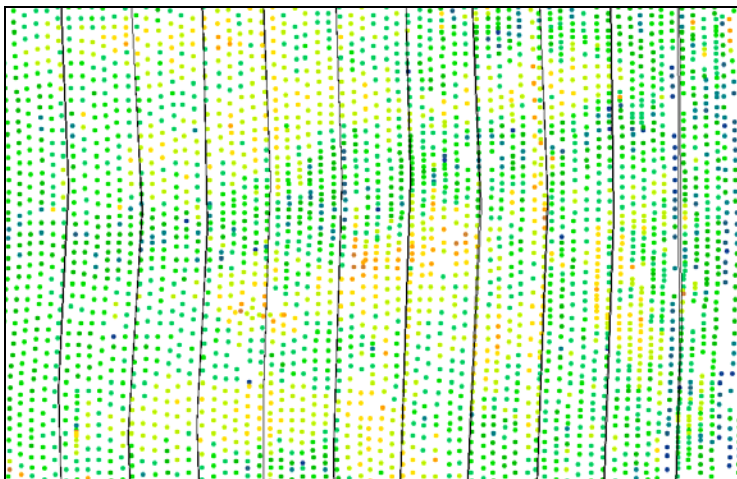


Abbildung 99: Ertragskartierung roh (Ausschnitt) Hellingen 5121_2007

Figure 99: raw yield mapping (sector) Hellingen 5121_2007

4.2.3.2 Daten- und Ergebnisbewertung

In einem früheren Ansatz wurde für die beobachteten natürlichen Einflussgrößen lediglich die Pearsonsche Produkt-Moment-Korrelation zum Versuchsmerkmal geschätzt. Die Verteilung (μ, σ) jener Größe mit der stärksten Beziehung zum Prüfmerkmal wurde anschließend in k Intervalle glei-

cher Breite unterteilt. Die Bestimmung der Klassenanzahl k erfolgte unter Berücksichtigung von Übersichtlichkeit (Klassenbreite h) und Informationsgehalt (Klassenanzahl k). Innerhalb jeder Klasse sind für das Versuchsmerkmal Maßzahlen der Lage und der Streuung ermittelt worden. Die Nichtanwendung von Testverfahren sowie die Missachtung mehrdimensionaler Beziehungen und Autokorrelationen bedingte hierbei einen Verlust an Information. Insbesondere das Fehlen entsprechender Maßzahlen zur Signifikanz erschwerte somit bislang die notwendige Bewertung der Versuchsdaten und -ergebnisse.

Demgegenüber steht der im Teilprojekt entwickelte Algorithmus zur Aus- und Bewertung von OFR-Versuchsdaten. Zuerst wird dabei die Anzahl der Beobachtungen hinsichtlich der begrenzten Rechenleistung und in Übereinstimmung mit dem Bearbeitungsmaßstab vermindert (medianbasierte räumliche Aggregation und Ausreißerentfernung). Bei der statistischen Modellierung des Faktorgefüges sind Abhängigkeiten in der Datenstruktur zu berücksichtigen, so dass die Anwendung einer gewöhnlichen linearen Regression hierzu nicht möglich bzw. geeignet ist. Mit der Schätzmethode der verallgemeinerten kleinsten Quadrate (VKQ) im linearen Modell mit korrelierten Residuen steht jedoch ein adäquates Instrumentarium zur Verfügung, welches diesem Aspekt durch die Annahme exponentialer Wahrscheinlichkeitsverteilungen entspricht. Um die Abhängigkeitsstruktur der Daten zu identifizieren, wird mit den Residuen einer linearen Regression ein empirisches Semivariogramm unter Anwendung der Momentenmethode geschätzt. Anschließend wird das sphärische Semivariogramm-Modell durch die Minimierung der gewichteten Summe der quadrierten Residuen an das empirische Semivariogramm angepasst. Dabei erhalten die Bereiche des Semivariogrammes nahe des Ursprungs ($x=0$) aufgrund einer genaueren Charakterisierung der Daten ein größeres Gewicht. Auf Basis der Semivariogramm-Modellierung wird eine räumliche Abhängigkeitsstruktur (Kovarianzfunktion) definiert und danach mit deren Hilfe der Verallgemeinerte-Kleinste-Quadrate-Schätzer für die Parameter des Modells (b_{VKQ}) bestimmt. Eine globale Beurteilung der Einflussgrößen erfolgt schließlich mit einer die Anlagemethode und räumliche Abhängigkeit adäquat berücksichtigenden Varianzanalyse.

Mit dieser Auswertungsmethode können die Wirkungen der Versuchsfaktorstufen daher nicht nur bestimmt, sondern auch mit geeigneten Maßzahlen bewertet – und gegebenenfalls entsprechend relativiert – werden. Die folgende Tabelle 32 zeigt exemplarisch die Ergebnisse einer derartigen Datenanalyse für einige OFR-Versuche aus dem Projekt sowie aus der sonstigen betrieblichen Tätigkeit der Bearbeiter.

Tabelle 32: unterschiedlich signifikante Faktoren in ausgewählten Feldversuchen

Table 32: more or less significant factors in selected field trials

Versuch trial	unterschiedlich signifikante Faktoren (p-Werte) different significant factors (p-values)					
	Ausprägungen des Versuchsfaktors feature levels of trial factor			Drescher combines	Biomasse biomass*	ECa (EM38)
	1	2	3			
WIMEX 631, 2007	0,4754	0,9384	0,0504	<0,0001	—	<0,0001
WIMEX 432, 2007	0,3899	—	0,1262	—	0,0638	0,0003
WIMEX 741, 2007	—	—	0,2426	<0,0001	—	—
WIMEX 411, 2006	0,1511	—	0,0685	—	—	<0,0001
WIMEX 432, 2005	0,9009	0,9009	0,1109	—	—	<0,0001
Agri Con ¹ , 2007	0,0008	—	—	—	<0,0001	—
Agri Con ² , 2007	0,0003	—	—	—	<0,0001	<0,0001
Agri Con ³ , 2007	0,0004	—	—	<0,0001	—	<0,0001

(* : korrelierter Messwert des N-Sensors / correlated measured value of N-Sensor)

(1 : Boddin / 25-1 ; 2 : Lübbersruh / 411 ; 3 : Hinsdorf / Storkauer Str.)

Die Beurteilung der Aussagekraft einzelner OFR-Versuche hinsichtlich der jeweils gegebenen Versuchsfrage wird durch die Anwendung einer solchen Auswertungsmethode nicht nur unterstützt bzw. ergänzt, sondern insbesondere dann, wenn für diese Fragestellung (z. B. zur Wirksamkeit einer bestimmten PF-Technik) Daten aus verschiedenen Versuchen vorliegen, auch vergleichbar.

4.2.3.3 Zeitbezug von Versuchsergebnissen

Vor allem bei Systemversuchen zum Vergleich von Produktionstechniken bzw. -strategien ist nicht nur die Qualität der Arbeitserledigung (sowohl bei der Ertragskartierung als auch bei der Anwendung dieser Techniken/Strategien), sondern auch die zeitbezogene Einordnung und Bewertung der Versuchsergebnisse von entscheidender Bedeutung. Das folgende Beispiel zeigt einen Praxisversuch aus der betrieblichen Tätigkeit der Projektbearbeiter, in dem die Ertragswirksamkeit einer teilflächenspezifisch bedarfsgerechten N-Düngung im Vergleich zur betriebsüblich konstanten Düngung untersucht werden sollte. Eine lediglich auf der statistischen Datenanalyse der Messwerte von Versuchsmerkmal (Ertragsmenge) sowie einigen Standort- und Bestandsparametern (scheinbare elektrische Leitfähigkeit des Bodens, Relief, mit Biomasse/N-Aufnahme korrelierter Messwert des N-Sensors zur zweiten N-Gabe) beruhende Versuchsauswertung könnte demnach darauf schließen lassen, dass die mittels Echtzeitregelung variierte Düngung zu erheblichen Mindererträgen führt. Die Messdaten der Ertragskartierung standen in hoher Aufzeichnungsqualität und -quantität (20776 Messpunkte) zur Verfügung, so dass auch eine diesbezügliche Bewertung der Versuchsergebnisse nicht unbedingt zu einer kritischen Hinterfragung führen würde. Die Wirkung des Versuchsfaktors wurde in der geostatistischen Datenanalyse als hoch signifikant bestimmt (p-Wert <0,001 im Likelihood-Ratio-Test). Ein lediglich rein tabellarisch dargestellter Vergleich der beiden Düngestrategien bzw. der in ihnen jeweils durchgeführten Einzelmaßnahmen führt ebenso noch nicht zwangsläufig zu einer sachgerechten Interpretation der Ergebnisse.

Tabelle 33: N-Düngung im Versuchsverlauf

Table 33: nitrogen fertilization in trial proceeding

Datum date	Versuchsglied „konstant“ factor level „constant“ kg/ha N	Versuchsglied „variabel“ factor level „variable“ kg/ha N
08.03.2007	48	48
12.04.2007	96	53
14.05.2007	50	70
24.05.2007	40	30
N gesamt / N total	234	201

Erst ein so genanntes N-Monitoring verdeutlicht hier die kausalen Zusammenhänge. Dazu wurde in beiden Versuchsgliedern jeweils die N-Aufnahme der Pflanzen in einer zeitlich relativ eng abgestuften Messreihe bestimmt (Messung mit dem YARA N-Tester®). Die kombinierte Darstellung dieser Messwerte (der grün markierte Wertebereich entspricht einer pflanzenphysiologisch optimalen N-Aufnahme), der Düngungsmaßnahmen sowie der Niederschläge am Standort veranschaulicht die wesentlichen Ursachen des Minderertrags im Versuchsglied „variabel“:

- Die vergleichsweise schwache Einzelgabe am 12. April führte vor allem infolge der außergewöhnlichen Frühjahrstrockenheit zu einer anhaltenden Mangelversorgung.

- Die von den Niederschlägen begleitete Wachstumsphase (EC 33-39 vom 4. – 11. Mai) fand in einer stark ausgeprägten Mangelsituation statt. Die dann erst am 14. Mai erfolgte Düngungsmaßnahme hätte – bei Realisierung einer zeitnah bedarfsgerechten N-Versorgung – mindestens eine Woche früher durchgeführt werden müssen.

Nur durch die Berücksichtigung dieser zusätzlichen Informationen zum Versuch wird hinreichend deutlich, dass sich der Minderertrag im Versuchsglied „variabel“ kaum auf die eigentliche Versuchsfrage (Ertragswirksamkeit der teilflächenspezifisch variablen Düngung im Vergleich zur konstanten) zurückführen lässt, sondern primär die Folge der hohen Einzelgabe am 12. April im Versuchsglied „konstant“ darstellt. Demgegenüber wurde die Düngermenge im Versuchsglied „variabel“ nicht nur entsprechend der mit dem N-Sensor gemessenen Bestandsheterogenität teilflächenspezifisch variiert, sondern auch – gemäß einer Düngestrategie der bedarfsgerecht geteilten Gaben – in ihrem globalen Referenzniveau erheblich geringer bemessen als im Versuchsglied „konstant“. Eine rechtzeitige Nachdüngung aufgrund der Bedarfsbestimmung erfolgte dann jedoch nicht, so dass dieser Versuch schon hinsichtlich der Arbeitserledigung problematisch ist. Darüber hinaus sollte eine Interpretation der Ergebnisse von OFR-Versuchen aber auch sonst möglichst immer ebenso im Hinblick auf eventuelle Anomalien von natürlichen Einflussgrößen stattfinden. Dies gilt in besonderem Maße für jahreszeitliche Witterungsverläufe.

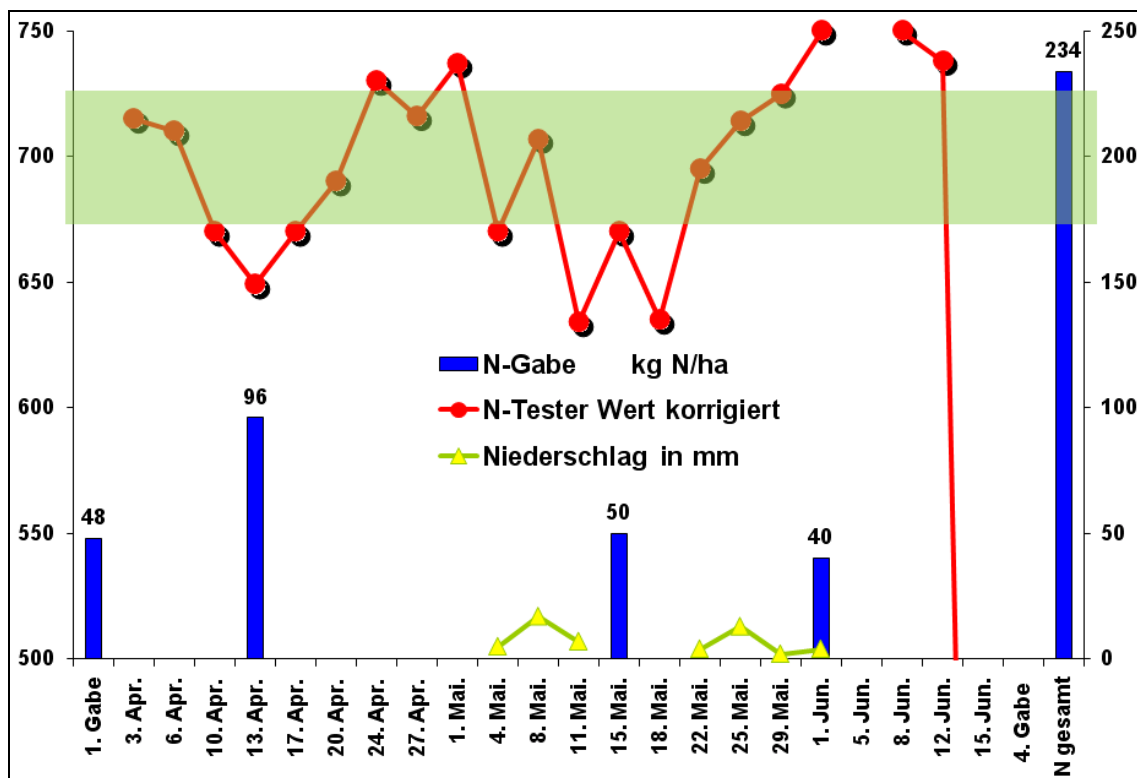


Abbildung 100: N-Monitoring (Versuchsglied „konstant“)

Figure 100: nitrogen monitoring (factor level „constant“)

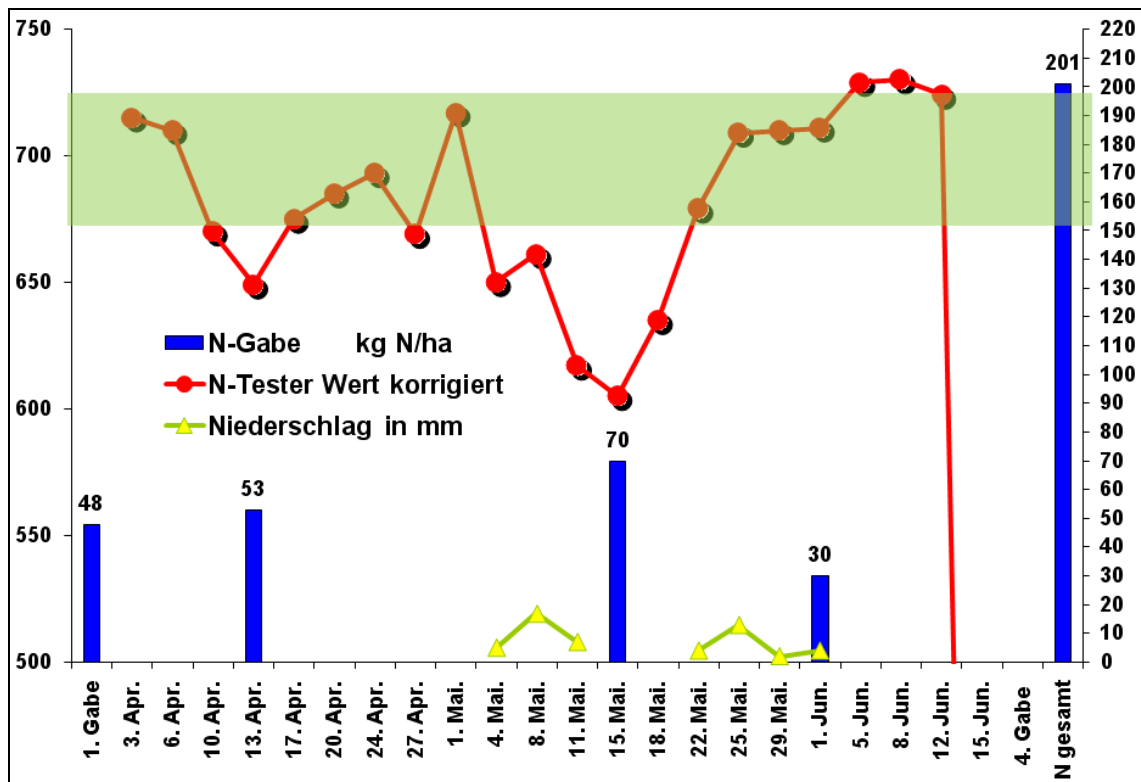


Abbildung 101: N-Monitoring (Versuchsglied „variabel“)

Figure 101: nitrogen monitoring (factor level „variable“)

4.2.3.4 Produktionsfunktionen in OFR-Versuchen

Ackerbauliche Produktionsfunktionen – typischerweise zur Ableitung von Ertragswerten aus einem gegebenen Betriebsmittelaufwand – werden primär mit Versuchsmethoden bestimmt, die im klassischen Kleinparzellenversuch zur Anwendung gelangen. Durch den hierin bewusst vorgenommenen Ausschluss der kleinflächigen Variabilität von Wachstumsfaktoren können für gegebene Rahmenbedingungen (Standorteigenschaften, Sorten, Preise usw.) sowohl am Naturalertrag als auch an Rentabilitätsparametern orientierte Aufwandsoptima festgestellt werden.

OFR-Versuche bieten darüber hinaus die Möglichkeit, derartige Produktionsfunktionen (bzw. die darauf beruhenden Verfahren zur Mittelausbringung) unter Einbeziehung weiterer Faktoren am konkreten Standort nicht nur überprüfen, sondern auch anpassen zu können. Der nachfolgend dargestellte Praxisversuch aus der betrieblichen Tätigkeit der Projektbearbeiter fand im Jahre 2006 statt und enthielt neben den Versuchsgliedern „konstant“ und „variabel“ noch ein Versuchsglied, in dem das Niveau der teilflächenspezifisch variierten N-Düngung global um 20 % verringert wurde (angesichts der Preisentwicklungen im Jahre 2007 wäre alternativ oder ergänzend ebenso ein Versuchsglied mit global erhöhtem Düngungsniveau realisierbar).

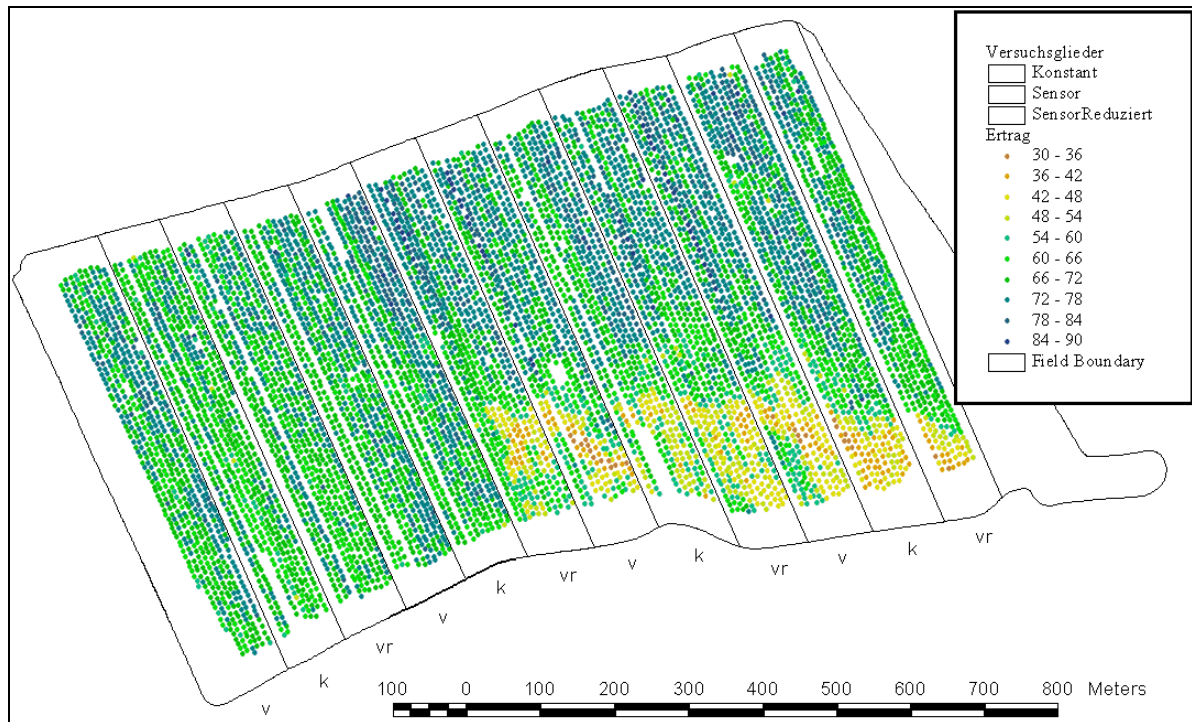


Abbildung 102: Versuchsanlage und bereinigte Ertragskartierung

Figure 102: trial design and cleared yield mapping

Unter Berücksichtigung mehrerer (in hinreichender räumlicher Auflösung gemessener) Störfaktoren führte die geostatistische Datenanalyse zu folgenden Ergebnissen:

Tabelle 34: Parameterschätzung und Signifikanztests

Table 34: parameter estimation and significance tests

Faktor / Faktorstufe factor / factor level	Schätzwert estimation dt/ha	Standardabweichung standard deviation dt/ha	p-Wert p-value
Versuchsfaktor (variabel) trial factor (variable)	2,66	0,54	<0,0001
Versuchsfaktor (variabel+reduziert) trial factor (variable+reduced)	0,89	0,55	0,1046
Reliefkartierung relief mapping	-0,24	0,19	0,2171
ECa/EM38 ECa/EM38	0,74	0,07	<0,0001
N-Aufnahme* nitrogen absorption*	1,00	0,26	0,0001

(* : korrelierter Messwert des N-Sensors / correlated measured value of N-Sensor)

Die jeweiligen Werteverteilungen der damit als signifikant bestimmten Störfaktoren (relative Unterschiede der Bodenart und Bestandsheterogenität zum Applikationszeitpunkt) auf der gesamten Versuchsfläche werden in entsprechenden Zonierungen abgebildet.

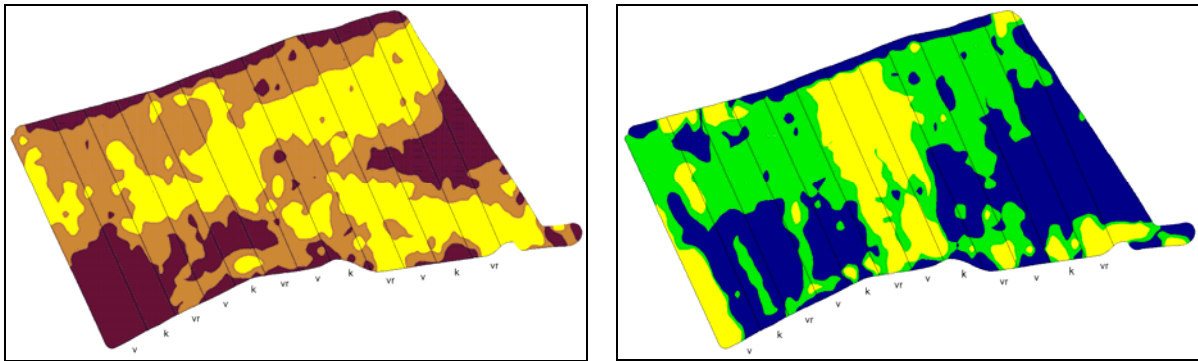


Abbildung 103: Faktorzonen zur Funktionsanpassung

Figure 103: factor zones for function adjustment

Bei hinreichender Gesamtfläche bzw. Anzahl von Messpunkten sowie entsprechenden Verteilungsverhältnissen zwischen Versuchsgliedern und Faktorzonen kann damit unter jeweils eingeschränkten Bedingungen sowohl die Wirkung eines bestimmten – auf einer zugrundeliegenden Produktionsfunktion beruhenden – PF-Verfahrens als auch die seiner Übersteuerung geprüft werden.

Unter Berücksichtigung weiterer Einschränkungen (Preisrelationen, Nährstoffbilanzen usw.) ist somit eine Modifikation bestehender Algorithmen zur teilflächenspezifischen Ausbringung von Betriebsmitteln für gegebene Standort- und Bestandsbedingungen realisierbar (z. B. zur Abminderung der Ährengabe im Wintergetreide bei Ertragsdepression bzw. zu geringem Ertragszuwachs in Bereichen mit relativ leichtem Boden und schwächer entwickelten Beständen zum Applikationszeitpunkt). Die folgende Abbildung 104 zeigt schematisch die Ableitung diverser Einzelfunktionen in einer solchen Zonierung.

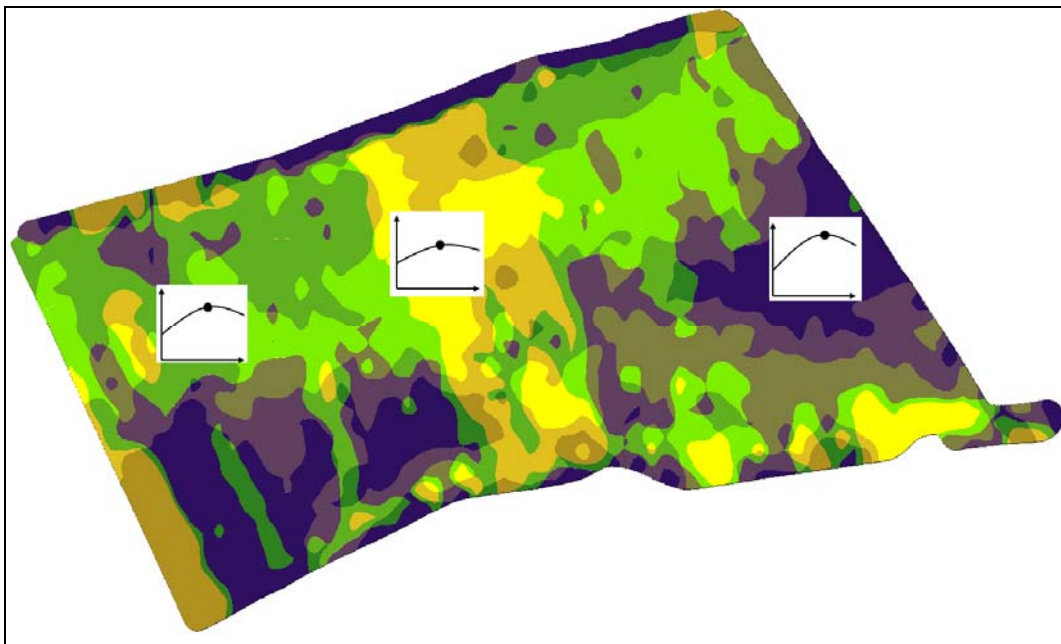


Abbildung 104: Funktionen in verschiedenen Faktorzonen (schematisch)

Figure 104: functions in different factor zones (schematically)

Eine betriebliche Nutzung derartiger Einzelfunktionen (mit jeweils einem naturalen und ökonomischen Optimum) setzt nicht nur deren Bestimmung voraus, sondern auch die technische Anwendbarkeit der damit modifizierten Algorithmen zur Mittelausbringung. Entsprechende Lösungsansätze (z. B. zur Erweiterung von sensorbasierten Echtzeitsystemen mit Standortkartierungen) sind derzeit jedoch noch nicht zur Praxisreife gelangt.

4.2.3.5 OFR als Wegbereiter für PF in die Praxis

Viele Landwirte würden pflanzenbauliche Feldversuche auch selbst in ihrem Betrieb durchführen, sofern sich dies nur mit der vorhandenen Technik innerhalb der gewohnten Arbeitsabläufe realisieren ließe. Über den reinen Erkenntnisgewinn hinaus kann die Entscheidung beispielsweise für eine optimierte Fungizid- oder Düngestrategie durchaus sowohl erhebliche Ertragssteigerungen als auch Einsparungen von Betriebsmitteln zur Folge haben. Dies gilt umso mehr, wenn derartige Entscheidungsprozesse nicht nur allgemeinen Empfehlungen (etwa von Seiten der Hersteller) folgen, sondern auf eigenen Versuchen am konkreten Standort basieren und damit auch den betriebspezifischen Bedingungen (Boden, Klima usw.) entsprechen.

Vor allem dann, wenn Ackerbaubetriebe PF-Techniken (z. B. teilflächenspezifische Düngung) in ihre Produktionsprozesse integrieren bzw. entsprechende Investitionen planen, besteht sehr häufig der Wunsch, diese vorher im eigenen Feldversuch zu prüfen. Der technische und arbeitsorganisatorische Aufwand für solche betrieblichen Feldversuche muss jedoch hinreichend gering sein, da anderenfalls aufgrund der grundsätzlichen Gegebenheiten (Heterogenität vieler Wachstumsfaktoren auf Praxis-schlägen) Vergleiche mit herkömmlichen Verfahren oder weiteren Alternativen sonst nicht möglich bzw. sinnvoll sind. Somit dem Primat der Einordnung in die Arbeitswirtschaft des jeweiligen Betriebs unterworfen, kann möglicherweise sowohl bei der Anlage von OFR-Versuchen als auch bei der Erledigung einzelner Arbeitsgänge ein Abweichen von grundlegenden Prinzipien des Versuchswesens (beispielsweise hinsichtlich der Vermeidung systematischer Fehler) nicht immer vollständig vermieden werden. Dies gilt insbesondere für solche ackerbaulichen Arbeiten, deren zeitlicher Ablauf so ertragsrelevant ist, dass die entsprechenden Einsatzentscheidungen in der betrieblichen Praxis häufig unter starkem Termindruck fallen.

Damit OFR seiner Hauptaufgabe – dem Nachweis der Wirksamkeit teilflächenspezifischer Produktionsverfahren im Ackerbau – trotzdem praxisgerecht nachkommen kann, sollte eine Planung entsprechender Versuche dies stets berücksichtigen. Demzufolge ist also eine genaue Dokumentation möglicher Ursachen für systematische Versuchsfehler (z. B. unterschiedliche Einsatztermine bei Saat und Ernte) und ihre Einbeziehung als kategorielle Störgröße bei der Datenanalyse in der betrieblichen Praxis eher durchsetzbar als die strikte Einhaltung aller vorab gestellten Bedingungen.

4.2.4 Diskussion

Durch die Bearbeitung des Teilprojekts konnte ein umfassendes Regelwerk zur vollständigen Realisierung von OFR-Versuchen bestimmt und in Form eines Leitfadens für die betriebliche Praxis dargelegt werden. Werkzeuge zur Aufbereitung, Zusammenführung und Analyse von OFR-Versuchsdaten wurden in ihrer Anwendung erprobt bzw. im Teilprojekt neu entwickelt, entsprechende Programmpakete bzw. -komponenten sind potenziellen Versuchsanstellern damit auch längerfristig zur selbständigen Anwendung verfügbar. Indem nunmehr sowohl praxisorientierte Handlungsanleitungen zur Konzeption, Einrichtung und Durchführung von OFR-Versuchen als auch Methoden und Werkzeuge zur Versuchsauswertung mit einer relativ niedrigen Einstiegshürde vorliegen, befindet sich die vorgesehene

Hauptzielgruppe von bislang zumeist nicht mit dem Feldversuchswesen befassten Anwendern (Betriebsleiter usw.) grundsätzlich in der Lage, im Rahmen der eigenen ackerbaulichen Tätigkeit OFR-Versuche von der Planung bis zur Datenanalyse vollständig ohne die Beteiligung Dritter realisieren zu können. Im Einzelfall kann darüber hinaus insbesondere zur Datenaufbereitung und -analyse die Einbeziehung spezialisierter Bearbeiter bzw. Dienstleister erfolgen. In jedem Fall jedoch sollten alle Schritte der Datenerhebung, -verarbeitung und -auswertung einer kritischen Kontrolle auf Grundlage einer umfassenden agronomischen Sachkenntnis der Versuchsanlage und -durchführung unterzogen werden. In der Praxis sind bei OFR-Versuchen bisher hauptsächlich folgende Probleme diesbezüglich in Erscheinung getreten:

- Anlage auf zu kleinen Versuchsflächen (bzw. mit zu wenigen Wiederholungen)
- Fehler bei der Messung des Versuchsmerkmals (v.a. bei der Ertragskartierung)
- Vernachlässigung bzw. fehlende Messwerte von stark wirksamen Faktoren.

Sofern also Betriebsfremde mit der Aufbereitung und Analyse von OFR-Versuchsdaten befasst sind, muss sichergestellt werden, dass entsprechend wichtige Zusatzinformationen (z. B. über verschiedene Messgeräte bzw. Messzeiten oder nicht gemessene Faktoren in vermutlich engem Zusammenhang mit dem Versuchsmerkmal) entweder mit hinreichender Verwendbarkeit im Datenmaterial selbst (z. B. bei zusammengeführten Ertragsdaten von mehreren Mähreschern oder Druschterminen) enthalten sind oder auf andere Weise bei der Versuchsauswertung berücksichtigt werden können.

Eine sachverständige und kritische Einordnung der Ergebnisse von einzelnen OFR-Versuchen sollte zudem stets berücksichtigen, dass zumeist wesentliche und vielfach nicht messbare bzw. nicht gemessene Faktoren (z. B. bestimmte klimatische Konstellationen, kleinräumig differenzierter Schädlings- bzw. Krankheitsdruck, Terminverluste) sowohl innerhalb der Versuchszeiträume als auch über mehrere Jahre hinweg erheblichen Schwankungen unterliegen. Ein singuläres Versuchsergebnis (sowohl aus klassischen Kleinparzellen- als auch aus großflächig realisierten OFR-Versuchen) hat somit möglicherweise auch nur eine relativ geringe Aussagekraft – insbesondere dann, wenn mit Hilfe eigener Feldversuche eine längerfristig orientierte Optimierung der betrieblichen Produktionsstrategien erfolgen soll. Mit den Methoden und Werkzeugen des OFR steht der Praxis nunmehr jedoch ein Instrumentarium zur Verfügung, das – je nach Inhalt und betriebswirtschaftlicher Gewichtung der Versuchsfrage – durchaus auch wiederholt oder sogar permanent zum Einsatz kommen kann.

Literatur

- ANSELIN, L., R. BONGIOVANNI & J. LOWENBERG-DEBOER (2004): A spatial econometric approach to the economics of site-specific nitrogen management in corn production. *American Journal of Agricultural Economics*, 86(3): 675 – 687.
- BACHMAIER, M. (2007): Finding Adequate Neighborhoods for Robust Yield Mapping. Technische Universität München-Weihenstephan.
- BLACKMORE, B.S. & M. MOORE (1999): Remedial Correction of Yield Map Data. *Precision Agriculture* 1, 53 – 66.
- BRENNING, A. & P. LEITHOLD (2007): Wie Praxisversuche sicher gelingen – Produktionsexperimente mit vielen virtuellen Parzellen. *Neue Landwirtschaft* 5, 46 – 49.
- GRABO, A. & K. TRAPHAN (2006): On Farm Research. GIL-Tagung, Potsdam, März 2006.

- LEITHOLD, P. (2006): On Farm Research – eine neuartige Methode für Precision Farming. Unkraut-Tagung Stuttgart-Hohenheim, 7. – 9.3.2006.
- LEITHOLD, P. & K. TRAPHAN (2006): On Farm Research – eine neuartige Methode für Precision Farming. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft, 157 – 164.
- LOWENBERG-DEBOER, J., D. LAMBERT & R. BONGIOVANNI (2003): Appropriate on-farm trial designs for precision farming. 4th European Conference on Precision Agriculture (ECPA), Berlin.
- STEINMAYR, T. (2003): Fehleranalyse und Fehlerkorrektur bei der lokalen Ertragsermittlung im Mäh-drescher zur Ableitung eines standardisierten Algorithmus für die Ertragskartierung. Technische Universität München-Weihenstephan.
- PIOTRASCHKE, H. & P. LEITHOLD (2007): On-Farm Research. Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft, Sonderdruck 12/2007.
- WENDROTH, O., P. JURSCHIK, A. GIEBEL & D. NIELSEN (1999): Spatial statistical analysis of on-site crop yield and soil observations for site-specific management. 4th International Conference on Precision Agriculture, Madison, WI.

Anschrift der Autoren:

Dipl. Ing. agr. Peer Leithold

Agri Con GmbH
Im Wiesengrund 4
04749 Ostrau, OT Jahna
Telefon: (034324) 52430
Telefax: (034324) 52440
E-Mail: peer.leithold@agricon.de

Dipl. Ing. agr. Hagen Piotraschke

Agri Con GmbH
Im Wiesengrund 4
04749 Ostrau, OT Jahna
Telefon: (034324) 52449
Telefax: (034324) 52440
E-Mail: hagen.piotraschke@agricon.de

4.3 Grundlagen zum Pflanzenschutz im Precision Farming

Fundamentals of plant protection in Precision Farming

Karl-Heinz Dammer, Judith Wollny, Bernhard Hau, Thomas Volk & Thomas Wischke

Zusammenfassung

Innerhalb der Bestandesführung stellt der Pflanzenschutz einen Kostenfaktor mit hohem Optimierungspotenzial dar. Im Hinblick auf einen bedarfsorientierten teilflächenspezifischen Pflanzenschutz fehlen praxisreife Systeme zur automatischen Krankheitserfassung unter Feldbedingungen. Am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (ATB) wurde ein Verfahren entwickelt, das die Fungizidapplikationsrate an die ortsspezifische Pflanzenoberfläche anpasst. Die räumliche Verteilung der Pflanzenoberfläche in Getreidefeldern kann mit Hilfe des CROP-Meters, einem auf dem Pendelprinzip beruhenden mechanischen Sensor, indirekt erfasst werden. Der Sensorwert (Pendelwinkel) ist mit dem gemessenen Leaf Area Index (LAI) korreliert (DAMMER & EHLERT 2006). Dieses Online-Verfahren wurde unter anderem in *pre agro I* zur differenzierten Ausbringung von Fungiziden eingesetzt und ergab im langjährigen Durchschnitt Mitteleinsparungen von 22 % ohne Ertragsverluste zu verursachen (DAMMER & EHLERT 2006). Aufgrund des Messprinzips ist der Sensor nicht in der Lage, den Befall durch pilzliche Pathogene zu detektieren. Um jedoch Aussagen über ortsspezifische Befallssituationen durch pilzliche Schaderreger abzuleiten, sind noch immer manuelle Bonituren nötig, welche für einen teilflächenspezifischen Fungizideinsatz nicht praktikabel umsetzbar sind. Ergänzend zur visuellen Bonitur können Entscheidungsunterstützungssysteme wie proPlant herangezogen werden, welche anhand von Wetterdaten und schlagspezifischen Informationen das Infektionsrisiko durch pilzliche Pathogene abschätzen. Das System proPlant empfiehlt dem Nutzer geeignete Fungizide und situationsbezogene Applikationsmengen, wobei ökonomisch relevante Faktoren wie die Ertragserwartung sowie die Kosten einer Fungizidapplikation einbezogen werden (VOLK 1998).

Ziel des Projektes war, das Expertensystem proPlant „expert.classic“ so zu modifizieren, dass es Fungizidmengenempfehlungen für vorher festgelegte Managementzonen erstellt und in Form einer teilflächenbasierten Applikationskarte exportiert. Durch die Kombination des neu entwickelten Prototyps proPlant „expert.precise“ mit dem online-Sensor CROP-Meter wurde die technische Lösung eines hybriden Applikationssystems für die teilflächenspezifische Fungizidapplikation in Winterweizen geschaffen. Ziel war eine zusätzliche Einsparung an Fungiziden sowie eine zeitliche Optimierung des Bekämpfungstermins. Der Testphase mit umfassenden Funktions- sowie Schwachstellenanalysen im Jahr 2006 folgten im Versuchsjahr 2007 Streifenversuche auf drei Praxisflächen. Dabei konnten durch Einsatz des hybriden Systems im Vergleich zur schlageinheitlichen Fungizidapplikation Einsparungen von bis zu 32,6 % erreicht werden. Demgegenüber ergab die CROP-Meter-Variante eine Verminderung der Applikationsmenge bis zu 20,3 %. In allen Feldversuchen konnte kein stärkeres Krankheitsauftreten in den Prüfgliedern der zwei teilflächenspezifischen Verfahren gegenüber den einheitlich behandelten beobachtet werden. Die Ertragsauswertung ergab keine eindeutige Ertragsüberlegenheit eines der getesteten Verfahren.

Summary

Plant protection is an expense factor with high optimisation potential especially under ecological and economical considerations. Compared to time-consuming manual assessments, automatic disease

identification would help to provide information about the disease occurrence in different parts of the field, before their incidence reaches critical thresholds. Because there are no practical solutions for automatic disease detection under field conditions, an alternative method for optimizing fungicide application is to adapt the application rate to the local plant surface. Spatial information about the Leaf Area Index (LAI) can be obtained indirectly with the CROP-Meter sensor. This online approach was also tested to variably apply fungicides on the plant surface of cereals in *pre agro* I. Because of its measuring principle, the sensor can not detect infestation with pathogens.

In addition to visual disease monitoring, decision support systems like proPlant “expert.classic” estimate infection risks for fungal pathogens using weather data and field-specific information. Taking into account economic factors such as expected yield and costs of the fungicide products, the system suggests suitable fungicides and application rates.

Project work was performed to define basic principles for a site-specific decision support system proPlant “expert.precise”. This prototype was developed for the simulation of site-specific infection potentials for important fungal wheat pathogens. The output is a spraying map with specific application rates for up to three management zones. By combining the online sensor CROP-Meter and the expert system proPlant “expert.precise” the technical solution for a hybrid fungicide application system was developed. The aim was to achieve an additional economical and ecological improvement and an optimization of timing of fungicide spraying. Test runs in 2006 were followed by strip trials on three fields in 2007.

Compared with conventional uniform spraying the hybrid application system resulted in up to 32.6 % fungicide savings (CROP-Meter versus uniform: up to 20.3 %). In all field trials there was no higher disease occurrence in the two site-specific treatment plots compared with the uniform fungicide spraying. The yield analysis resulted in no clear advantage of one of the tested application methods.

4.3.1 Problemstellung

Neben ökonomischen und ökologischen Aspekten wächst seit Einführung des „Reduktionsprogramm Chemischer Pflanzenschutz“ seitens der Bundesregierung auch der politische Druck auf den Landwirt, die eigene Bekämpfungsstrategie zu überdenken (ANONYM 2005). Bisher wird trotz Kenntnis von Schlagheterogenitäten meist schlageinheitlich mit einem breit wirksamen Fungizidpräparat appliziert. Seit einigen Jahren wird an Methoden gearbeitet, die es ermöglichen sollen, Unterschiede in Pflanzen- und Bodenparametern auf dem Ackerschlag zu erkennen und darauf angepasst zu reagieren. Für den Pflanzenschutz liegen dazu bisher noch wenig praktische Erfahrungen vor.

Derzeitig stehen für die sensortechnische Unkrauterfassung während der Fahrt optoelektronische als auch bildanalytische Methoden zur Verfügung (DAMMER et al. 2003, GERHARDS & CHRISTENSEN 2003). Hingegen sind jedoch immer noch manuelle Bonituren nötig, um Aussagen über die Befallsituation mit pilzlichen Schaderregern abzuleiten. Da flächendeckende Bonituren für den teilflächenspezifischen Fungizideinsatz nicht praktikabel durchführbar sind, ist nur eine sensorgestützte Erfassung der Verteilung und Befallsintensität pilzlicher Erreger sinnvoll. Die momentan auf dem Markt erhältlichen Sensoren sind aufgrund ihres Messprinzips nicht in der Lage, den Krankheitsbefall bzw. das jeweilige Pathogen zu detektieren (EHLERT & DAMMER 2002).

Eine Möglichkeit den Fungizideinsatz in Getreide zu optimieren, besteht darin, die Applikationsmenge mit Hilfe des CROP-Meters an die zu benetzende Pflanzenoberfläche anzupassen. Eine ausführliche Beschreibung des CROP-Meter-Funktionsprinzips gibt HAMMEN (2001) am Beispiel der online-Erfassung von Pflanzenmasse in Getreide. Bei der CROP-Meter-gestützten Fungizidapplikation erhal-

ten schwächer ausgebildete Pflanzenbestände mit geringerem LAI weniger fungizide Spritzbrühe als dichte Pflanzenbestände mit einem höheren LAI. Dabei wird das Ziel verfolgt, eine etwa gleiche Wirkstoffanlagerung je Einheit Pflanzenoberfläche zu erreichen. Bei diesem Verfahren muss allerdings beachtet werden, dass die jeweilige Spritztechnik diesen Anforderungen genügt. Am ATB ist eine Feldspritze mit Mehrfachdüsenträgern VarioSelect® vorhanden, welche es erlaubt, die Applikationsmenge in einem Mengenbereich bis 1:8 zu variieren (DAMMER et al. 2003). Nach mehrjähriger Versuchsphase, u. a. auch in *pre agro* I (EHLERT & DAMMER 2002), findet dieses Verfahren bereits in der landwirtschaftlichen Praxis Anwendung. Betriebsmitteleinsparungen von durchschnittlich 22 % konnten bisher realisiert werden, ohne dabei Ertragsdepressionen zu verursachen (DAMMER & EHLERT 2006).

Zur Festlegung des optimalen Bekämpfungszeitpunktes sind Kenntnisse über befallsfördernde Faktoren sowie zur Epidemiologie der Pilzpathogene im Schlag dennoch weiterhin unerlässlich. Insbesondere bei latentem Befall ist es schwierig, den pilzlichen Pathogenbefall zu beurteilen und eine Bekämpfungswürdigkeit abzuschätzen. Über das kleinräumig differenzierte Krankheitsauftreten im Ackerschlag wird bisher wenig berichtet. Für Echten Mehltau (*Erysiphe graminis* DC. f. sp. *tritici*) ist eine befallsfördernde Wirkung durch zunehmende Pflanzenbestandesdichten bekannt (SENTELHAS et al. 1993, ROZALSKI et al. 1998). Während LOVELL et al. (1997) in Pflanzenbeständen hoher Dichte, verursacht durch ein höheres Stickstoffangebot, eine Zunahme des Befallsniveaus der Septoria-Blattdürre (*Septoria tritici* Rob. Ex Desm.) feststellten, ergaben Untersuchungen durch BJERRE (1999) einen negativen Zusammenhang zwischen Bestandesdichte und Auftreten der Septoria-Blattdürre.

Bei der Entscheidung über die Notwendigkeit einer Fungizidmaßnahme bieten sich neben der eigenen visuellen Befallserhebung Entscheidungsunterstützungssysteme wie das durch proPlant entwickelte Beratungssystem „expert.classic“ als ergänzendes Instrument an. Unter Einbeziehung aktueller Witterungsverhältnisse und schlagspezifischer Daten liefert proPlant Informationen zu Infektionswahrscheinlichkeiten wichtiger Krankheitserreger sowie Aufwandmengenempfehlungen für Fungizidpräparate (TISCHNER 1998, NEWE et al. 2003).

Ziel des Teilprojektes war zunächst die Erarbeitung der Grundlagen für einen kleinräumig optimierten Fungizideinsatz, welcher schlag- und teilschlagspezifische Parameter bei der Festlegung der Applikationsmenge einbezieht. Zur Formulierung der Anforderungen an eine teilflächenspezifische Fungizidapplikation wurden in Winterweizen Feldversuche zur Charakterisierung der Bestandes- und Krankheitsentwicklung angelegt und ausgewertet.

Im zweiten Schritt war das Beratungssystem proPlant „expert.classic“ so zu modifizieren, dass ein für den teilflächenspezifischen Fungizideinsatz geeigneter Prototyp proPlant „expert.precise“ entwickelt wird, welcher als Ergebnis Applikationskarten mit differenzierter Fungizidmengenempfehlung liefert. Dabei sollte unter anderem die Abhängigkeit des Fungizideinsatzes von der unterschiedlichen Ertrags-erwartung auf Teilflächen Berücksichtigung finden.

Abschließend sollte die Applikationskarte in einem hybriden System mit dem CROP-Meter, welches die Information zur aktuellen Bestandesentwicklung zum Zeitpunkt des Spritzens bereitstellt, verknüpft werden. Dazu war eine Umrüstung der am ATB vorhandenen Spritztechnik auf die Erfordernisse des hybriden Systems nötig. Der Hybridansatz bietet die Möglichkeit, sowohl das aktuelle Infektionsgeschehen auf Teilflächen eines Ackerschlages als auch die Bestandesunterschiede hinsichtlich zu benetzender Pflanzenoberfläche zum Zeitpunkt der Applikation gemeinsam in einer Spritzanweisung zu verarbeiten.

Nach ersten Funktionstests sowie Fehleranalysen war das hybride System in Feldversuchen einzusetzen und dessen Wirkung auf Krankheitsgeschehen und Weizenertrag zu bewerten.

4.3.2 Bearbeitungsgegenstände und verwendete Methoden

Feldversuche zur Definition der Anforderungen an einen teilflächenspezifischen Fungizideinsatz in Winterweizen

Um das Potential für einen bedarfsgerechten Fungizideinsatz auf den zwei Projektbetrieben zu beurteilen und relevante Parameter zu formulieren, wurden in den Jahren 2005 und 2006 in beiden Projektbetrieben Streifenversuche hinsichtlich der Fungizidapplikation mit 3 Prüfgliedern in Winterweizen angelegt:

1. Unbehandelt
2. Einheitlich
3. Teilflächenspezifisch.

Die Auswahl der Versuchsflächen erfolgte anhand der durch Ertrags- bzw. Bodenkarten ermittelten Heterogenität. Schläge mit der Vorfrucht Winterweizen und pflugloser Bodenbearbeitung wurden bevorzugt ausgewählt, da diese erfahrungsgemäß ein höheres Ausgangsinfektionspotenzial für pilzliche Pathogene aufweisen. Zur Beschreibung der Bestandes- und Krankheitsentwicklung wurden je Ertragserwartungszone und Prüfglied seitlich der Fahrspur Boniturstellen eingerichtet. Dies erfolgte durch vorherige Auswahl im ArcView[®] GIS und anschließendem Aufsuchen der Punkte mit einem DGPS-Handgerät (Garmin 60) auf dem Feld. Die Ertragserwartungszonen ergaben sich für die Versuchsschläge wie folgt:

- „Vor Pilsenhöhe“ und „Hinter Pilsenhöhe“ (Betrieb WIMEX) – aus der bereits vorhandenen „3-Zonen-Karte“ entsprechend einer Methode der AGROSAT GmbH (DOHMEN et al. 2002)
- „Lehmburg“ und „Rohrbreite“ (Betrieb Träger-Farny) – aus der Verknüpfung von mehrjährig erfassten Ertragsdaten und der Karte der elektrischen Leitfähigkeit in ArcView[®] GIS.

Anhand der Abbildung 105 werden die Lage der Prüfglieder auf der Versuchsfläche sowie die Anordnung der Boniturstellen in der jeweiligen Ertragserwartungszone am Beispiel des Schlages „Hinter Pilsenhöhe“ verdeutlicht. Es wurden Fahrspuren gewählt, die möglichst alle Ertragserwartungszonen enthielten. Die Ertragserwartungszone 1 kennzeichnet dabei den Feldbereich mit der höchsten Ertragserwartung. Dementsprechend beziehen sich die Ertragserwartungszonen 2 bzw. 3 auf ein mittleres bzw. niedriges Ertragsniveau. Für das Prüfglied „Teilflächenspezifisch“ ist die Aufwandmengendifferenzierung in der jeweiligen Ertragserwartungszone dargestellt. Die Angaben beziehen sich auf die einheitlich applizierte Brühmenge, wobei für die mittlere bzw. ertragsschwache Zone eine Verringerung der Applikationsmenge gegenüber der ertragsstarken Zone auf 75 % bzw. 50 % festgelegt wurde. Die Differenzierung der Aufwandmengen im Prüfglied „Teilflächenspezifisch“ erfolgte mit der auf den Betrieben vorhandenen Spritztechnik durch Anpassung der Fahrgeschwindigkeit.

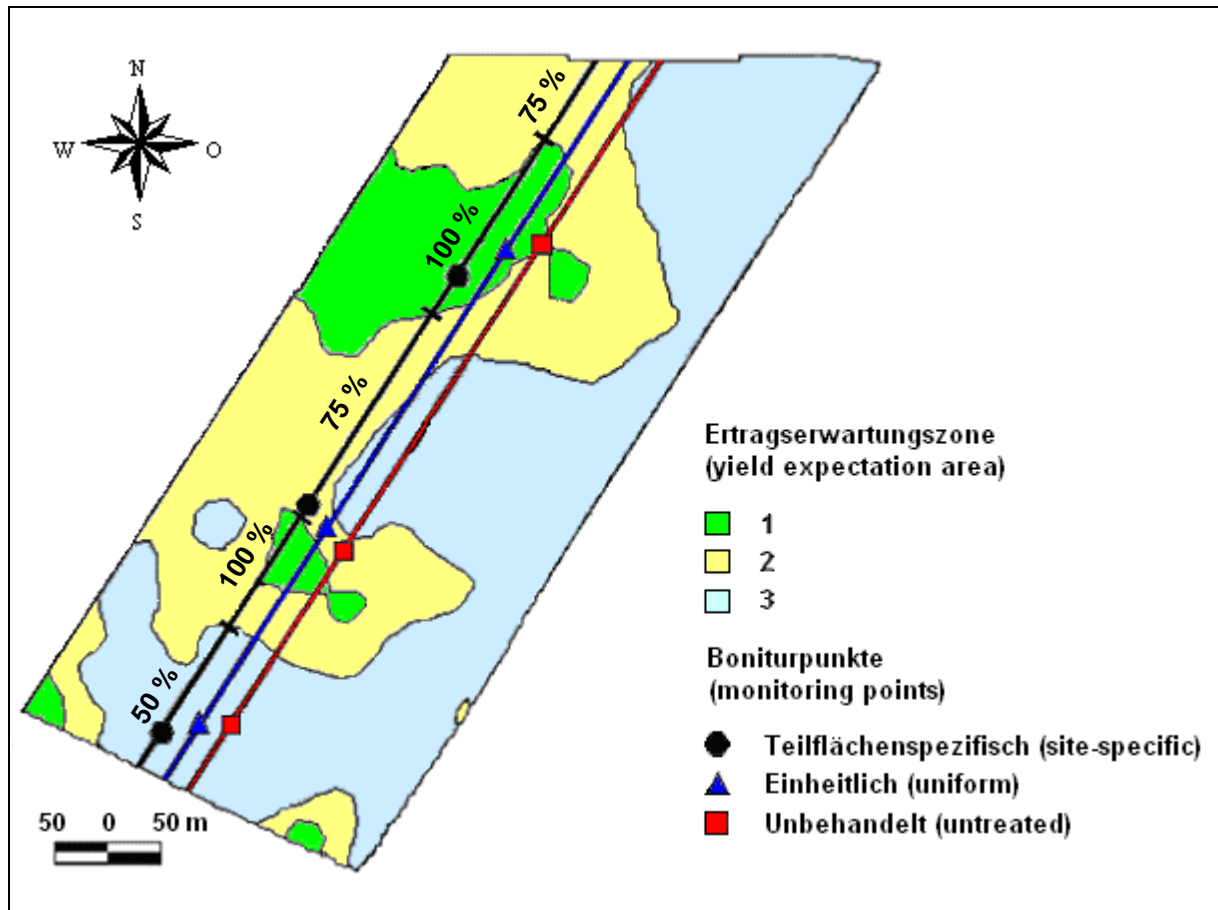


Abbildung 105: Lage der Prüfglieder und Anordnung der Boniturstellen in den Ertragserwartungszonen am Beispiel des Schrages „Hinter Pilsenhöhe“ (Schlagausschnitt)

Figure 105: Location of treatment plots and arrangement of the sampling points in the yield expectation areas exemplary for the field „Hinter Pilsenhöhe“ (field section)

Folgende Prüfmerkmale wurden in etwa wöchentlichem Abstand während der Vegetationsperiode an jedem Boniturstelle erhoben:

- EC-Stadium
- Pilzbefall
- Abreifegrad (Blattseneszenz)
- Blattflächenindex (LAI).

Der Krankheitsbefall und die Seneszenz wurden jeweils an 30 Pflanzen getrennt nach Blattetagen F (Fahnenblatt), F-1 und F-2 ermittelt. Dazu erfolgte eine visuelle Bewertung der Befallsstärke nach % befallener bzw. seneszenten Blattfläche. Zur Ermittlung des LAI wurde das Handmessgerät Sun Scan Canopy Analyser® (ANONYM 1999) verwendet. Aus 10 Einzelmessungen im Umkreis von etwa 2 Metern um den Boniturstelle wurde ein Mittelwert gebildet.

Auf der Ackerfläche „Vor Pilsenhöhe“ wurde kein Streifenversuch angelegt. Die in einem „Spritzfenster“ ohne Fungizidapplikation durchgeführten Bonituren dienten allein der Seneszenz- und Krankheitserfassung in unterschiedlichen Bestandesdichten.

In der Tabelle 35 sind getrennt nach Versuchsjahr ausgewählte Anbaudaten sowie die Fungizidbehandlungen auf den Versuchsflächen zusammengefasst. Die Aussaat erfolgte mit konstanter Menge schlageinheitlich. Während auf den Flächen des Betriebes WIMEX nur eine Fungizidapplikation ($120 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$ Wasseraufwandmenge) erfolgte, wurde auf den Schlägen des Betriebes Träger-Farny mehrfach mit Fungiziden (jeweils $200 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$ Wasseraufwandmenge) gespritzt. Dabei erfolgte die Behandlung zum 1. Behandlungstermin schlageinheitlich, zum 2. und 3. Spritztermin wurde entsprechend der in Abbildung 105 dargestellten Versuchsanlage appliziert.

Tabelle 35: Ausgewählte Anbaudaten (Winterweizen) und Fungizidmaßnahmen auf den Versuchsflächen 2005 und 2006 (WW = Winterweizen, WG = Wintergerste)

Table 35: Growing data (winter wheat) and fungicide treatments at the experimental sites in 2005 and 2006 (WW = winter wheat, WG = winter barley)

Schlagname field name	Vorfrucht previous crop	Sorte cultivar	Aussaat sowing (Datum/date)	Saatstärke seeding rate ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Fungizid fungicide	Applikation application (Datum/date)	Aufwandmenge application amount ($\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$)
Jahr/year 2005							
Hinter Pilsenhöhe	WW	Dekan	08.10.04	165	Input Set®	03.06.05	1.5
Lehmberg	WW	Ritmo	07.10.04	180	Input Set® Proline® Impulse® Twist®	04.05.05 10.06.05	1.0 0.6 0.6 0.2
Jahr/year 2006							
Hinter Pilsenhöhe	WW	Tommi	07.10.05	140	Input®	01.06.06	1.0
Vor Pilsenhöhe	WG	Tommi	08.10.05	140	Input®	01.06.06	1.0
Rohrbreite	WW	Ritmo	11.10.05	150	Bravo® Gladio® Input Set® Bravo 500® Impulse®	06.05.06 06.06.06 23.06.06	1.0 0.5 0.8 1.2 0.4

Die Beerntung der Versuche erfolgte je Prüfglied jeweils links und rechts der Fahrspur im Kerndruschverfahren mit einem Mähdrescher mit Ertragerfassungssystem. Paare lokaler Ertragswerte von Erntespuren benachbarter Prüfglieder wurden im ArcView® GIS mittels der Prozedur „spatial join“ gebildet. Dabei wurden zwischen den Prüfgliedern die Erntespuren mit gleicher Beerntungsrichtung verknüpft. Um die Ertragswerte der entsprechenden Prüfglieder paarweise zu vergleichen, wurde die Differenz der lokalen Ertragswerte von jeweils 2 Prüfgliedern gebildet. Mit dem t-Test erfolgte eine Testung dieser Differenz auf signifikant verschieden von Null (ANONYM 1972). Dazu wurde mit der Statistiksoftware SAS® 9.1 gearbeitet.

Konzipierung des Prototyps proPlant „expert.precise“

Für eine Anpassung des Beratungssystems proPlant „expert.classic“ an die Anforderungen des teilflächenspezifischen Fungizideinsatzes wurde Fachliteratur einbezogen, um zunächst die das kleinräumige Krankheitsauftreten beeinflussenden Parameter zu definieren und zu gewichten. Als Datengrundlage konnte das in proPlant bereits integrierte Expertenwissen zur Biologie einzelner Weizenpathogene genutzt werden. In Wenn-dann-Entscheidungsregeln sind die jeweiligen Ansprüche der pilzlichen Erreger an Wetterparameter wie Temperatur, Niederschlag sowie Luftfeuchtigkeit im Programm verknüpft. Die Ertragswartung hat Einfluss auf die systemintern gestellten Anforderungen an die Fun-

gizide. Anschließend wird eine Empfehlung geeigneter Präparate gegeben. Die Wirkungsdauer von Fungizidpräparaten ist erregerspezifisch. Der Nutzer kann sich diese für unterschiedliche Aufwandmengen vergleichend anzeigen lassen. Auch die Sortenanfälligkeit gegenüber wichtigen Weizenpathogenen findet in proPlant Berücksichtigung (NEWE et al. 2003)

Es mussten ebenfalls die Anforderungen des Nutzers an einen teilflächenspezifischen Pflanzenschutz Berücksichtigung finden. Für vorher definierte Managementzonen eines Schlages sollte unter Berücksichtigung von Bestandeseigenschaften eine separate Simulation des Infektionspotenzials ermöglicht werden. Ziel war die Empfehlung einer spezifischen Fungizidaufwandmenge je Managementzone in Form einer teilflächenspezifischen „Spritzkarte“. Dazu musste das System in der Lage sein, in einem GIS erstellte „Shape-Files“ zu verarbeiten und für den Anwender sichtbar zu machen. Um die je Managementzone empfohlenen Fungizidaufwandmengen räumlich zuordnen zu können, war dementsprechend die Integration von Funktionen eines GIS in proPlant „expert.precise“ nötig. Als Koordinatensystem wurde das Gauss-Krüger Bessel Ellipsoid festgelegt. Für häufig angewandte Fungizidpräparate waren in Abhängigkeit von ökonomischen Aspekten sowie der maximal zugelassenen Aufwandmenge zusätzliche Mengenabstufungen entsprechend praxisrelevanter Unterschiede hinsichtlich der Ertrags-erwartung in den Managementzonen einzubeziehen.

Neben der durch proPlant „expert.precise“ gegebenen Fungizidmengenempfehlung sollte dem Nutzer einerseits eine Anpassung der Aufwandmengen und andererseits die Festlegung der Wasseraufwandmenge in den Managementzonen für seine schlagspezifische Situation ermöglicht werden. Um die jeweilige Arbeitsbreite der Feldspritze als auch die Schlaggröße berücksichtigen zu können, war eine Funktion zur Veränderung der Rastergröße der „Spritzkarte“ zu integrieren. Der Export der „Spritzkarte“ war in einem für das Bordterminal (Basic Terminal TOP[®], Müller-Elektronik) lesbaren Datenformat zu realisieren.

Algorithmus zur Kombination von proPlant „expert.precise“ mit dem CROP-Meter

Aufgrund der fehlenden Erfahrungen zu Applikationssystemen, die Informationen sowohl von aktuellen Sensorwerten als auch aus Applikationskarten zu einer Spritzanweisung in Echtzeit zu verknüpfen, mussten zunächst deren Anforderungen, vor allem für den Praxiseinsatz, definiert werden. Die am ATB vorhandene Spritztechnik wurde auf die Anforderungen der ISO 11783 umgerüstet. Die technische Anpassung und Programmierung der am ATB vorhandenen Feldspritze und des CROP-Meters auf die Ansprüche eines hybriden Systems mussten so erfolgen, dass unter Einhaltung von praxisüblichen Geschwindigkeiten eine Fungizidapplikation mit einer Sensor-Traktor-Spritzen-Kombination erfolgen kann. Feldspritze und Schlepper erhielten ISOBUS-kompatible Jobrechner. Zusätzlich wurden ein neues Bordterminal (Basic Terminal Top[®]) sowie ein Software-Update durch den Kooperationspartner Müller-Elektronik bereitgestellt. Anschließend wurde ein Algorithmus erarbeitet, der die aus dem Expertensystem empfohlene Aufwandmenge mit der aktuellen Information über die vom CROP-Meter ermittelte Pflanzenmasse bzw. -oberfläche verknüpft. Im Jahr 2006 wurden auf Versuchsflächen des ATB mehrere Testfahrten durchgeführt. Unter Einhaltung praxisüblicher Geschwindigkeiten erfolgte eine Prüfung des Regelverhaltens der Feldspritze in einzelnen Managementzonen.

Feldversuche zur applikationskartenbasierten Echtzeitapplikation von Fungiziden mit dem CROP-Meter

Ähnlich der oben beschriebenen Feldversuche wurden im letzten Projektjahr 2007 vergleichende Streifenversuche zur Wirkung einer Fungizidapplikation mit dem hybriden System auf Ertrag und Krankheitsentwicklung mit folgenden Prüfgliedern durchgeführt:

- Unbehandelt
- Hybrid
- CROP-Meter
- Einheitlich.

Aufgrund der Arbeitsbreite von 24 m der am ATB vorhandenen Feldspritze waren nur Schläge mit einem Fahrspurabstand von 24 m als Versuchsflächen geeignet. Der schematische Aufbau der Versuche ist der Abbildung 106 am Beispiel des Schlages „Bruch oben“ des Projektbetriebes WIMEX zu entnehmen. Auf diesem Schlag sowie auf dem Schlag „Gölsdorfer Mühle“ (Betrieb „Nuthequelle“ Landwirtschaftliche Betriebsgesellschaft mbH Niedergörsdorf) wurden die Krankheits- und Bestandesentwicklung nach der für die Versuchsjahre 2005 und 2006 beschriebenen Methodik erfasst. Auf dem dritten Schlag „Lange Enden“ des Betriebes WIMEX wurde aus Zeitgründen auf Bonituren während der Vegetationsperiode verzichtet. Die Beerntung und Versuchsauswertung gestaltete sich in gleicher Weise wie in den Versuchen 2005 und 2006. Für den Ertragsvergleich zwischen benachbarten Prüfgliedern wurden Erntestreifen gleicher Druschrichtung verwendet. Da im jeweiligen Prüfglied die Richtung des Kerndrusches gegensätzlich verlief, wird bei der Versuchsauswertung ein Erntestreifen ausgelassen. Im Schlag „Bruch oben“ trat Lagergetreide auf, was beim Vergleich von Erntespuren mit gegensätzlicher Beerntungsrichtung zu einer Übervorteilung bestimmter Prüfgliedern führen könnte. Getreidepflanzen die idealerweise entgegen der Druschrichtung liegen, würden von der Haspel des Mähdeschers besser aufgenommen werden als Getreidepflanzen, die in Druschrichtung liegen.

Ausgewählte schlagspezifische Maßnahmen des Bewirtschaftungsjahres 2007 sind in Tabelle 36 dargestellt. Die Aussaat erfolgte zu den angegebenen Terminen schlageinheitlich mit einer konstanten Aussaatmenge. Auf den Schlägen „Bruch oben“ und „Lange Enden“ wurde bereits im April eine schlageinheitliche Fungizidapplikation zur Mehлтаubekämpfung (Fungizidpräparat: Flexity®) durchgeführt. Die entsprechenden Fungizide wurden in 300 l·ha⁻¹ Wasser (Gölsdorfer Mühle: 260 l·ha⁻¹ Wasser) angemischt.

Zur Ermittlung der Einsparung an fungizider Spritzbrühe gegenüber dem Prüfglied „Einheitlich“ (gewogenes arithmetisches Mittel) ist der prozentuale Anteil der mit dem Datenerfassungssystem aufgezeichneten lokalen positionsbezogenen Durchflussdaten (l ha⁻¹) in den drei Ertragserwartungszonen im jeweiligen Prüfglied von Bedeutung (Tabelle 37). Der Durchfluss wird an der Hauptleitung der Feldspritze mittels eines zusätzlichem Durchflussmessers erfasst. Besonders auf dem Schlag „Bruch oben“ ist der Anteil der lokalen Durchflusswerte in den Managementzonen zwischen den Prüfgliedern unterschiedlich. Die Zone 3 mit geringer Ertragserwartung ist mit einem sehr geringen Anteil von 2 % bis 18 % in den vier Prüfgliedern vertreten.

Tabelle 36: Ausgewählte Anbaudaten (Winterweizen) und Fungizidmaßnahmen auf den Versuchsflächen 2007 (WW = Winterweizen, WG = Wintergerste)

Table 36: Growing data (winter wheat) and fungicide treatments at the experimental sites in 2007 (WW = winter wheat, WG = winter barley)

Schlagname field name	Vorfrucht previous crop	Sorte cultivar	Aussaat sowing (Datum/date)	Saatstärke seeding rate (kg·ha ⁻¹)	Fungizid fungicide	Applikation application (Datum/date)	Aufwandmenge application amount (l·ha ⁻¹)
Bruch oben	WG	Charger	25.09.06	154	Flexity® Proline® Swing Gold®	12.04.07 22.05.07	0.3 0.5 0.7
Lange Enden	WR	Charger	28.09.06	167	Flexity® Proline® Swing Gold®	10.04.07/ 13.04.07 21.05.07	0.3 0.5 0.7
Gölsdorfer Mühle	Kartoffeln/ potatoes	Dekan	09.10.06	150	Input®	23.05.07	1.2

Tabelle 37: Anzahl und prozentualer Anteil der Durchflusswerte je Ertragserwartungszone und Prüfglied in den Versuchsschlägen 2007

Table 37: Number and percentage of the flow meter values within the yield expectation area and treatment plots of the experimental sites 2007

Zone/area	Unbehandelt/ untreated		CROP-Meter		Einheitlich/ uniform		Hybrid. System/ map overlay	
	Anzahl Werte/ num. of values	%	Anzahl Werte/ num. of values	%	Anzahl Werte/ num. of values	%	Anzahl Werte/ num. of values	%
„Bruch oben“								
1	234	68	226	53	131	37	212	61
2	104	30	124	29	180	51	90	26
3	6	2	76	18	44	12	44	13
Gesamt/ total	344	100	426	100	355	100	346	100
„Lange Enden“								
1	91	20	84	25	107	31	92	27
2	295	66	127	37	110	32	123	36
3	61	14	128	38	131	38	122	36
Gesamt/ total	447	100	339	100	348	100	337	100
„Gölsdorfer Mühle“								
1	120	25	54	11	68	12	123	29
2	269	56	268	56	296	54	196	46
3	93	19	160	33	186	34	109	25
Gesamt/ total	482	100	482	100	550	100	428	100

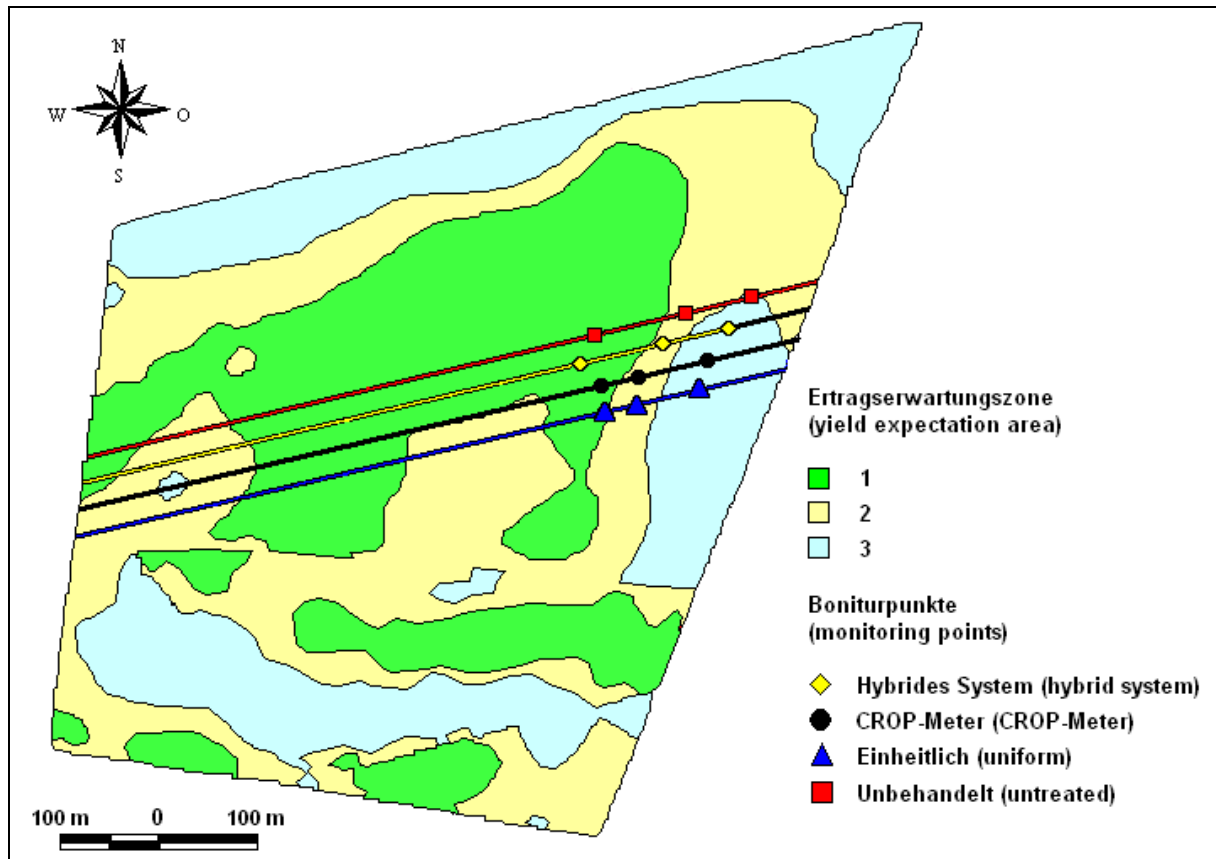


Abbildung 106: Lage der Prüfglieder und Anordnung der Boniturpunkte in den drei Ertragserwartungszonen am Beispiel des Schlages „Bruch oben“ (Schlagausschnitt)

Figure 106: Location of treatment plots and position of sampling points in three yield expectation areas exemplarily for the field „Bruch oben“ (field section)

4.3.3 Ergebnisse

Feldversuche zur Definition der Anforderungen an einen teilflächenspezifischen Fungizideinsatz in Winterweizen

Betrieb WIMEX

Anhand des Schlages „Hinter Pilsenhöhe“ werden die Bestandesentwicklung als auch der Befall durch pilzliche Pathogene in den Versuchsjahren 2005 und 2006 vergleichend dargestellt. Die über alle Boniturpunkte während der Vegetationsperiode gemessenen minimalen und maximalen Blattflächenindizes (LAI = leaf area index) sind in der Tabelle 38 aufgezeigt. Im Jahr 2005 belegen mittlere Spannweiten des LAI von 2,3 bis 4,3 die vorhandene Heterogenität hinsichtlich des Pflanzenwachstums. Im Gegensatz dazu sind im Jahr 2006 die Unterschiede des Blattflächenindex zwischen den Boniturpunkten mit Spannweiten von 0,9 bis 2,1 deutlich kleiner. Der LAI und damit die ausgebildete Biomasse ist 2006 weitaus geringer als 2005 (max. LAI: 7,7 gegenüber 5,1), was hauptsächlich witterungsbedingt war. Nicht auszuschließen ist auch der Einfluss von Sorteneigenschaften hinsichtlich der Phänologie.

Tabelle 38: Blattflächenindex (Minimum, Maximum und Spannweite Sw) an den jeweiligen Terminen der Versuchsjahre 2005 und 2006 („Hinter Pilsenhöhe“)

Table 38: Leaf area index (minimum, maximum and range Sw) at distinct measuring times in experimental years 2005 and 2006 (“Hinter Pilsenhöhe”)

Datum/date	Jahr/year 2005			Datum/date	Jahr/year 2006		
	Min	Max	Sw		Min	Max	Sw
26.04.05	1,7	4,0	2,3				
05.05.05	2,6	4,8	2,2	08.05.06	1,5	3,6	2,1
16.05.05	3,3	6,2	2,9	15.05.06	1,7	3,7	2,0
25.05.05	4,3	7,7	3,4	24.05.06	3,2	4,9	1,7
31.05.05	3,4	6,0	2,6	01.06.06	3,5	4,4	0,9
13.06.05	2,9	6,0	3,1	12.06.06	3,6	4,9	1,3
21.06.05	1,7	6,0	4,3	20.06.06	3,5	5,1	1,6

Im Versuchsjahr 2005 traten die Krankheiten Septoria-Blattdürre (*Septoria tritici* Rob. Ex Desm.) und die DTR-Blattfleckenkrankheit (*Drechslera tritici-repentis* [Died.] Shoem.) in Mischinfektion auf. Mehltauinfektionen wurden nur sporadisch in unbedeutender Befallsstärke festgestellt.

Die Septoria-Blattdürre und DTR-Blattfleckenkrankheit waren auf den bonitierten Blattetagen in geringen Befallsstärken von kleiner als 15 % vorhanden. In Abbildung 107 (links) ist beispielhaft die mittlere Befallsstärke auf dem Fahnenblatt an den einzelnen Boniturstellen getrennt für jedes Prüfglied dargestellt. Zur Charakterisierung der Bestandesdichte ist der mittlere LAI an den Boniturstellen über alle Termine angegeben. Jede Linie zeigt dabei den spezifischen Verlauf der Krankheitsentwicklung an einem der Punkte. Innerhalb der einzelnen Prüfglieder ist der Verlauf ähnlich, so dass geschlussfolgert werden kann, dass die Krankheitsentwicklung auf diesem Projektschlag unabhängig von der Bestandesdichte verlief. Die Fungizidbehandlung in den Prüfgliedern „Einheitlich“ und „Teilflächenspezifisch“ bewirkte gegenüber dem Prüfglied „Unbehandelt“ eine Unterdrückung der Krankheitsentwicklung.

Eine Reduzierung der Aufwandmenge im Prüfglied „Teilflächenspezifisch“ führte zu keinem Befallsanstieg im Vergleich zur einheitlichen Applikation. Dies gilt sowohl für die Boniturstellen an denen 75 % als auch 50 % der Aufwandmenge appliziert wurde. An allen Boniturstellen mit Fungizidapplikation blieb die Befallsstärke unter 3 %. Die Krankheitsentwicklung auf den nicht dargestellten Blattetagen F-1 und F-2 verlief bei ebenfalls geringem Befall ähnlich wie auf dem Fahnenblatt unabhängig von der Bestandesdichte.

Die Ergebnisse der zur Beschreibung der Bestandesentwicklung verwendeten Abreifebonitur sind ebenfalls in der Abbildung 107 (rechts) dargestellt. An jedem Boniturstelle wurde der Mittelwert der abgestorbenen Blattfläche je Blatt ermittelt. Zur Kennzeichnung der Bestandesdichte ist zusätzlich der Mittelwert der gemessenen LAI-Werte über alle Termine angegeben. Im Versuchsjahr 2005 begann die Abreife an den Boniturstellen mit geringerem LAI bis zu 4 Wochen früher (etwa 25.05.) als an Stellen höherer Bestandesdichte (etwa 21.06.). Eine Verzögerung des Abreifebeginns durch die Fungizidbehandlung war nicht erkennbar. Die Seneszenzentwicklung auf den Blattetagen F-1 und F-2 ähnelte der des Fahnenblattes, ebenfalls abhängig von der Bestandesdichte. Eine Beeinflussung des Abreifeverhaltens in den Prüfgliedern bzw. Managementzonen durch das Krankheitsauftreten ist aufgrund des allgemein als gering einzustufenden Befallsniveaus auszuschließen. Bereits ab Ende Mai

2005 war ein Entwicklungsvorsprung der Teilbereiche mit geringer Bestandesdichte zu beobachten. Die Abreife von Teilflächen mit geringer Bestandesdichte erfolgte zeitiger. Schlussfolgernd benötigen diese Bereiche, im Gegensatz zu Bereichen mit höheren Bestandesdichten, die länger grün bleiben, einen kürzeren Zeitraum an Fungizidschutz.

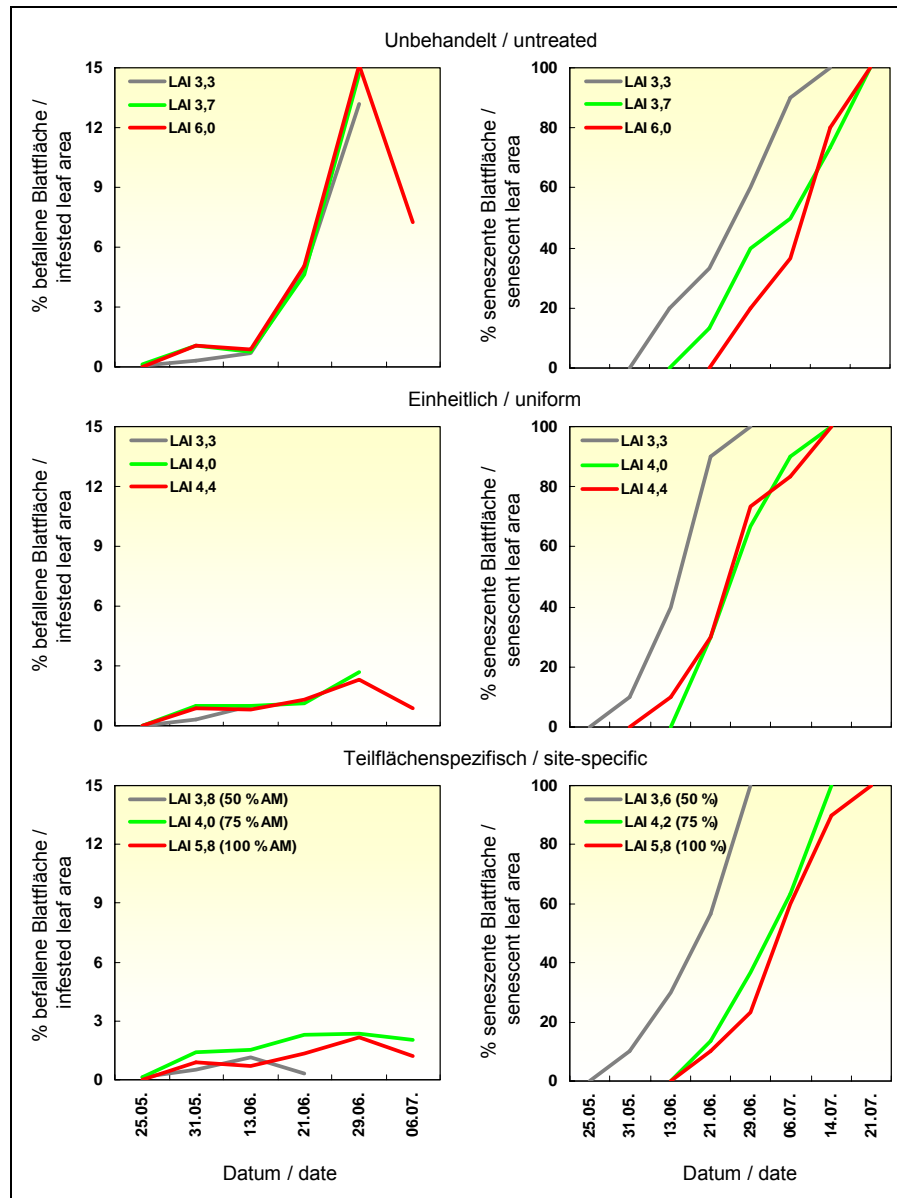


Abbildung 107, links: Mittlere Befallsstärke (*Septoria tritici* und *Drechslera tritici-repentis*) bzw. rechts: mittlere Seneszenzstärke des Fahnenblattes an den Boniturpunkten in den 3 Prüfliegern und 3 Managementzonen im Jahr 2005 („Hinter Pilsenhöhe“, nach WOLLNY et al. 2007)

Figure 107, left: Mean infestation level (*Septoria tritici* and *Drechslera tritici-repentis*) and right: mean senescence level on the flag leaf at the sampling points in the 3 treatment plots and 3 management zones in the year 2005 (“Hinter Pilsenhöhe”, according to WOLLNY et al. 2007)

Wie bereits im Jahr 2005, traten die Krankheiten Septoria-Blattdürre sowie die DTR-Blattfleckenkrankheit auch im Versuchsjahr 2006 in Mischinfektion auf. In den Prüfliegern „Einheitlich“ und „Teilflächenspezifisch“ wurden auf dem Fahnenblatt nur Befallsstärken von kleiner als 5 % erreicht (Abbildung 108, links).

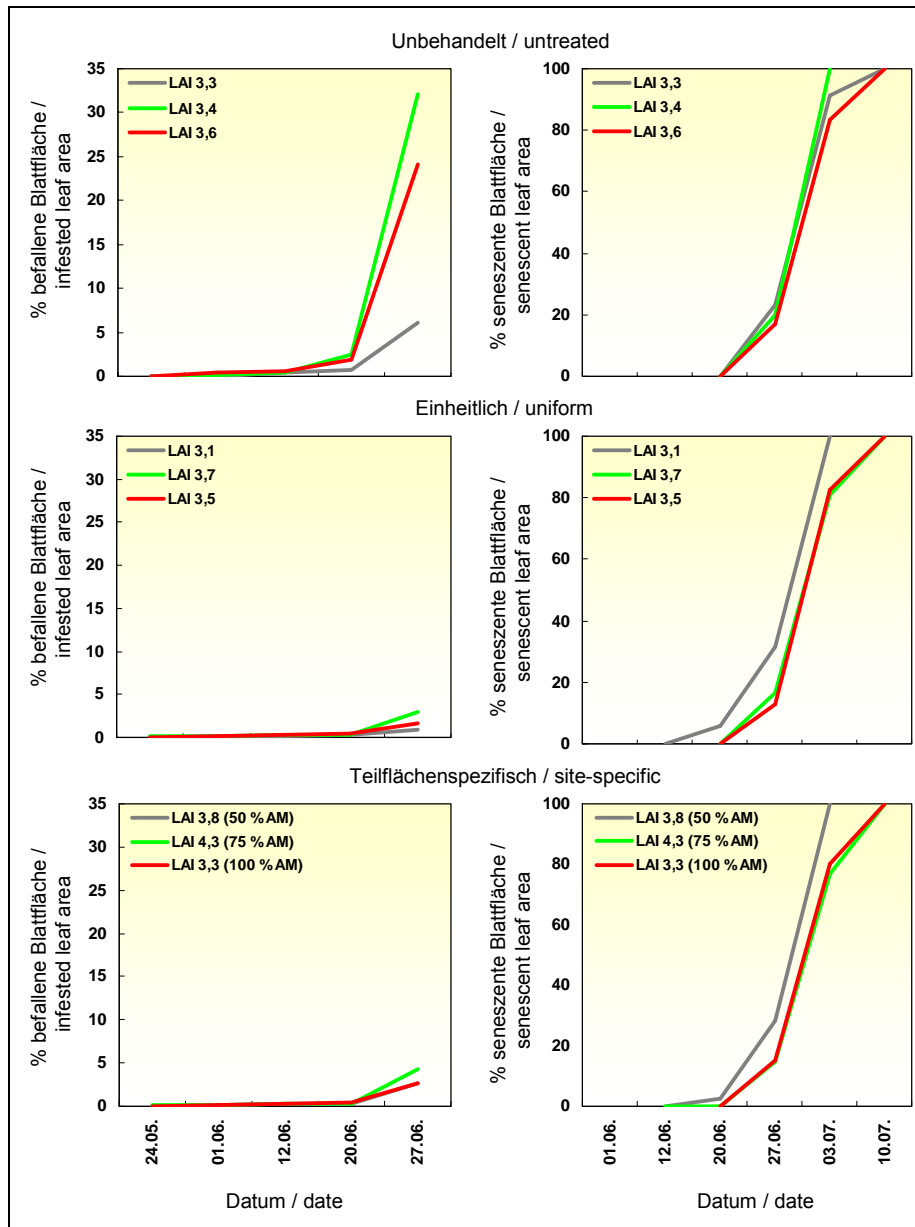


Abbildung 108, links: Mittlere Befallsstärke (*Septoria tritici* und *Drechslera tritici-repentis*) bzw. rechts: mittlere Seneszenzstärke des Fahnenblattes an den Boniturpunkten in den 3 Prüfgliedern und 3 Managementzonen im Jahr 2006 („Hinter Pilsenhöhe“)

Figure 108, left: Mean infestation level (*Septoria tritici* and *Drechslera tritici-repentis*) and right: mean senescence level on the flag leaf at the sampling points in the 3 treatment plots and 3 management zones in the year 2006 (“Hinter Pilsenhöhe”)

Die Boniturpunkte des Prüfgliedes „Unbehandelt“ hingegen wiesen Befallsstärken zwischen 6 und 32 % auf. Demzufolge führte die Fungizidbehandlung in den Prüfgliedern „Einheitlich“ und „Teilflächenspezifisch“ gegenüber der „Unbehandelten“ Kontrolle zu einer Unterdrückung der Krankheitsentwicklung. Durch Herabsetzung der Fungizidmenge im Prüfglied „Teilflächenspezifisch“ war wie bereits im Jahr 2005 kein höheres Befallsniveau als bei einheitlicher Applikation zu beobachten. Unter Beachtung der als ohnehin gering zu bewertenden Unterschiede im LAI und des geringen Krankheitsbefalls war für die Krankheitsentwicklung auch 2006 keine Abhängigkeit von der Bestandesdichte festzustellen.

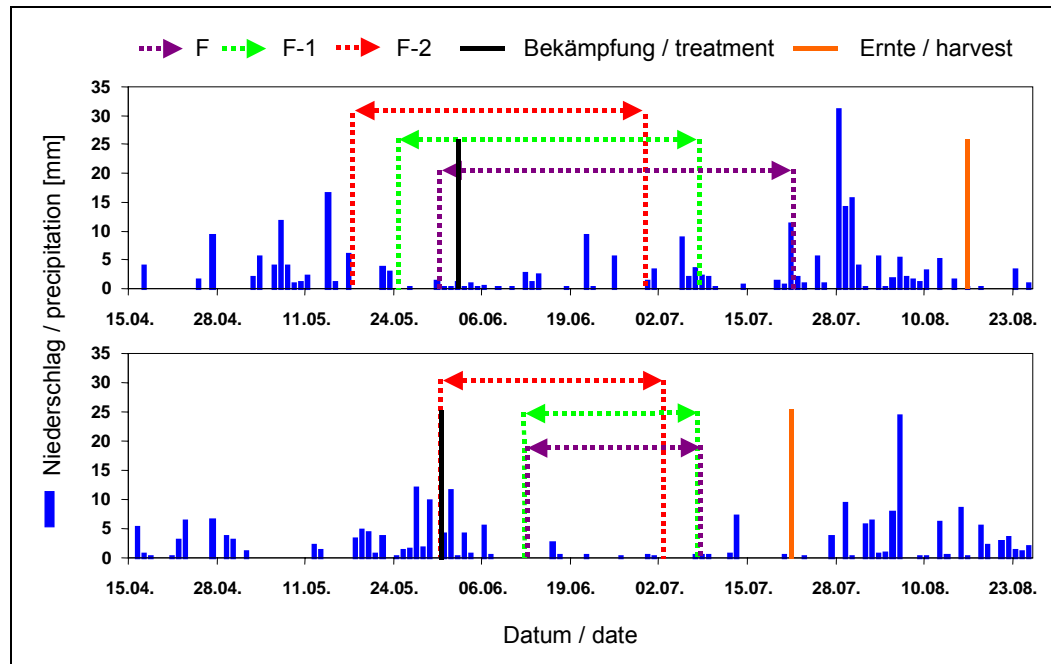


Abbildung 109: Blattseneszenz (Zeitraum von ersten sichtbaren Symptomen bis zum völligen Absterben) der oberen 3 Blätter (F, F-1, F-2) und Niederschlagsverteilung in den Jahren 2005 (oben) und 2006 (unten), Feld: „Hinter Pilsenhöhe“

Figure 109: Leaf senescence (period from first visible symptoms up to total die off) of the upper three leaves (F, F-1, F-2) and precipitation in the years 2005 (top) and 2006 (bottom), field: “Hinter Pilsenhöhe”

Das zeitlich unterschiedliche Auftreten von Trockenperioden (2005: bereits ab Mitte Mai, 2006: beinahe der gesamte Juni) ist als Ursache für das differenzierte Abreifeverhalten als wahrscheinlich anzusehen. Die Blattseneszenz setzte 2006 später ein. Die Abreife erfolgte jedoch schneller als 2005. Alle drei Blätter starben innerhalb eines kurzen Zeitfensters ab. Die länger anhaltende Trockenheit im Juni 2006 führte auch in den ertragsstärkeren Zonen 2 und 3 zu Wasserknappheit im Pflanzenbestand und letztendlich zu einer beschleunigten Abreife.

Für die Erträge der einzelnen Prüfglieder ergaben sich nach Ermittlung der lokalen Ertragsdifferenz im zweiseitigen t-Test ($\alpha = 5\%$) aufgrund des besonders im Jahr 2005 hohen Stichprobenumfangs (N) meist signifikante Unterschiede zwischen den verglichenen Prüfgliedern. Die Box-Whisker-Plots liegen besonders beim Vergleich „Unbehandelt“ mit „Betriebsüblich“ 2005 und „Betriebsüblich“ mit „Teilfläche“ um die Null-Differenz (Abbildung 110). Dabei stellt die Box den Bereich zwischen den Quartilen dar (Linie in der Box: Median). Die Whiskers kennzeichnen den Bereich zwischen Minimal- und Maximalwert der lokalen Ertragsdifferenzen. Im Versuchsjahr 2005 liegt das Ertragsniveau des Prüfgliedes „Einheitlich“ signifikant über dem der Vergleichsprüfglieder. Allerdings ist hier festzustellen, dass auch das Prüfglied „Unbehandelt“ kein eindeutig geringeres Ertragsniveau als die mit Fungizid behandelten Varianten zeigt. Bei geringen Befallsstärken durch pilzliche Pathogene, wie sie in den Versuchen vorlagen, sind die zu erwartenden Ertragszuwächse durch eine Fungizidmaßnahme gering. Im Jahr 2006 war sogar ein höherer Ertrag in der „Unbehandelten“ Kontrolle als in „einheitlicher“ Applikation festzustellen. Hier wirken sich möglicherweise Bodenunterschiede ertragsbeeinflussend aus.

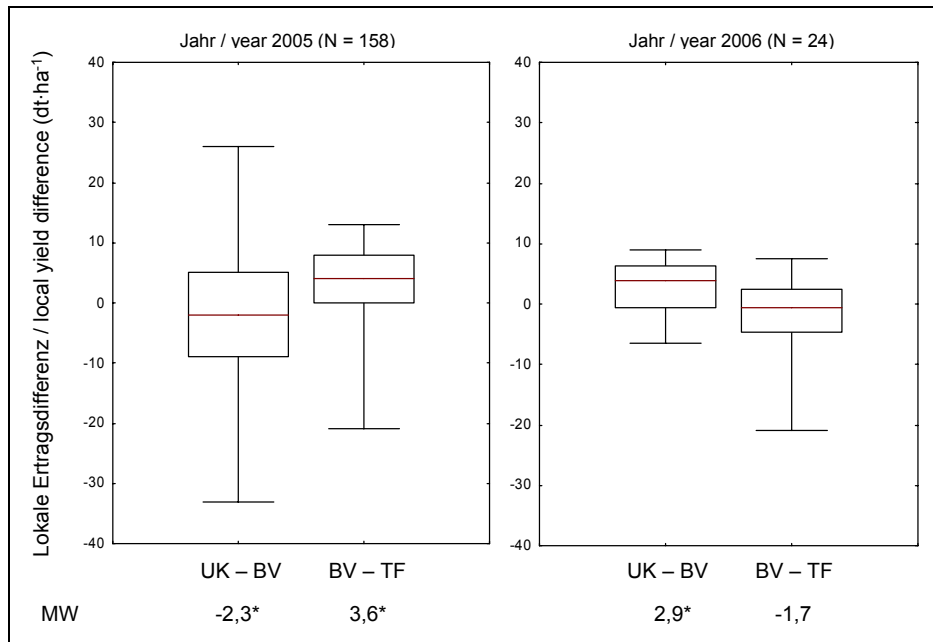


Abbildung 110: Box-Plots der lokalen Ertragsdifferenzen zwischen den Prüfgliedern „Unbehandelt“ (UK) – „Einheitlich“ (BV) bzw. „Einheitlich“ – „Teilflächenspezifisch“ (TF) des Schlags „Hinter Pilsenhöhe“ in den Jahren 2005 und 2006 (N= Anzahl Wertepaare, MW = Mittelwert (dt·ha⁻¹), * signifikant, zweiseitiger t-Test, $\alpha = 5\%$)

Figure 110: Box-plots of local yield differences between the treatment plots “untreated” (UK) – “uniform” (BV) or “uniform” – “site-specific” (TF) of the field “Hinter Pilsenhöhe” in the years 2005 and 2006 (N = number of difference values, MW = mean (dt·ha⁻¹), * significant, two sided t-Test, $\alpha = 5\%$)

Die im Jahr 2006 auf dem Schlag „Vor Pilsenhöhe“ durchgeführte Krankheits- und Seneszenzbonitur ist für die einzelnen Boniturpunkte in der Abbildung 111 zusammengefasst.

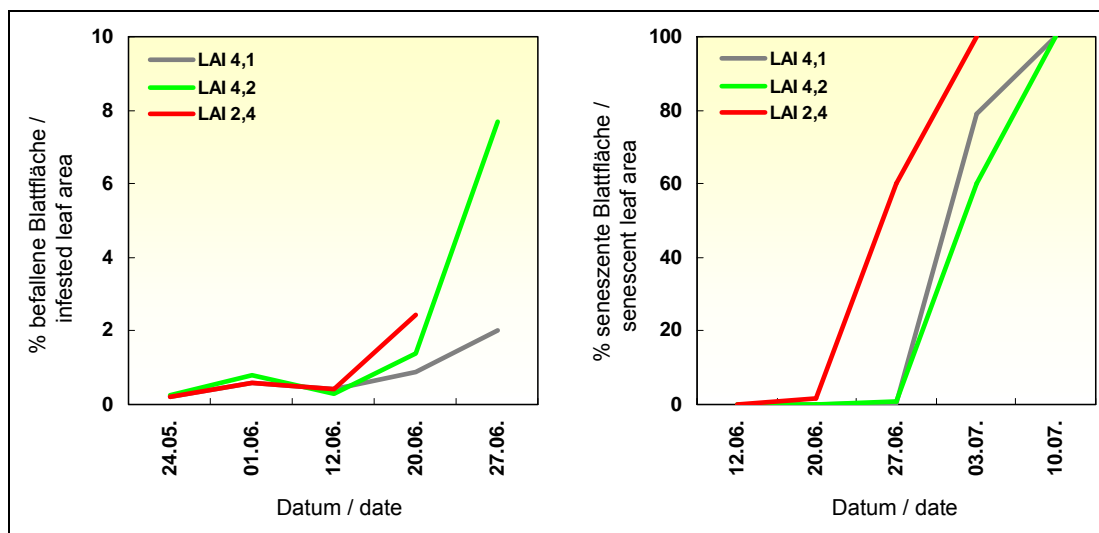


Abbildung 111, links: Mittlere Befallsstärke (*Septoria tritici*) bzw. rechts: mittlere Seneszenzstärke des Fahnenblattes an Boniturpunkten mit unterschiedlichen Bestandesdichten im Jahr 2006 („Vor Pilsenhöhe“)

Figure 111, left: Mean infestation level (*Septoria tritici*) and right: mean senescence level on the flag leaf at sampling points with different plant density in the year 2006 (“Vor Pilsenhöhe”)

In dem Spritzfenster ohne Fungizidbehandlung blieb der Befall durch Septoria-Blattdürre insgesamt unter 8 % Befallsstärke. Da am Boniturpunkt mit einem mittleren LAI von 2,4 am 27.06. bereits über 60 % Seneszenz auf der Blattfläche auftrat, wurde hier die Krankheitserfassung abgebrochen. Für die beiden übrigen Boniturstellen ergaben sich am 27.06. geringe Befallsstärken von 2 % bzw. 7,7 %. Mit etwa einer Woche Verzögerung begann auch an diesen beiden Boniturstellen mit höherem LAI die Abreife der Blattmasse.

Betrieb Träger-Farny

Auf den im Vergleich zum Betrieb WIMEX verhältnismäßig kleinen Versuchsfeldern ließen sich ebenfalls Bestandesunterschiede feststellen. Mit geringen Spannweiten des LAI von 0,7 bis 2,9 war der Weizenbestand auf dem Schlag „Lehmberg“ (2005) als eher homogen einzuschätzen. Mit Spannweiten des LAI von 1,7 bis 3,1 zeigte sich im Jahr 2006 für den Schlag „Rohrbreite“ eine höhere Bestandesheterogenität, allerdings bei allgemein höheren LAI-Werten (Tabelle 39).

Tabelle 39: Blattflächenindex (Minimum, Maximum und Spannweite Sw) an den jeweiligen Terminen (2005: „Lehmberg“, 2006: „Rohrbreite“)

Table 39: Leaf area index (minimum, maximum and range Sw) at distinct measuring times (2005: „Lehmberg“, 2006: „Rohrbreite“)

Datum/date	Lehmberg 2005			Datum/date	Rohrbreite 2006		
	Min	Max	Sw		Min	Max	Sw
25.04.05	1,4	2,1	0,7				
04.05.05	2,0	3,1	1,1	11.05.06	1,5	3,4	1,9
13.05.05	2,2	3,5	1,3	18.05.06	2,6	5,1	2,5
21.05.05	2,6	4,1	1,5	29.05.06	2,7	5,8	3,1
30.05.05	3,6	4,8	1,2	06.06.06	4,0	5,7	1,7
10.06.05	3,7	4,9	1,2	14.06.06	5,3	7,7	2,4
20.06.05	1,8	4,7	2,9				

Wie bereits im Betrieb WIMEX traten auch hier in beiden Versuchsjahren die Krankheiten Septoria-Blattdürre sowie die DTR-Blattfleckenkrankheit in Mischinfektion mit geringen Befallsstärken auf. Auf dem Schlag „Lehmberg“ lag der Befall auf dem Fahnenblatt unter 14 % im Prüfglied „Unbehandelt“ (Abbildung 112, links). Die mit Fungizid behandelten Prüfglieder wiesen ein Befallsniveau von weniger als 2 % auf. Hinsichtlich der Abreife konnten auf dem Standort „Lehmberg“ keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Managementzonen und Prüfgliedern ermittelt werden. Bis zum 20.06. waren an den Boniturstellen keine Seneszenzsymptome des Fahnenblattes nachweisbar. Im weiteren Verlauf war bis zum 25.07. eine relativ gleichmäßige Abreife der Fahnenblätter zu beobachten. Abreifeunterschiede von etwa einer Woche waren festzustellen (Abbildung 112, rechts).

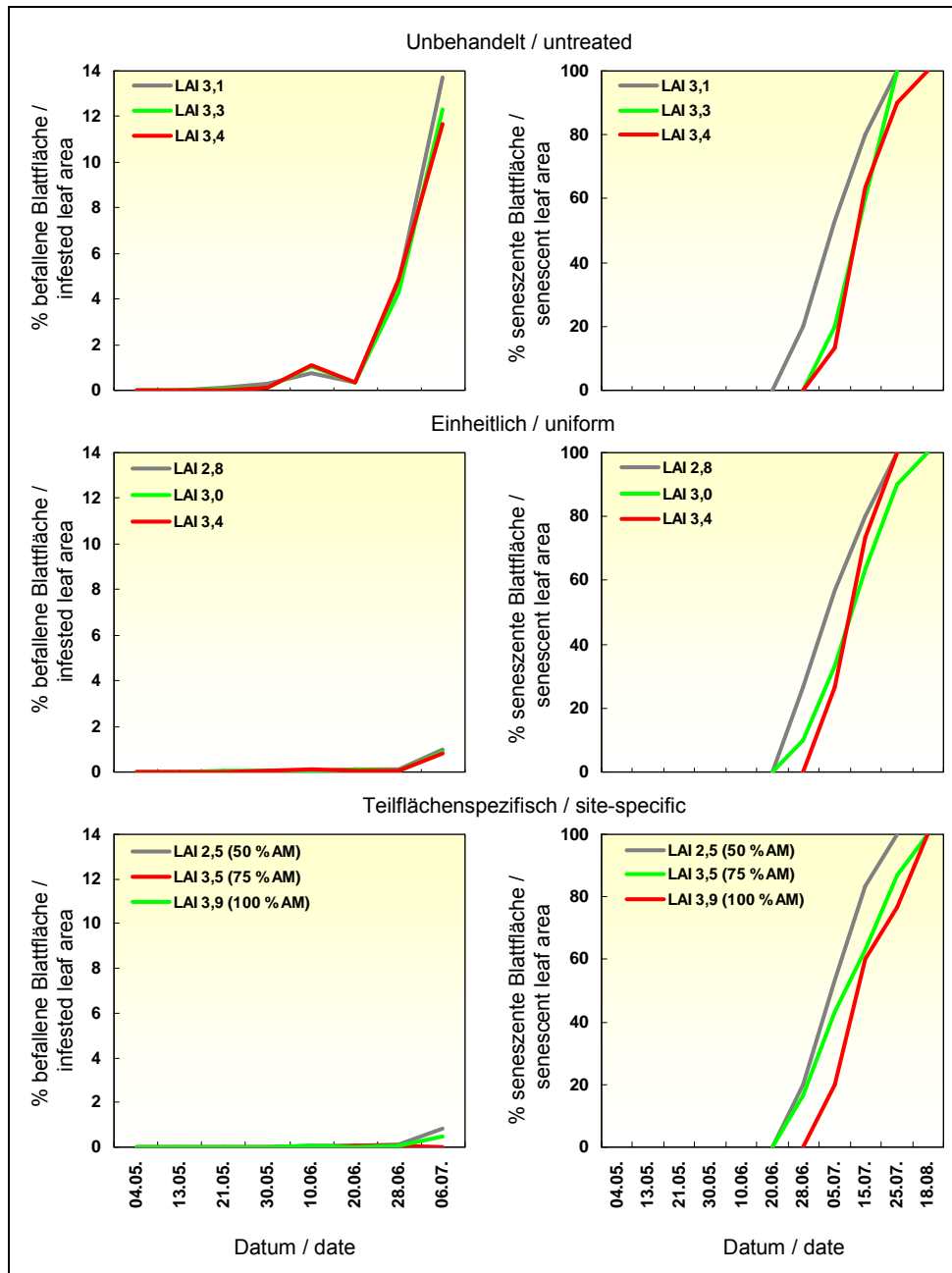


Abbildung 112, links: Mittlere Befallsstärke (*Septoria tritici* und *Drechslera tritici-repentis*) bzw. rechts: mittlere Seneszenzstärke des Fahnenblattes an den Boniturpunkten in den 3 Prüfgliedern und 3 Managementzonen im Jahr 2005 („Lehmberg“, nach WOLLNY et al. 2006)

Figure 112, left: Mean infestation level (*Septoria tritici* and *Drechslera tritici-repentis*) and right: mean senescence level on the flag leaf at the sampling points in the 3 treatment plots and 3 management zones in the year 2005 (“Lehmberg”, according to WOLLNY et al. 2006)

Ein ähnliches Bild zeigte sich im Jahr 2006 auf dem hier nicht bildlich dargestellten Schlag „Rohrbreite“. Nur geringe Befallsstärken von unter 1,5 % (Mischinfektion von *Septoria*-Blatt-Dürre und DTR-Blattfleckenkrankheit) konnten auf dem Fahnenblatt für das Prüfglied „Unbehandelt“ nachgewiesen werden. In den mit Fungizid behandelten Varianten waren nur vereinzelt typische Blattflecken erkennbar. Symptome der Blattseneszenz wurden an allen Boniturpunkten erstmals zur Bonitur am 22.06. beobachtet. Im weiteren Verlauf erfolgte die Abreife der Blattetagen an allen Boniturpunkten einheitlicher.

Hinsichtlich des Ertragsniveaus ergaben sich in beiden Versuchsjahren signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern. Auf dem Schlag „Lehmberg“ war die Variante „Einheitlich“ den beiden Prüfgliedern „Unbehandelt“ und „Teilflächenspezifisch“ überlegen (Abbildung 113, links). Dagegen wurde im Versuchsjahr 2006 auf dem Schlag „Rohrbreite“ ein Minderertrag durch die einheitliche Fungizidapplikation sowohl gegenüber „Teilflächenspezifisch“ als auch „Unbehandelt“ nachgewiesen (Abbildung 113, rechts). Da auch hier ähnlich dem Standort WIMEX das Befallsniveau mit Krankheiten in allen Prüfgliedern gering war, ist zu schlussfolgern, dass die auftretenden Ertragsunterschiede nicht durch die unterschiedliche Fungizidapplikation verursacht wurden.

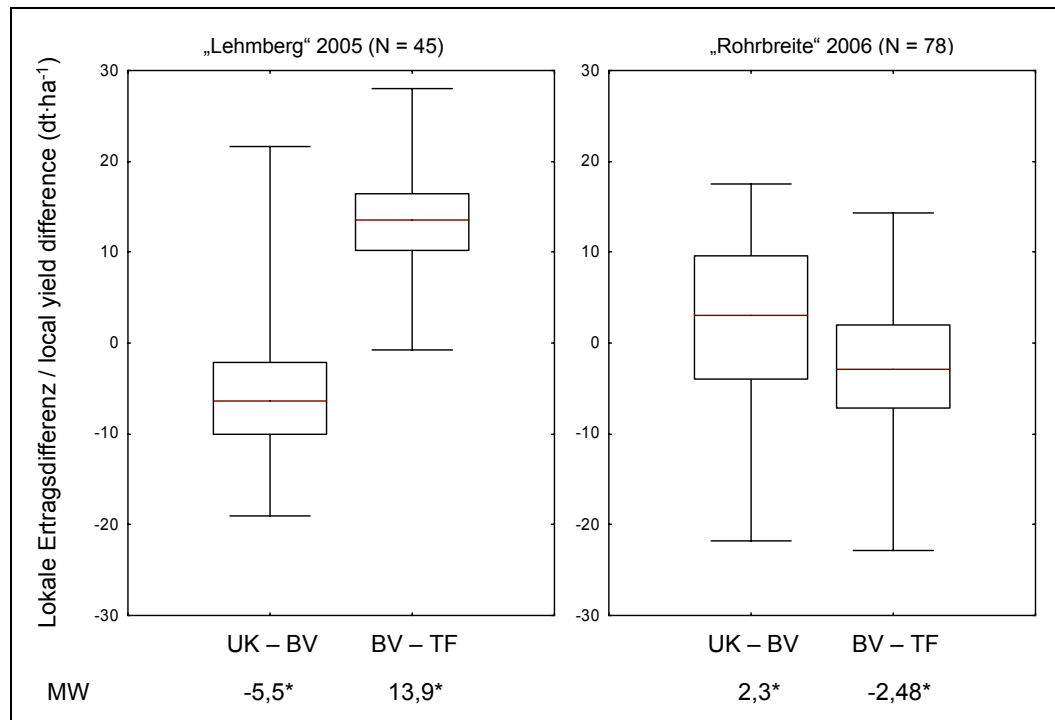


Abbildung 113: Box-Plots der lokalen Ertragsdifferenzen zwischen den Prüfgliedern „Unbehandelt“ (UK) – „Einheitlich“ (BV) bzw. „Einheitlich“ – „Teilflächenspezifisch“ (TF) der Schläge „Lehmberg“ 2005 und „Rohrbreite“ 2006 (N= Anzahl Wertepaare, MW = Mittelwert (dt·ha⁻¹), * signifikant, zweiseitiger t-Test, $\alpha = 5 \%$)

Figure 113: Box-plots of local yield differences between the treatment plots “untreated” (UK) – “uniform” (BV) or “uniform” – “site-specific” (TF) of the fields “Lehmberg” 2005 and “Rohrbreite” 2006 (N = number of difference values, MW = mean (dt·ha⁻¹), * significant, two sided t-Test, $\alpha = 5 \%$)

Anhand der Ergebnisse kann geschlussfolgert werden, dass der Fungizideinsatz in Winterweizen in den Projektbetrieben optimiert werden kann. Besonders für den Standort Träger-Farny ist zu überdenken, ob auf Grund des geringen Krankheitsbefalls mehrmalige Fungizidgaben ökonomisch gerechtfertigt waren. Auf dem Standort WIMEX trat jahresabhängig ein Entwicklungsvorsprung von Teilschlägen geringer Bestandesdichten bis zu vier Wochen auf. Diese reiften schneller ab. Diese Bereiche müssten im Gegensatz zu Bereichen, die länger grün bleiben, nicht so lange vor Krankheiten geschützt werden. In proPlant „expert precise“ sollte daher für den Anwender die Möglichkeit gegeben sein, die empfohlenen Fungizidmengen seinen Erfahrungen über das unterschiedliche Abreifeverhalten im Schlag anzupassen.

Konzipierung des Prototyps proPlant „expert.precise“

Entsprechend der Anforderungen an einen teilflächenspezifischen Pflanzenschutz auf heterogenen Standorten wurde das Expertensystem proPlant „expert.precise“ so programmiert, dass für die Berechnung der Infektionswahrscheinlichkeiten der einzelnen Pilzkrankheiten neben Witterungsdaten historische und aktuelle Informationen (z. B. Vorfrucht, Ertragserwartung) für festgelegte Managementzonen im Schlag Berücksichtigung fanden. Es besteht die Möglichkeit, dass der Anwender eine situationsbezogene Eingabe der Eingangsparameter anhand eigener Beobachtungen und Erfahrungen für Teilflächen eines Schlages vornehmen kann (Abbildung 114).

Zone	1	2	3
EC-Stadium	32	32	34
Bestandesdichte	hoch	mittel	gering
Ertragserwartung	> 90	70...90	< 70
Abtrocknung	langsam	mittel	schnell

Abbildung 114: Eingabemaske teilflächenspezifische Informationen im Prototyp expert.precise (nach WOLLNY et al. 2006)

Figure 114: Input mask for relevant site-specific informations in the prototype expert.precise" (according to WOLLNY et al. 2006)

Darauf basierend wird eine Spritzkarte erstellt, die eine Fungizidmengendifferenzierung für die Teilflächen (Managementzonen) eines Ackerschlages ausgibt. Mit den Eingangsparametern „Bestandesdichte“ und „Ertragserwartung“ wird die Wirkung bereits erfolgter Maßnahmen des Precision Farming wie eine teilflächenspezifische Aussaat oder Stickstoffdüngung berücksichtigt. Der Parameter „Abtrocknung“ beinhaltet demgegenüber Standorteigenschaften wie Boden, Relief oder Saumbiotope.

Unter Beachtung der oben genannten Anforderungen an den teilflächenspezifischen Fungizideinsatz wurde folgendes Ablaufschema für den Prototyp proPlant „expert.precise“ formuliert:

- Einlesen und Anzeigen von Managementzonenkarten (Koordinatensystem WGS 84)
- Eingabe schlageinheitlicher Informationen, wie Sorte und Wetterstation
- Separate Eingabemasken für die zonenspezifische Angabe von Bestandesdichte, Ertragspotenzial, EC-Stadium und Abtrocknung
- Berechnung des Infektionspotenzials für jede Managementzone separat
- Empfehlung zonenspezifischer Fungizidaufwandmengen

- Eingabefenster, in dem die vorgeschlagene Aufwandmenge anhand der Erfahrungen des Nutzers (z. B. bei wiederholten Abreifeunterschieden) korrigiert werden kann
- Angabe der erforderlichen maximalen Wassermenge
- Export der „Spritzkarte“ als XML-Datei (WOLLNY et al. 2007).

Die Abbildung 115 zeigt einen Teil des als „Spritzkarte“ aus proPlant „expert.precise“ exportierten XML-Dokumentes. Die farbig unterlegten Mengenangaben (werden in ml verarbeitet) kennzeichnen die zonenspezifische Empfehlung. Die Datei enthält jeweils eine Anweisung für den Jobrechner des CROP-Meters als auch der anzusteuernenden Feldspritze. Die Zuordnung der Einheiten, Betriebsmittel usw. erfolgt aus spezifischen, dem Dokument zugehörigen Bibliotheken.

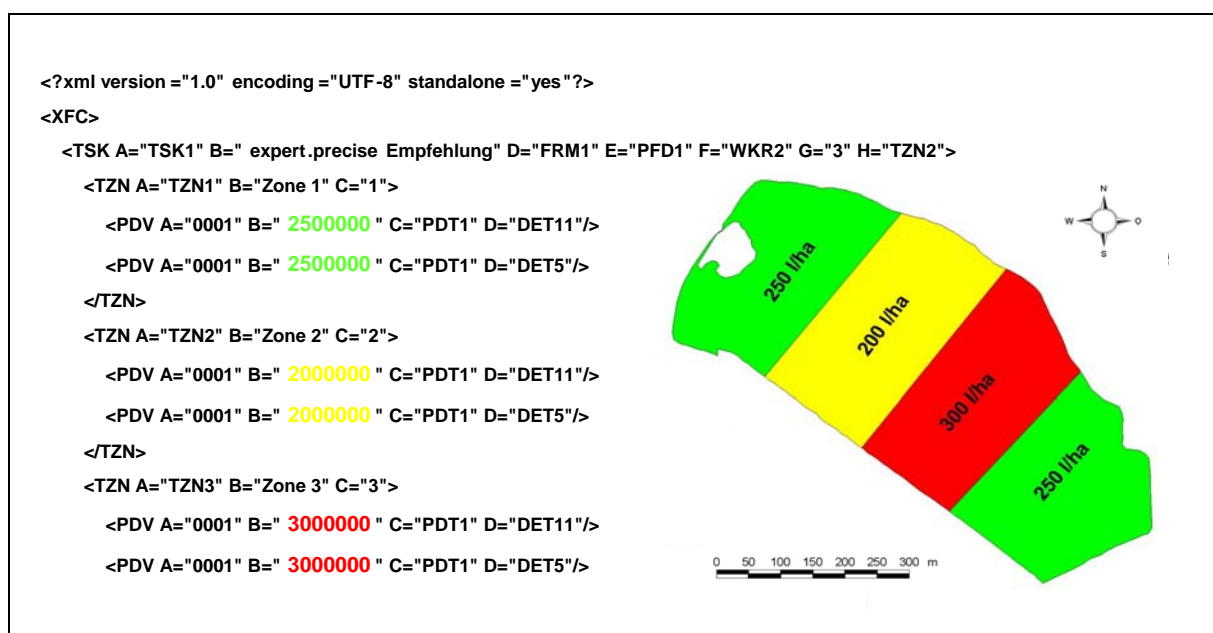


Abbildung 115: XML-Output (Ausschnitt) der „Spritzkarte“ aus proPlant „expert.precise“ mit den zonenspezifischen Aufwandmengen (Einheit in ml, Versuchsfläche „Königsfeld“ 2006)

Figure 115: XML-output (field section) of the “application map” from proPlant “expert.precise” with area specific application amounts (unit in ml, experimental site “Königsfeld” 2006)

Algorithmus zur Kombination von proPlant „expert.precise“ mit dem CROP-Meter

Von der Firma Müller-Elektronik wurde das hybride System entsprechend folgendem Algorithmus programmiert:

- Übertragung einer Applikationskarte per USB-Stick auf das Bordterminal (maximal drei Zonen möglich); der geplante Auftrag mit den jeweiligen Applikationsmengen erscheint auf dem Basic Terminal Top[®]
- Überfahrt in einer charakteristischen Fahrspur erfolgt bei einheitlicher Applikation
- Erfassung des minimalen und maximalen Pendelwinkels in der jeweiligen Zone der charakteristischen Fahrspur
- Anzeige der minimalen und maximalen Pendelwinkel auf dem Basic Terminal Top[®]

- Zonenspezifische Zuordnung der empfohlenen Aufwandmengen aus der „Spritzkarte“ zu den maximalen Pendelwinkeln
- Eingabe der gewünschten minimalen Aufwandmengen durch den Landwirt im Basic Terminal Top[®] entsprechend den minimalen Pendelwinkeln
- Option der Umschaltung auf alleinige Applikation mit dem CROP-Meter falls eine Applikation ohne Kartenhinterlegung gewünscht ist.

Während der Applikation erkennt das System die Zonengrenzen und weist automatisch die festgelegten Applikationsmengen den entsprechenden Pendelwinkeln zu. Zwischen dem minimalen und maximalen Pendelwinkel wird die Applikationsmenge über einen linearen Algorithmus variiert.

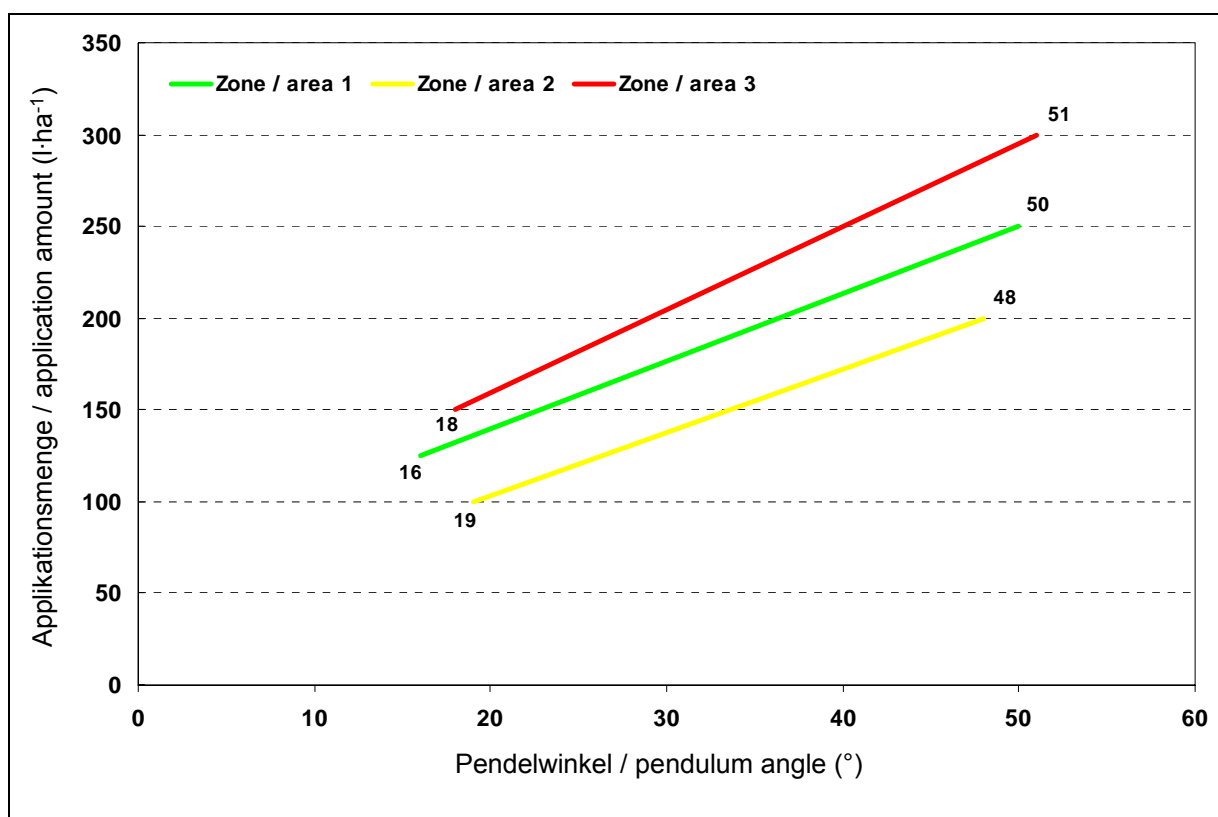


Abbildung 116: Applikationsalgorithmus für drei Managementzonen („Königsfeld“, 2006)

Figure 116: Dosage algorithm for three management areas (“Königsfeld”, 2006)

Abbildung 116 beschreibt beispielhaft den Applikationsalgorithmus für drei Managementzonen der Versuchsfläche „Königsfeld“ des ATB. Die durch proPlant „expert.precise“ empfohlenen Aufwandmengen können auf Höhe der maximalen Pendelwinkel für jede Zone auf der Abszisse abgelesen werden (Zone 1: 250 l·ha⁻¹, Zone 2: 200 l·ha⁻¹, Zone 3: 300 l·ha⁻¹). Als minimale Applikationsmenge je Zone wurde 50 % der empfohlenen Aufwandmenge festgelegt. Daraus resultieren die den minimalen Pendelwinkeln zugeordneten Aufwandmengen von 125 l·ha⁻¹ (Zone 1), 100 l·ha⁻¹ (Zone 2) bzw. 150 l·ha⁻¹ (Zone 3), welche ebenfalls auf der Abszisse abzulesen sind.

Während der Erprobungsphase im Jahr 2006 wurden mehrere Testfahrten mit dem hybriden System auf dem Schlag „Königsfeld“ aufgezeichnet. Die Applikation während der Überfahrt in einer Fahrspur

wird anhand der Abbildung 117 verdeutlicht. Dabei kennzeichnet die schwarze Linie die empfohlene maximale Aufwandmenge je Zone durch proPlant „expert.precise“. Es ist zu erkennen, dass bei Abnahme des Pendelwinkels ohne eine längere zeitliche Verzögerung auch eine Herabsetzung der Applikationsmenge erfolgt. Treten während der Applikation höhere Pendelwinkel auf als die zuvor festgelegten Maximalwerte je Zone, dann wird die durch proPlant „expert.precise“ vorgegebene maximale Brühemenge in der jeweiligen Managementzone dennoch nicht überschritten.

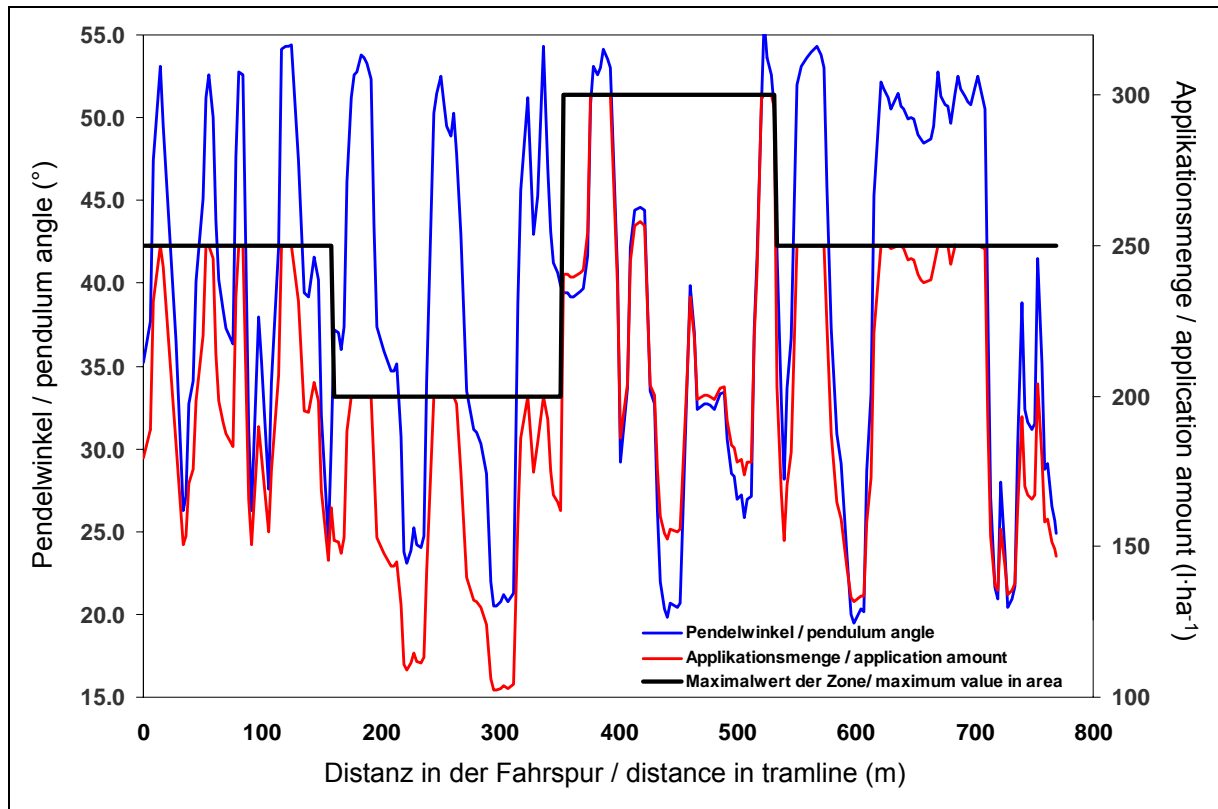


Abbildung 117: Applikation in den Managementzonen entlang einer Fahrspur („Königsfeld“, 2006, nach WOLLNY et al. 2007)

Figure 117: Application along a tramline including management areas (“Königsfeld”, 2006, according to WOLLNY et al. 2007)

Feldversuche zur applikationskartenbasierten Echtzeitapplikation von Fungiziden mit dem CROP-Meter

Um zu prüfen, ob das hybride System einen zusätzlichen Einspareffekt an Fungiziden erbrachte, wurden für die Versuchsschläge zonenspezifische Fungizideinsparungen in den beiden Prüfgliedern „CROP-Meter“ und „Hybrides System“ im Vergleich zur schlageinheitlichen Applikation ermittelt (Tabelle 40).

Tabelle 40: Minimale und maximale Applikationsmenge (Prüfglied „Hybrides System“) und Fungizideinsparungen (im Vergleich zum Prüfglied „Einheitlich“) in den 3 Managementzonen der Versuchsschläge 2007

Table 40: Minimum and maximum application amount (treatment “hybrid system”) and fungicide savings (in comparison to the treatment plot “uniform”) in the 3 management zones of the experimental sites 2007

Feld/field	Applikat.menge/application amount (l·ha ⁻¹)						Fungizideinsparung/fungicide savings (%)							
	Zone/area 1		Zone/area 2		Zone/area 3		Zone/area 1		Zone/area 2		Zone/area 3		Gesamt/total	
	min	max	min	max	min	max	CM	HY	CM	HY	CM	HY	CM	HY
Bruch oben	150	300	125	250	100	200	8,6	10,0	12,0	16,5	16,7	27,3	11,1	13,9
Lange Enden	150	300	125	250	100	200	0,7	5,2	16,3	25,8	37,2	60,1	20,3	32,6
Gölsdorfer Mühle	130	260	100	200	90	180	8,0	10,3	6,4	17,9	22,4	41,3	11,9	21,7

Zusätzlich wurden die nach prozentualen Zonenanteilen der aufgezeichneten Durchflusswerte (vgl. Tabelle 37) gewichteten Gesamteinsparungen der beiden Prüfglieder berechnet. Zur Orientierung sind in Tabelle 40 die minimalen und maximalen Applikationsmengen in den beiden Prüfgliedern aufgeführt.

In den Streifenversuchen ergaben sich im Vergleich zur schlageinheitlichen Applikation Gesamteinsparungen durch den CROP-Meter-Einsatz von bis zu 20,3 %. Demgegenüber erbrachte der Einsatz des hybriden Systems höhere Mitteleinsparungen von bis zu 32,6 %. Dieser Einspareffekt hängt entscheidend von der Heterogenität und ihrer flächenmäßigen Verteilung im Schlag zum Zeitpunkt der Applikation ab. Er war in dem Feld am größten, in dem die niedrige Ertragserwartungszone einen hohen Flächenanteil einnahm. Da auf dem Schlag „Bruch oben“ die Durchflusswerte der Ertragserwartungszone 3 nur einen geringen Anteil von 13 % haben (vgl. Tabelle 37), konnte hier durch das hybride System gegenüber dem alleinigen CROP-Meter Einsatz nur eine geringe Fungizideinsparung erzielt werden.

Die Septoria-Blattdürre auf dem Schlag „Bruch oben“ trat in allen Prüfgliedern mit geringer Befallsstärke von unter 2,5 % auf (Abbildung 118). Im Prüfglied „Unbehandelt“ war gegenüber den mit Fungizid behandelten Varianten kein Befallsanstieg nachweisbar. Mit einer maximalen Befallsstärke von 7,5 % kam geringer Befall durch Braunrost (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*) in den Prüfgliedern hinzu.

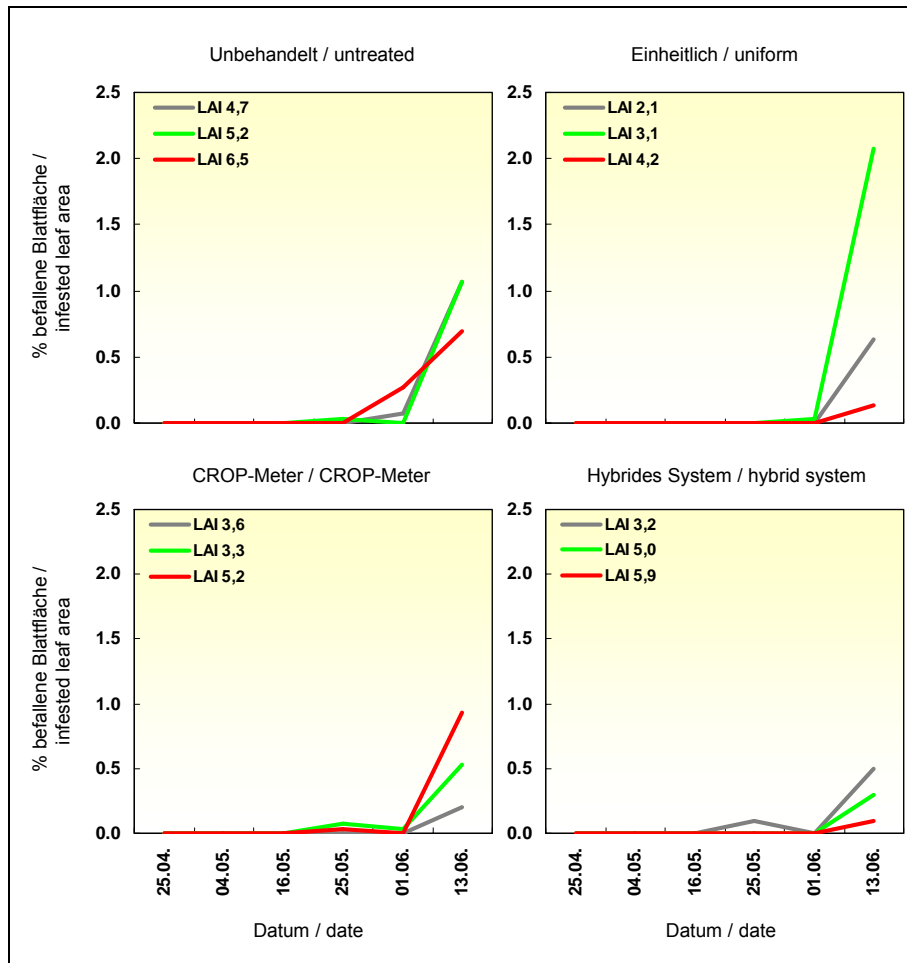


Abbildung 118: Mittlere Befallsstärke (*Septoria tritici*) des Fahnenblattes an den Boniturpunkten in den 4 Prüfgliedern und 3 Managementzonen im Jahr 2007, Feld „Bruch oben“

Figure 118: Mean infestation level (*Septoria tritici*) on the flag leaf at the sampling points in the 4 treatment plots and 3 management zones in the year 2007 field “Bruch oben”

Im Schlag „Gölsdorfer Mühle“ am Standort Niedergörsdorf war der Krankheitsbefall (Mischinfektion *Septoria*-Blattdürre und Braunrost) in der unbehandelten Kontrolle wesentlich höher. Dies war der einzige Schlag, der von den gesamten Versuchsflächen 2005 bis 2007 einen bekämpfungswürdigen Befall aufwies. Beispielhaft ist in Abbildung 119 der Krankheitsbefall auf den 30 Fahnenblättern am 08.06.2007 in Box-Whisker-Plots an den 3 Stichprobenpunkten des Prüfgebietes „Unbehandelt“ dargestellt. Der Befallsmittelwert ist mit * in der Box gekennzeichnet. Am Stichprobenpunkt mit dem geringsten LAI von 1,8 (Mittelwert Messung am 18. und 29. 04. 2007) war der mittlere Krankheitsbefall mit 14,3 % deutlich geringer im Vergleich zu den anderen Stichprobenpunkten mit höherem LAI (49,7 % und 27,3 %). Hier deutet sich an, dass die Befallsstärke von der Bestandesdichte abhängig ist. Es müssen aber noch andere Faktoren wirken, da der Befall am Stichprobenpunkt mit einem LAI von 4,6 geringer war als am Stichprobenpunkt mit einem LAI von 3,7. Die Reliefunterschiede könnten krankheitsbeeinflussend gewirkt haben. Die zwei Punkte mit einem LAI von 3,7 und 4,6 waren etwa 220 m voneinander entfernt. Der Punkt mit einem LAI von 1,8 hatte nur einen Abstand von 90 m vom Punkt LAI=3,7.

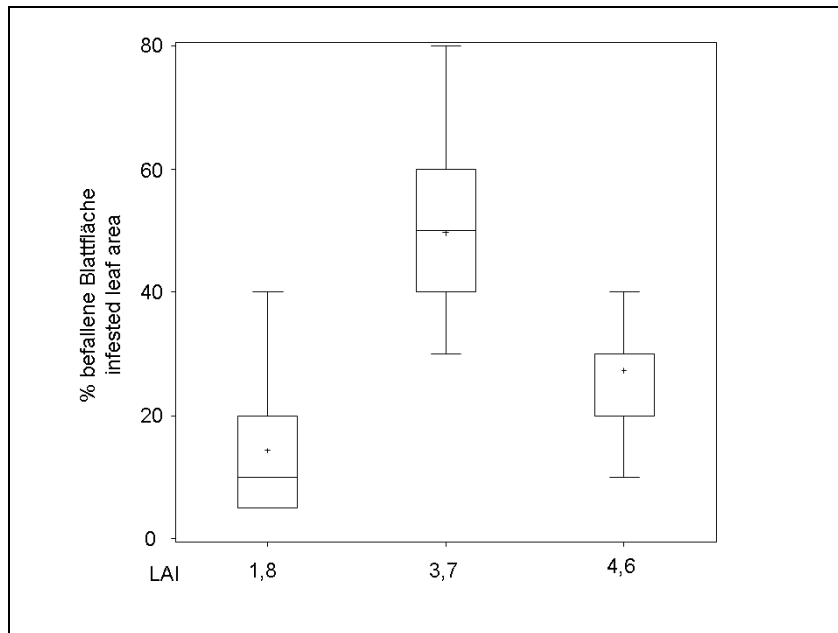


Abbildung 119: Box-Whisker-Plots der Befallsstärken (*Septoria tritici*, *Puccinia recondita*) des Fahnenblattes (N=30) an den Boniturpunkten mit unterschiedlichem LAI (2007 „Gölsdorfer Mühle“)

Figure 119: Box-Whisker-Plots of the infestation level (*Septoria tritici*, *Puccinia recondita*) of the flag leaf (N=30) on sampling points with different LAI (2007 „Gölsdorfer Mühle“)

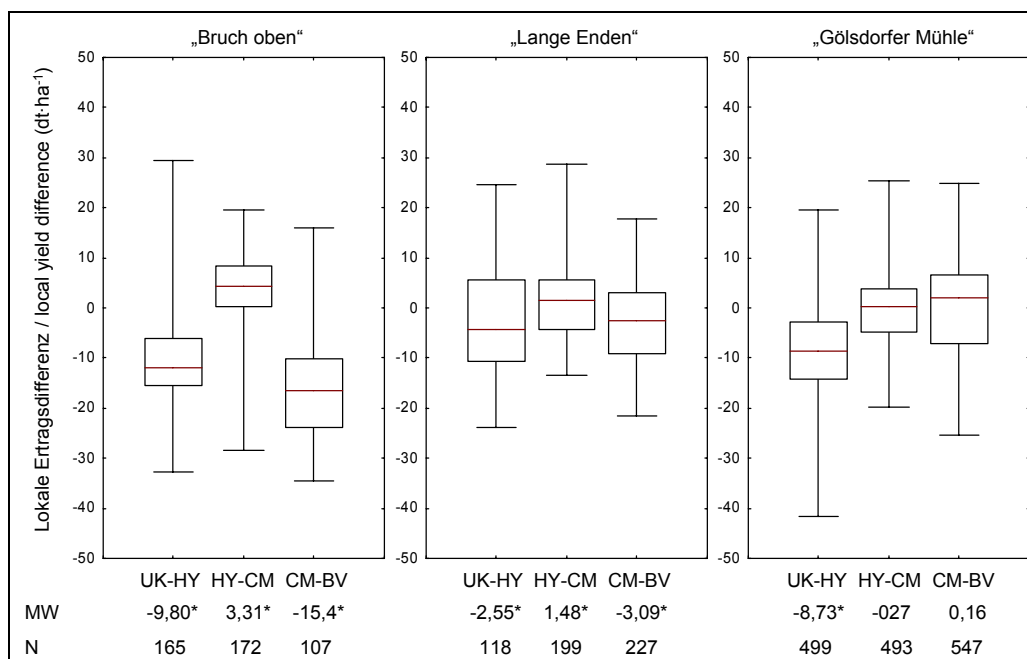


Abbildung 120: Box-Whisker-Plots der lokalen Ertragsdifferenzen zwischen den Prüfgliedern „Unbehandelt“ (UK) – „Hybrides System“ (HY), „Hybrides System“ – „CROP-Meter“ (CM) bzw. „CROP-Meter“ – „Einheitlich“ (BV) der Versuchsflächen 2007 (N = Anzahl Wertepaare; MW = Mittelwert (dt-ha⁻¹); * signifikant, zweiseitiger t-Test, $\alpha = 5\%$)

Figure 120: Box-Whisker-Plots of the local yield differences between the treatment plots “untreated” (UK) – “hybrid system” (HY), “hybrid system” – “CROP-Meter” (CM) or “CROP-Meter” – “uniform” (BV) of the experimental sites 2007 (N = number of difference values; MW = mean (dt-ha⁻¹); * significant, two sided t-Test, $\alpha = 5\%$)

Die Differenz der Ertragswerte zwischen benachbarten Prüfgliedern ist für die drei Versuchsflächen nebeneinander in Box-Whisker-Plots dargestellt (Abbildung 120). Der t-Test ergab für die zwei WIMEX-Schläge in allen Prüfgliedervergleichen bei der lokalen Ertragsdifferenz signifikante Unterschiede von Null. Auch für den Schlag „Gölsdorfer Mühle“ war gegenüber dem Einsatz des hybriden Systems ein Minderertrag im Prüfglied „Unbehandelt“ festzustellen. Im Vergleich zur Variante „CROP-Meter“ konnte das hybride System in beiden Schlägen am Standort WIMEX einen Mehrertrag erzielen. Im Schlag „Gölsdorfer Mühle“ waren keine signifikanten Unterschiede feststellbar. Die schlageinheitliche Fungizidapplikation war dem „Prüfglied „CROP-Meter“ nur in den WIMEX-Schlägen ertraglich überlegen. Aufgrund dieser verschiedenen Ergebnisse aus nur einem Versuchsjahr sind Aussagen zu Ertragswirkung der Prüfglieder nur sehr schwer zu treffen. Außerdem ist die Auswertungsmethodik ergebnisbeeinflussend. Werden nicht Erntespuren in gleicher Druschrichtung (etwa 25 m Entfernung) sondern gegenüberliegende Erntespuren in entgegengesetzter Druschrichtung (etwa 15 m Entfernung) zur Bildung der Ertragsdifferenzen verwendet, weichen die Ergebnisse besonders für die zwei WIMEX-Schläge erheblich ab:

- „Bruch oben“ UK-HY von -9,8* zu 1,8*, HY-CM von 3,3* zu 9,8*, CM-BV von -15,4* zu 6,8*
- „Lange Enden“ UK-HY von -2,5* zu -6,5*, HY-CM von 1,4 zu -3,0, CM-BV von -3,0* zu -5,9*
- „Gölsdorfer Mühle“ UK-HY von -8,7* zu -1,2*, HY-CM von -0,2 zu 1,4*, CM-BV von 0,1 zu 0,2.

Für zukünftige Versuchsanstellungen sollten gegenüberliegende Prüfglieder, die hinsichtlich Ertrag zu vergleichen sind, in gleicher Druschrichtung beerntet werden, damit gegenüberliegende lokale Ertragswerte so nah wie möglich liegen. Da auftretendes Lagergetreide („Bruch oben“) Versuchsergebnisse erheblich beeinflussen kann, sollten die Lagerflächen mittels GPS vermessen und von der Ertragsauswertung ausgeschlossen werden.

4.3.4 Diskussion

Im Versuchsjahr 2005 wurden Fernerkundungsdaten für beide Versuchsflächen durch das TP 13 bereitgestellt, konnten jedoch für die bearbeiteten Fragestellungen (Feststellung von Befalls- und Bestandsheterogenitäten) aufgrund des späten Flugtermins (Ende Juni und Juli) nicht verwendet werden. Zum Zeitpunkt der Fungizidapplikation lagen keine Fernerkundungsdaten vor. Um im Jahr 2006 die durch das TP 10 durchgeführten Bonituren als auch die jeweilig erhobenen Erträge mit Fernerkundungsdaten des TP 13 vergleichen zu können, wurde der Zeitpunkt der Befliegung der entsprechenden Schläge in die für eine Fungizidmaßnahme relevante Zeit vorverlegt. Allerdings konnte auch hier nur für einen der Befliegungstermine eine in ausreichender Qualität erstellte Karte des NDVI zur Verfügung gestellt werden. Bei Verknüpfung der Einzelwerte des NDVI mit den Ertragsdaten im ArcView[®] GIS ergaben sich nur sehr geringe Korrelationen.

In den Feldversuchen 2005 und 2006 zur Definition der Anforderungen an einen teilflächenspezifischen Fungizideinsatz in Winterweizen hat sich das unterschiedliche Abreifverhalten der Managementzonen als Pflanzenparameter herausgestellt, der in eine teilflächenspezifische Bekämpfungsentcheidung stärker in Betracht gezogen werden sollte. Frühe Abreifesymptome sind in vielen Fällen das Ergebnis von abiotischen Faktoren, wie Wassermangel und hohen Temperaturen (LARBI & MEKLICHE 2004). Besonders auf Standorten mit Sommertrockenheit, wie z. B. des Projektbetriebes WIMEX, traten Abreifeunterschiede innerhalb eines Schlages bis zu einem Monat auf. Eher abreifende Teilflä-

chen brauchen nicht solange gegen Krankheiten geschützt werden im Vergleich zu Bereichen, die länger grün bleiben. Derzeitig bietet der Prototyp proPlant „expert.precise“ an, neben der zonenspezifischen Empfehlung von Fungizidmengen auch die Erfahrung des Landwirts zu unterschiedlichem Abreifeverhalten von Teilflächen seiner Schläge einzubeziehen.

Hauptziel im TP 10 war die Entwicklung eines Applikationssystems, das sowohl die Informationen über Infektionswahrscheinlichkeiten der verschiedenen Krankheitserreger (Expertensystem proPlant) als auch die sehr hohe Informationsdichte der durch das CROP-Meter abgebildeten aktuellen Biomasse/Pflanzenoberfläche einbezieht. Wie die Feldversuche 2007 zeigen, werden mit diesem hybriden System zusätzliche Fungizidmittel eingespart, ohne einen erhöhten Krankheitsbefall bzw. Ertragsdepression hervorzurufen. Sowohl proPlant als auch das CROP-Meter sind in der Praxis etabliert. Somit ist davon auszugehen, dass die Verknüpfung beider Systeme zu einem hybriden System ein hohes Potenzial besitzt, relativ schnell in die Praxis überführt zu werden.

Literatur

- ANONYM (1972): Biometrische Versuchsplanung. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin.
- ANONYM (1999): Sun Scan Canopy Analysis System. User Manual, Cambridge.
- ANONYM (2005): Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.), Referat 518.
- BJERRE, K.D. (1999): Disease maps and site-specific fungicide application in winter wheat. In: Stafford, J.V. [Hrsg.]: Precision Agriculture '99, Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture, Sheffield Academic Press, UK, S. 495 – 504.
- DAMMER, K.-H., H. BÖTTGER & D. EHLERT (2003): Sensor-controlled variable rate realtime application of herbicides and fungicides. In: Stafford, J. & A. Werner [Hrsg.]: Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture, Wageningen Academic Publishers, S. 129 – 134.
- DAMMER, K.-H. & D. EHLERT (2006): Variable rate fungicide spraying in cereals using a plant cover sensor. Precision Agriculture 7, S. 137 – 148.
- DOHMEN, B., U. WAGNER & A. REH (2002): Bestandesinformation. In: Werner, A. & A. Jarfe [Hrsg.]: Precision Agriculture: Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis. KTBL-Sonderveröffentlichung 038, S. 109 – 116.
- EHLERT, D. & K.-H. DAMMER (2002): Herbizide, Fungizide und Wachstumsregler. In: Werner, A. & A. Jarfe [Hrsg.]: Precision Agriculture: Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis. KTBL-Sonderveröffentlichung 038, S. 275 – 292.
- GERHARDS, R. & S. CHRISTENSEN (2003): Real-time weed detection, decision making and patch spraying in maize, sugarbeet, winter wheat and winter barley. Weed Research 43, S. 385 – 392.
- HAMMEN, V.C. (2001): On-line sensing of cereal crop biomass. Dissertationsschrift, Humboldt-Universität zu Berlin, 174 S.
- LARBI, A. & A. MEKCLICHE (2004): Relative water content (RWC) and leaf senescence as screening tools for drought tolerance in wheat. In: Options Méditerranéennes. Series A, Séminaires Méditerranéens 60, S. 193 – 196.

- LOVELL, D.J., S.R. PARKER, T. HUNTER, D.J. ROYLE & R.R. COKER (1997): Influence of crop growth and structure on the risk of epidemics by *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) in winter wheat. *Plant Pathology* 46, S. 126 – 138.
- NEWE, M., H. MEIER, A. JOHNNEN & T. VOLK (2003): ProPlant expert.com: the online consultation system on crop protection in cereals, rapeseed, potatoes and sugar beet: a concept that meets the requirements of farmers and consultants in both Germany and Europe. *Bulletin OECP Eppo Bulletin* 33 (3), S. 443 – 449.
- ROZALSKI, K., J. PUDELKO & G. SKRZYPCZAK (1998): Disease incidence in winter wheat and spring triticale as influenced by crop protection and nitrogen. *Progress in Plant Protection* 38, S. 551 – 554.
- SENTELHAS, P.C., M.J. PEDRO & J.C. FELICIO (1993): Effects of different conditions of irrigation and crop density on microclimate and occurrence of spot blotch and powdery mildew. *Bragantia* 52, S. 45 – 52.
- TISCHNER, H. (1998): Entscheidungs- und Prognosesysteme im Pflanzenschutz. *Gesunde Pflanzen* 8, S. 237 – 245.
- VOLK, T. (1998): Teilflächenspezifischer Pflanzenschutz: Aktueller Stand und zukünftige Möglichkeiten. *Gesunde Pflanzen* 7, S. 203 – 208.
- WOLLNY, J., K.-H. DAMMER, B. HAU, T. VOLK & C. LICHTER (2006): Methoden, Modelle und Ergebnisse zur Ermittlung und Durchführung der Anwendungsentscheidungen für den teilflächenspezifischen Pflanzenschutz bei Pilzkrankheiten in Winterweizen (TP 10). In: Autorenkollektiv *pre agro*: Forschungsverbundprojekt *pre agro* II-Informationseiliteete Pflanzenproduktion mit Precision Farming als zentrale inhaltliche und technische Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaftlichen Landnutzung. *Zwischenbericht 2005*: 249 – 261.
- WOLLNY, J., K.-H. DAMMER, B. HAU, T. VOLK & T. WISCHKE (2007): Site-specific disease control in wheat by combining the CROP-Meter with the decision support system proPlant. In: Stafford, J.V. [Hrsg.]: *Precision Agriculture '07: Proceedings of the 6th European Conference on Precision Agriculture*, Wageningen Academic Publishers, S. 783 – 789.

Anschrift der Autoren:**PD Dr. agr. habil. Karl- Heinz Dammer**

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V.

Abteilung Technik im Pflanzenbau

Max-Eyth-Allee 100

14469 Potsdam-Bornim

Telefon: (0331) 5699418

Telefax: (0331) 5699849

E-Mail: kdammer@atb-potsdam.de

Dipl. Ing. agr. Judith Wollny

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V.

Abteilung Technik im Pflanzenbau

Max-Eyth-Allee 100

14469 Potsdam-Bornim

Telefon: (0331) 5699419

Telefax: (0331) 5699849

E-Mail: jwollny@atb-potsdam.de

Prof. Dr. habil. Bernhard Hau

Universität Hannover

Institut für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz

Herrenhäuser Straße 2

30419 Hannover

Telefon: (0511) 7623503

Telefax: (0511) 7623015

E-Mail: Hau@ipp.uni-hannover.de

Dipl. Ing. agr. Thomas Volk

proPlant GmbH

Albrecht-Thaer-Straße 34

48147 Münster

Telefon: (0251) 9879797

Telefax: (0251) 9879799

E-Mail: th.volk@proPlant.de

Dipl. Ing. Thomas Wischke

Müller Elektronik GmbH & Co. KG

Franz-Kleine-Straße 18

33154 Salzkotten

Telefon: (05258) 983476

Telefax: (05258) 983490

E-Mail: t.wischke@mueller-elektronik.de

Kapitel 5

Vereinfachung der Datenbereitstellung und des Informationsmanagements im Einsatz von Precision Farming

5.1 Konzept einer spezialisierten Geodateninfrastruktur zur Unterstützung von Workflows im Precision Farming

Towards a specialised spatial data infrastructure to support common workflows in precision agriculture

Edward Nash, Peter Korduan & Ralf Bill

Zusammenfassung

Die Arbeit im TP 7 konzentrierte sich auf das Problem der Datenübertragung zwischen Komponenten, die für das innerbetriebliche Datenmanagement für Precision Farming (PF) und für den Datenaustausch zwischen den beteiligten Akteuren in PF erforderlich sind. Die Arbeit ist zweiteilig; einerseits werden drei beispielhafte Anwendungsfälle untersucht, um Einsatzmöglichkeiten für Web-Services, insbesondere die Normen und Standards des Open Geospatial Consortiums (OGC) aus dem Geoinformationsbereich zusammen mit Branchenstandards wie agroXML aus dem Agrarbereich, für die Automatisierung der Datenflüsse bzw. Datenverarbeitungsworkflows zu identifizieren. Andererseits wird die Arbeit der *pre agro*-Teilprojekte auf den Anwendungsschlägen und deren Datenflüsse modelliert, um die Basis eines allgemeinen Modells der Datenverarbeitung für PF zu erstellen. Die normierte allgemeine graphische Modellierungssprache der „Unified Modeling Language“ wird für beide Teile verwendet.

Summary

This subproject has focussed on the problems of data transfer between components required for the on-farm management of data for precision farming and the transfer of data between the farm and its business partners. Although the focus has been on the spatial data which plays a central role in precision agriculture, many of the problems which have been analysed, and solutions which have been proposed, are also relevant for farms not using site-specific techniques. Through the modelling of individual use-cases, a number of common tasks in precision agriculture have been analysed and proposals made how workflows contained within these use-cases may be supported and automated through the use of international and industry standards from the agricultural and geoinformatics branches. In particular, standards from the Open Geospatial Consortium (OGC), ISO and agroXML have been considered (Table 41). The use-cases were chosen to reflect the range of tasks for which (geographic) data are used on farms: communication with business partners and for decision-support based on analysis of data collected during agricultural processes (e.g. yield data), specifically for agricultural decision-making (e.g. soil testing or ECa) or by external agencies and sensors (e.g. aerial and remotely-sensed imagery).

A further aspect of the work in this subproject is in the modelling of the data flows during the work on the demonstration fields. As well as providing a documentation of this work, this model should assist in the development of a general model of the information required for successful precision farming. Through the isolation of individual data streams (see e.g. Figure 129) it is possible to determine which source datasets are or may be required for the production of final informational datasets such as application maps or sustainability indicators. Conversely, such a model may assist practitioners to understand the value of datasets which they collect by highlighting their potential usage. For the modelling

of the use-cases and these data flows, the standardised object-oriented graphical modelling UML (Unified Modeling Language) has been used.

The first use-case to be considered was that of soil testing to determine properties such as nutrient content and pH. In particular, the need for spatially-referenced data during the planning, contracting, performance and analysis of a field soil test was considered. This use-case illustrates the need in precision agriculture for base data from external sources, e.g. topographic maps or orthophotos to act as backdrop imagery for visualisation of the agricultural data. It also illustrates how relatively simple interface standards allowing access to spatially referenced data may be used to automate data transfers, enabling a seamless transfer of data between the farmer and partners. The workflow modelled in this use-case and suggested applications of standard geospatial web services together with agricultural standards to support this are shown in Figure 122.

The second use-case involved the calculation of the total required site-specific nitrogen fertilisation based on the yield data collected during the previous harvest and, if available, soil nutrient data. This is a complex geoprocessing workflow, illustrated in Figure 124, requiring multiple processing operations to produce the desired dataset. The source data may also be stored externally to the farm, e.g. in an agricultural data warehouse as proposed by subproject 8, or on consultants' servers. The use of chained geospatial web services to automate this task could therefore make it available to more farmers lacking the specialist knowledge required to apply such methods. In particular, the use of web services allows farmers to use a range of client software, e.g. their current farm management information system could incorporate a client module. Alternatively a stand-alone client or even a lightweight client running via the internet or on mobile devices may be used.

The third and final use-case to be analysed was the generation of prototype management zones based on a range of input data, e.g. yield data, remote sensing data, digital terrain models and derived products such as the topographic wetness index, etc. Through the use of a hill-climbing clustering algorithm, it is possible to identify areas which have similar characteristics based on all input datasets and may therefore be identically managed. Again, this requires a complex geoprocessing workflow, illustrated in Figure 126, and the source data may be held locally on the farm or supplied from external service providers. Automating this workflow through web services allows improvements in the algorithm to be transparently included without requiring an update to the client, e.g. to extend the range of data types which may be accepted or to extend the analysis capability to include suggestions for an interpretation of the zones.

5.1.1 Einleitung und Problemstellung

Die Prozesse der informationsgeleiteten Pflanzenproduktion sind sehr vielschichtig und hauptsächlich ortsbezogen. Die Komplexität der zu verarbeitenden Informationen steigt dadurch, dass nicht nur innerbetriebliche Informationen verarbeitet werden müssen, sondern der landwirtschaftliche Betrieb auch in einem breiten Verbund beteiligter Akteure, z. B. mit übergeordneten Stellen wie öffentlichen Datenanbietern (Katasteramt, Landwirtschaftsamt, Umweltbehörde, ...), mit Dienstleistern (Maschinenringe, Lohnunternehmen, Berater, Untersuchungsanstalten wie LUFA, ...) und mit Abnehmern in der Wertschöpfungskette (Lebensmittelerzeuger, ...) eingebunden ist.

Einer durchgehenden informationsgeleiteten Pflanzenproduktion stehen zurzeit aber aus einer auf Daten bezogenen Sichtweise noch einige Hindernisse entgegen. Viele notwendige Informationen liegen bisher nicht in digitaler Form vor, denn die heute in der Praxis übliche Form der Betriebsdatenerfassung erfolgt von Hand und wird „wenn mal Zeit ist“ in eine Schlagdatei am PC übertragen. Da die

Software zur Erfassung, Verarbeitung, Analyse und Präsentation der Informationen oft an verschiedene Bearbeitungsgeräte der Pflanzenproduktion gebunden ist, entstehen in einem landwirtschaftlichen Betrieb schnell heterogene Datenwelten mit unterschiedlichen Datenformaten und verschiedenem Raumbezug. Da zudem die Informationsbeschaffung und die Prognose von computergestützten numerischen Modellen durch die biologisch determinierten Prozesse, die auch räumlich sehr stark variieren können, verhältnismäßig aufwendig ist, haben sich in der Praxis Systeme zur Entscheidungsfindung noch nicht durchgesetzt.

Die Erleichterung des Datenmanagements ist für die Landwirtschaft besonders wichtig, da der zentrale Akteur, der Landwirt, kein Datenmanagementspezialist ist. Im Gegenteil hat der durchschnittliche Landwirt relativ wenig Interesse und geringe Kenntnisse im Bereich des Geodatenmanagements (KITCHEN et al. 2002). Dieser Fakt, die Komplexität des Themas und die Kosten, die ein Geodatenmanagement zur Folge hat, sind bedeutende Hindernisse beim Einstieg in das Precision Farming (JARFE & WERNER 2000). Wenn alle Softwarekomponenten eines Workflows miteinander kommunizieren, ohne dass der Landwirt selbst zwischen Dateiformaten konvertieren oder in andere Koordinatensysteme transformieren muss, wäre bereits ein großer Teil des Problems „Datenmanagement“ gelöst. Die Nutzung von Webdiensten für die Anwendungskopplung in die Landwirtschaft wurde z. B. bereits in SPILKE & ZÜRNSTEIN (2005) vorgeschlagen. Allerdings stellt der Raumbezug vieler Precision Farming (PF)-Daten eine besonders komplexe Herausforderung dar, was die Nutzung passender Technologien erfordert, beispielsweise die auf raumbezogenen Daten angepassten Schnittstellenstandards einer Geodateninfrastruktur (GDI).

Weiterhin ist eine Automatisierung der Workflows wünschenswert: Auch wenn die Probleme des Datenmanagements bereits gelöst wären, sind viele Geoprozessierungsabläufe weiterhin aufwendig. Die Automatisierung von Workflows mittels Web-Services hat den weiteren Vorteil, dass eine beliebige Clientanwendung verwendet werden kann. Die komplexe Datenverarbeitung ist hiermit nicht nur am Desktop-PC machbar, sondern auch an mobilen Geräten (PDA, Handy) sowie Bordrechnern möglich.

Ein weiterer möglicher Grund für die niedrige Akzeptanz von Precision Farming ist die fehlende Klarheit über den Nutzen der verschiedenen Datensätze. Landwirte sind bereit Daten zu sammeln und zu analysieren, wenn der Nutzen klar ist (LIPSKI & VON HAAREN 2007). Ein weiterer Aspekt der Arbeit in diesem Teilprojekt war deshalb die Modellierung der Vorgänge auf den Anwendungsschlägen und den damit verbundenen Datenflüssen. Durch die Herausstellung von Datenströmen werden mögliche „Endprodukte“ identifiziert, die von einem Datensatz abgeleitet werden können bzw. weitere Eingangsdaten können ermittelt werden, um bestimmte Ergebnisse abzuleiten. Das Modell dient gleichzeitig als Dokumentation der durchgeführten Arbeiten aller Teilprojekte mit Bezug zu den Anwendungsschlägen.

Die wissenschaftliche Fragestellung in TP 7 ist deshalb zweigeteilt: einerseits wird die Anwendung moderner Technologien einer Geodateninfrastruktur untersucht, woraus beispielhafte Anwendungen und Empfehlungen für zukünftige Weiterentwicklungen abgeleitet werden. Andererseits werden die für die Anwendung der in *pre agro* erprobten Methoden notwendigen Datenflüsse untersucht, die als Basis für die Entwicklung eines verallgemeinerten Modells der Datennutzung und des Datenbedarfs in Precision Farming dienen.

5.1.2 Vorgehensweise

Die Modellierung von inner- und außerbetrieblichen Datenflüssen ist auf Basis ausgewählter Anwendungsfälle geschehen. Drei typische Workflows wurden untersucht und allgemeine Arbeitsabläufe abgeleitet. Auf Basis dieser Workflows wurden Ansätze für die Nutzung von Webdiensteschnittstellen gebildet. Anschließend wurden prototypische Anwendungen entwickelt, um die Realisierbarkeit der vorgeschlagenen Lösungen zu demonstrieren. Die drei Workflows wurden ausgewählt, um ein breites Spektrum typischer Aufgaben und Ausgangsdaten abzudecken. Einerseits müssen georeferenzierte Daten im Laufe vieler Geschäftsprozesse mit Vertragspartnern ausgetauscht werden. Andererseits basieren viele Datenverarbeitungsprozesse hauptsächlich auf Daten, die direkt im Betrieb erfasst und ggf. gespeichert werden. In allen Fällen findet ein Datenaustausch zwischen Organisationen bzw. Softwarekomponenten statt, der mit Web-Service-Technologien unterstützt werden kann. Die Datenverarbeitungsworkflows basieren auf Algorithmen, die in Zusammenarbeit mit PB3 ausgewählt bzw. entwickelt wurden. Die Geschäftsprozesse stellen einen verallgemeinerten Workflow dar, der möglichst viele konkrete Einzelfälle repräsentieren soll.

Für die Modellierung wurde die normierte graphische Modellierungssprache UML („Unified Modeling Language“) verwendet. UML definiert eine Semantik und eine Notation für die objektorientierte Modellierung von statischen und dynamischen Systemen. UML eignet sich sowohl für eine Datenmodellierung also auch für die Modellierung von Geschäftsprozessen und Datenverarbeitungsworkflows. Drei Diagrammarten wurden für die Modellierung der Anwendungsfälle verwendet:

1. Das Anwendungsfalldiagramm, um die beteiligten Akteure und deren Rollen zu identifizieren.
2. Das Aktivitätsdiagramm, um den logischen Ablauf des Anwendungsfalls darzustellen.
3. Das Sequenzdiagramm, um den zeitlichen Ablauf des Anwendungsfalls bzw. den vorgeschlagenen Einsatz von GDI-Technologien abzubilden.

Für die Modellierung der innerprojektlichen Datenflüsse in der Arbeit auf den Anwendungsschlägen wurde ebenfalls UML eingesetzt. In diesem Fall wurde das Zustandsdiagramm ausgewählt. Hiermit können einzelne Datensätze als Zustände, die zugehörige Datenübertragung bzw. -bearbeitung als Transition zwischen Zuständen abgebildet werden. Die jeweiligen Teilprojekte sowie die Herstellungsart der Datensätze (erfasst, erstellt oder vorhanden) können ebenfalls im Zustandsdiagramm abgebildet werden. Die Modellierung erfolgt in einem iterativen Prozess, wobei jedes Teilprojekt Hinweise zu den Datenflüssen ihrer eigenen Arbeit gegeben hat. Im Ergebnis stellt das Gesamtmodell die Datennutzung einvernehmlich und umfassend dar.

Zusätzlich wurde auch das UML Klassendiagramm eingesetzt, um Datenmodellierung insbesondere für die Weiterentwicklung von agroXML zu unterstützen (u. a. für die Entwicklung eines prototypischen agroXML/GML-Schemas (KORDUAN & NASH 2005)). Die Nutzung eines Werkzeuges zur automatisierten Generierung eines XML-Schemas von einem UML-Modell bzw. entsprechenden XMI-Datei war auch erprobt. Da viele Änderungen notwendig waren, um das automatisch-erzeugte Schema an dem agroXML-Standard Schema anzupassen, wurde diese Methode nicht weiter verfolgt.

Als Schnittstellenstandards für Webdienste wurden die Standards des Open Geospatial Consortiums (OGC) bzw. ISO/TC211 ausgewählt (Tabelle 41). Da noch keine landwirtschaft-spezifischen Standards bzw. Profile in diesem Bereich festgelegt sind, müssen Standards aus anderen Bereichen eingesetzt werden. Das World Wide Web Consortium (W3C) definiert allgemeine Standards im Internetbereich, die die Besonderheiten räumlicher Daten nicht berücksichtigen. Das OGC ist ein Industriekon-

sorium, das Industriestandards für räumliche Daten festlegt. Durch Kooperation mit ISO werden viele dieser Standards als Normen weiterentwickelt bzw. übernommen. Durch parallele Entwicklungen entstehen zurzeit zwei zum größten Teil inkompatible Sammlungen von Standards für Webdienste. Die OGC-Standards für Webdienste basieren auf HTTP GET-Abfragen mit Schlüssel-Wert-Paaren (KVP, engl.: „Key-Value Pairs“) bzw. POST-Abfragen mit KVP oder XML. Die W3C Standards basieren auf WSDL (Web Service Definition Language) und SOAP. Aktuelle Initiativen auf Seite des OGC zielen auf die Erweiterung von deren Standards hin zur Nutzung der allgemeinen Standards WSDL und SOAP, um die Verbindung geographischer Dienste mit allgemeinen Diensten in Geschäftsprozesse zu erleichtern.

Tabelle 41: Normen und Standards als Basis einer Geodateninfrastruktur für Precision Farming

Table 41: Standards for a spatial data infrastructure for precision farming

	Name	Abk.	Aktuelle Version	Hrsg.	Beschreibung
Schnittstellen	Web Map Service	WMS	1.3 ISO19128:2005	OGC ISO	Ermöglicht die Abfrage „gerenderter“ Geodaten (z. B. Topographische Karten, Luftbilder) in gängige Grafikformate (JPEG, PNG, ...).
	Web Feature Service (-Transactional)	WFS (-T)	1.1 ISO/CD19142	OGC ISO	Ermöglicht die Abfrage von Daten (Geometrien und/oder Attributdaten) im Vektorformat (i.d.R. GML). WFS-T bietet zusätzliche Insert-Update-Delete-Funktionalität an, um Daten ändern bzw. hochladen zu können.
	Web Coverage Service	WCS	1.0	OGC	Ermöglicht die Abfrage von Rasterdaten in Formaten wie GeoTIFF oder ASCII-Grid. Im Gegensatz zu WMS werden auch Gleitkommazahlen und multi- und hyperspektrale Datensätze direkt unterstützt.
	Web Processing Service	WPS	1.0	OGC	Definiert eine Web-Service Schnittstelle, um Geodatenbearbeitungsfunktionen (GIS-Analyse) online zur Verfügung zu stellen.
Formate	ISOBUS-XML		ISO/FDIS11783 Part 10	ISO	XML-Dialekt für Datenübertragungen zwischen FMIS und Bordrechner.
	agroXML		1.3	KTBL	XML-Dialekt für landwirtschaftliche Daten.
	Geography Markup Language	GML	3.2.1 ISO19136:2007	OGC ISO	XML-Dialekt für räumliche Daten. Definiert abstrakte Elemente, konkrete Elemente (z. B. Geometrien) und Regeln für die Erstellung von Fachschemen.
	Keyhole Markup Language	KML	2.2	Google OGC	XML-Dialekt für die Präsentation räumlicher Daten, insbesondere mit Google-Produkten wie Google Earth und Google Maps.
	GeoTIFF		1.8.2	Geo-TIFF WG	Standard, um räumliche Metadaten in TIFF-Dateien (binäre Imagedateien) einzubetten.

Bis eine volle Kompatibilität zwischen den verschiedenen Standards hergestellt ist, muss entschieden werden, welche Standards am besten im konkreten Fall zur Anwendung kommen können. Da der Raumbezug einen wichtigen Aspekt vieler landwirtschaftlicher Daten darstellt (nicht nur Daten, die im Precision Farming gegenüber „konventioneller“ Bewirtschaftung zusätzlich erforderlich sind), ist die Berücksichtigung des Raumbezugs von zentraler Bedeutung. Da viele räumliche Daten, insbesondere Geobasisdaten wie topographische Karten und Luftbilder, bereits im Rahmen der EU-INSPIRE-Richtlinien bzw. nationaler und regionaler GDI-Initiativen über OGC-konforme Schnittstellen zur Verfügung gestellt werden und diese Daten auch eine wichtige Rolle in Precision Farming haben, ist die Nutzung der Standards einer Geodateninfrastruktur zu bevorzugen.

Die Entwicklung der prototypischen Anwendung erfolgte auf Basis freier Softwarekomponenten. Besonders im Internetbereich ist freie Software, d. h. Software mit offenem Quellcode bzw. einer von der Open Source Initiative (OSI) genehmigten Lizenz wie die GPL⁹, LGPL¹⁰ oder Apache Lizenz¹¹, marktführend. Auch für OGC-Webdienste sind freie Anwendungen und Bibliotheken wie UMN MapServer, GeoTools, GeoServer, uDig und deegree die leistungsstärksten Lösungen. Die Nutzung solcher Komponenten ermöglicht es, prototypische Software schnell zu entwickeln und zu testen, da viele Standardfunktionalitäten für Webdienste bzw. für die geographische Datenbearbeitung bereits vorhanden und ggf. anpassbar sind. Deshalb müssen nur die anwendungsspezifischen Teile selbst programmiert werden. Die im Rahmen des Projektes entwickelten Komponenten werden nach Projektabschluss als Open-Source-Software veröffentlicht, um sie für andere Forschungs- und Anwendergruppen zur Verfügung zu stellen. Die Nutzung einer liberalen Lizenz (LGPL) wird es auch ermöglichen, dass kommerzielle Entwickler proprietärer Anwendungen derartige Komponenten einbinden.

5.1.3 Ergebnisse

Insgesamt wurden drei Workflows untersucht. Erstens wurde die Bodenbeprobung als Beispiel eines raumbezogenen Geschäftsprozesses modelliert. Die Ergebnisse der Arbeit zu diesem Anwendungsfall wurden bereits im Zwischenbericht 2005 präsentiert und werden hier nur mit Hinweisen zu Weiterentwicklungen seit Ende 2005 zusammengefasst. Weiterhin wurden zwei Anwendungsfälle mit einem stärkeren Bezug zum Pflanzenbau untersucht: die Kalkulation der Gesamt-N-Angabe für einen Schlag auf Basis der Vorjahrsertragsdaten und ggf. Bodendaten (N_{\min} -Werte) und die Erstellung prototypischer Managementzonen auf Basis beliebiger Eingabedaten wie Ertrag, Fernerkundung, ECa, usw. Ausführliche Ergebnisse des ersten Anwendungsfalles waren in NASH & KOFAHL (2006) im Kontext der Nutzung einer spezialisierten GDI, und zusammen mit dem zweiten Anwendungsfall im Kontext der automatisierten Datenübertragung für die Landwirtschaft in NASH et al. (2007a) präsentiert. Vorläufige Ergebnisse des dritten Anwendungsfalles waren in NASH et al. (2007b) vorgestellt. Die Ergebnisse der Arbeit auf diesen Anwendungsfällen werden hier zunächst einzeln zusammengefasst. Danach werden die Ergebnisse der Modellierung der Arbeit auf den Anwendungsschlägen präsentiert.

5.1.3.1 Anwendungsfall Bodenbeprobung

Seit der Ergebnispräsentation zum Anwendungsfall „Bodenbeprobung“ lag der Schwerpunkt der Arbeit auf der Implementierung von Webdiensten, um die identifizierten Datenflüsse zu unterstützen. Abbildung 121 zeigt die Aktivitäten zu diesem abstrahierten Anwendungsfall. Das Diagramm ist so gestaltet, dass horizontale Linien eine Datenübertragung repräsentieren. Um diese Datenübertragungen zu unterstützen bzw. zu automatisieren sind mehrere Dienstypen bzw. Schnittstellen und Datenübertragungsformate erforderlich (siehe Abbildung 122).

⁹ GNU General Public Licence, <http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>

¹⁰ GNU Lesser General Public License, <http://www.gnu.org/licenses/lgpl.html>

¹¹ <http://www.apache.org/licenses/>

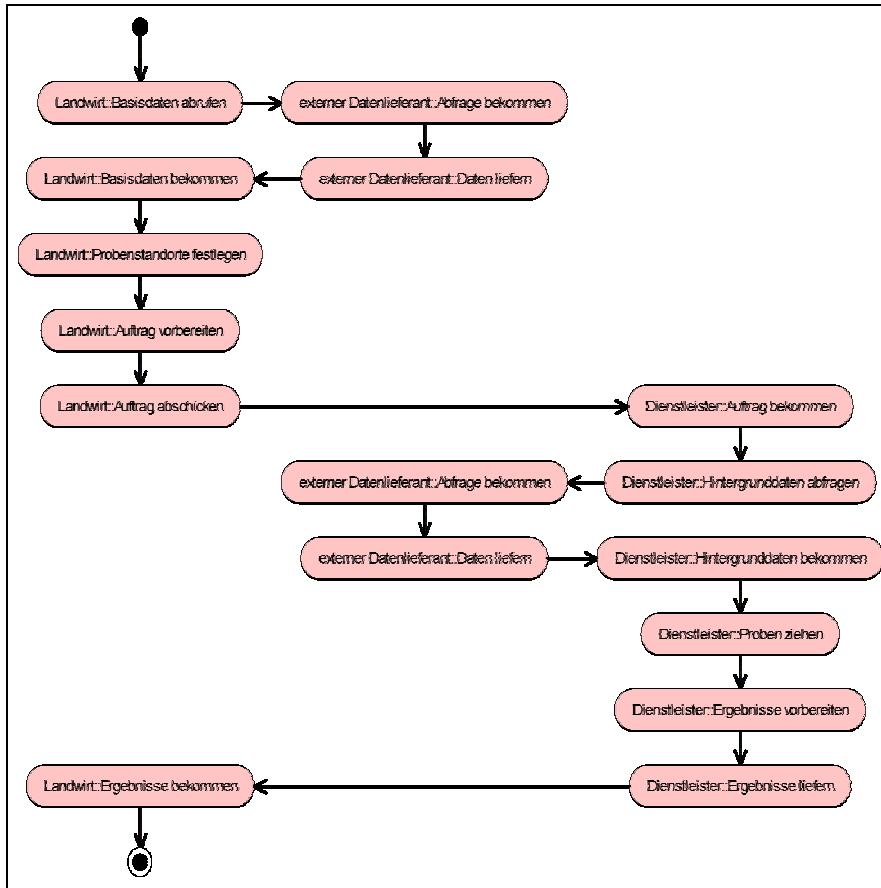


Abbildung 121: Vereinfachtes Aktivitätsdiagramm einer Bodenuntersuchung
 Figure 121: Simplified activity diagram for soil testing

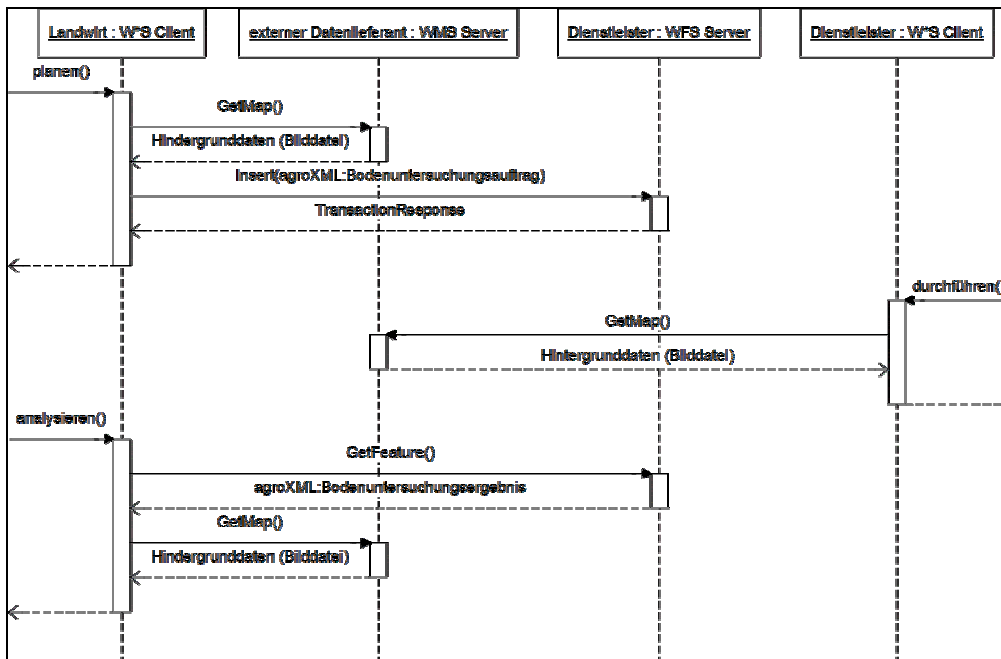


Abbildung 122: Vereinfachtes Sequenzdiagramm der Datenflüsse einer Bodenuntersuchung mit OGC-Schnittstellen und agroXML
 Figure 122: Simplified sequence diagram for data flows in soil testing using OGC interfaces and agroXML

Für Hintergrunddaten wie Luftbilder und topographische bzw. geologische Karten ist eine einfache Schnittstelle wie WMS gut geeignet, da nur eine einfache Darstellung der Daten nötig ist. Das Ergebnis einer Abfrage ist hier eine Bilddatei in einer der üblichen Grafikformate wie JPEG oder PNG. Für die Übertragung eines Bodenuntersuchungsauftrags ist die WMS-Schnittstelle nicht geeignet. Hierfür müssen die Vertragsdaten zusammen mit den raumbezogenen Daten (Probenstandorte bzw. Grenze des zu untersuchenden Gebiets) übertragen werden. In diesem Fall ist die WFS-T Schnittstelle geeignet. Sie erlaubt es dem Landwirt, den Auftrag auf dem Server des Dienstleisters zu speichern. Als Datenübertragungsformat ist ein branchenspezifisches Format wie agroXML erforderlich, um alle notwendigen Daten syntaktisch und semantisch einwandfrei zu übertragen. Nachdem die Untersuchung erfolgreich durchgeführt worden ist, kann der Landwirt die Ergebnisse über eine WFS-Schnittstelle im agroXML-Format herunterladen.

Eine Vorführung einer prototypischen Implementierung dieses Workflows fand im Rahmen des *pre agro*-Statusseminars im April 2006 in Zusammenarbeit mit TP 22 statt. Als Hintergrunddaten wurde der „Global Mosaic“ vom NASA/JPL OnEarth WMS-Server¹² eingesetzt. Die freie Software Geoserver¹³ diente als WFS-T Server mit der ebenfalls freien Software uDig¹⁴ als Client für den Landwirt. Allerdings fehlte in dieser Implementierung die Nutzung von agroXML, weil die Verwendung von „Community Schemas“ wie agroXML zu diesem Zeitpunkt von keinem WFS unterstützt wurde. Seit der 2006 veröffentlichten OGC-konformen Serveranwendung *degree2*¹⁵ ist es technisch möglich, agroXML über WFS-Schnittstellen zu transportieren. Da diese Unterstützung nicht direkt zu implementieren ist, eine aufwendige Konfiguration bedeuten würde (Abbildung 123) und es bisher keine kompatible Clientanwendung gibt, wurde die Implementierung für diesen Anwendungsfall nicht weiter verfolgt.

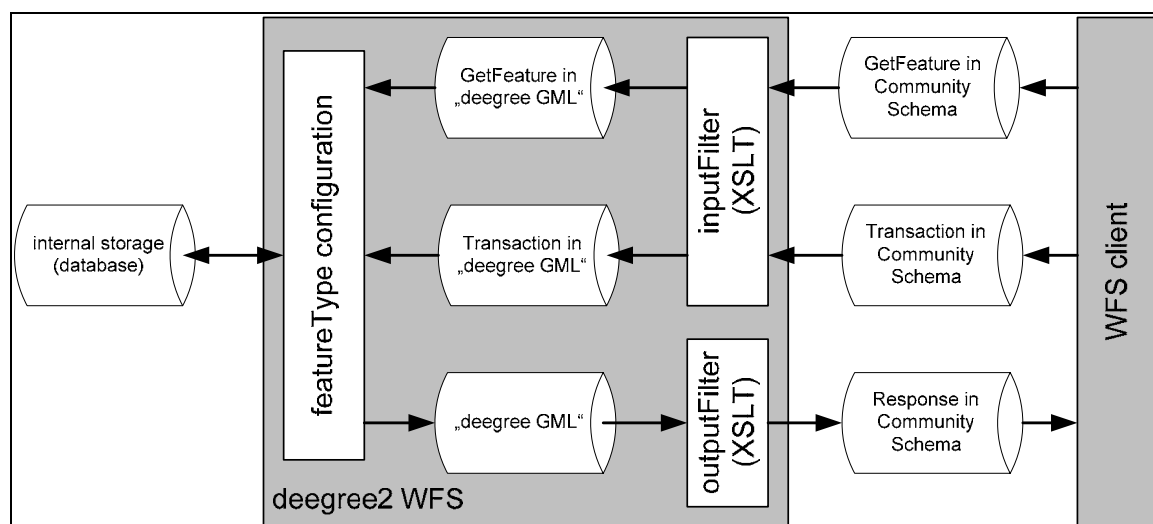


Abbildung 123: Konfiguration von *degree2* für die Nutzung eines „Community Schema“ wie agroXML – für ein Community Schema müssen zusätzliche Filter als XSLT definiert werden

Figure 123: Configuration of *degree2* for use with a community schema such as agroXML: it is additionally necessary to define filters in XSLT for the community schema

¹² <http://onearth.jpl.nasa.gov/>

¹³ <http://www.geoserver.org/>

¹⁴ <http://udig.refractorions.org/>

¹⁵ <http://www.degree.org/>

5.1.3.2 Anwendungsfall N-Düngung

Der erste Anwendungsfall zeigte, wie Geschäftsprozesse räumliche Daten nutzen und wie deren Übertragung mittels OGC-konformer Dienste automatisiert werden kann. Der zweite Anwendungsfall soll demonstrieren, wie aktuelle Entwicklungen im Bereich Prozessierungsdienste die Verteilung und Automatisierung aufwendiger Datenverarbeitungsverfahren ermöglichen. Weiterhin wird der APDS („Agricultural Process Data Service“) vom TP 8 als Datenquelle und eine *pre agro*-interne, auf Precision Farming-Daten erweiterte Version von agroXML als Datenübertragungsformat verwendet.

Die Datenverarbeitungsverfahren, in Abbildung 124 dargestellt, wurden in Zusammenarbeit mit PB3 entwickelt. Im Grundprinzip wird die erforderliche teilschlagspezifische Gesamt-N-Angabe auf Basis des N-Entzuges der vorjährigen Ernte und der mineralischen Stickstoffinhalte des Bodens (N_{\min}) kalkuliert. Der N-Entzug ist anhand des normalisierten (auf 14 % Feuchtigkeit) Rohertrages und entweder dessen Proteingehaltes oder Fruchtart-spezifischen Faustwertes aus KTBL (2005) ermittelt worden. N_{\min} ist entweder als Ergebnis einer Bodenbeprobung vorhanden oder mit einem schlageinheitlichen konstanten Wert (50kgha^{-1}) geschätzt worden. Die ermittelten Werte müssen danach interpoliert werden, um zwei Raster zu generieren, die danach einfach subtrahiert werden. Hierfür wurde eine inverse Distanzgewichtung eingesetzt.

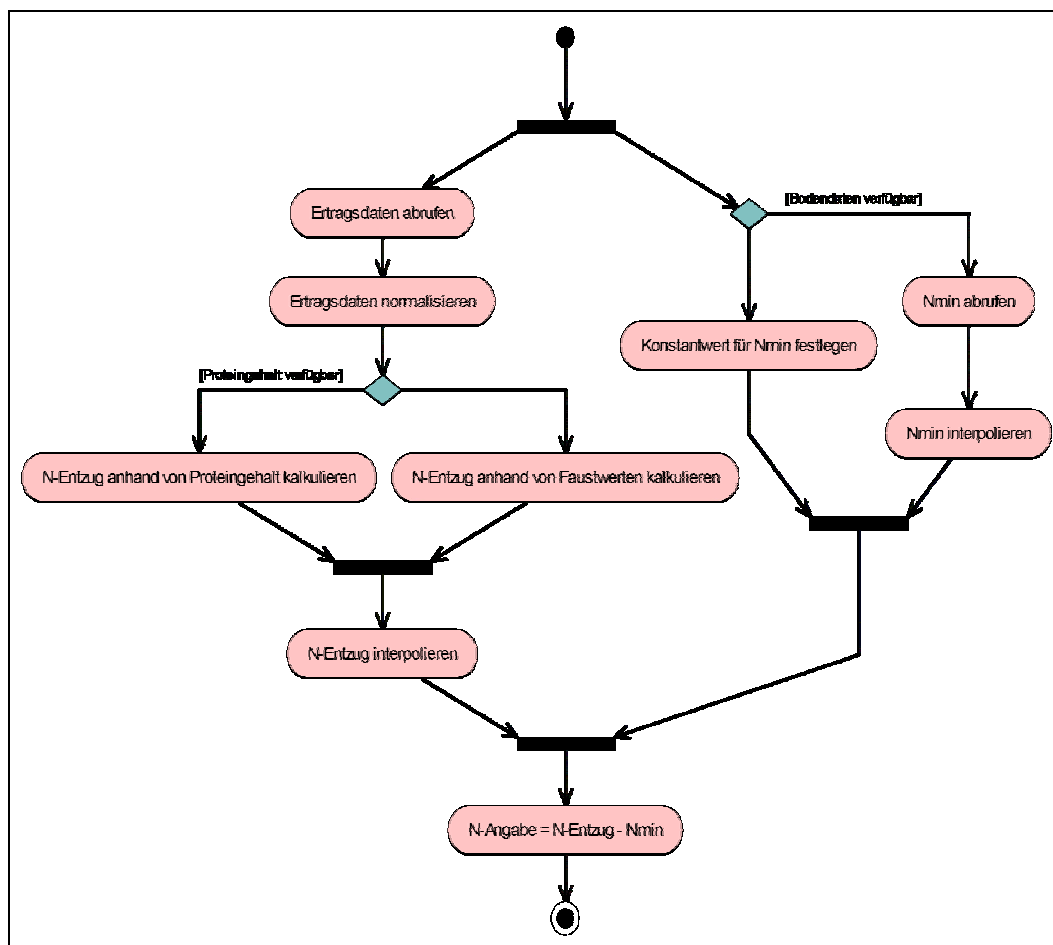


Abbildung 124: Vereinfachtes Aktivitätsdiagramm des Anwendungsfalles „N-Düngung“

Figure 124: Simplified activity diagram for the use-case “N-fertilisation”

Die einzelnen Schritte dieses Workflows wurden als WPS-Dienste implementiert, die entweder agroXML für Vektordaten oder GML Coverages für Rasterdaten für die Datenübertragung nutzen (Abbildung 125). Der gesamte Workflow wurde als aggregierter Dienst ebenfalls als WPS zur Verfügung gestellt. Der Landwirt bzw. sein WPS-Client sieht nicht die einzelnen Dienste, sondern nur einen Dienst, der das gesamte Datenverarbeitungsverfahren automatisiert. Die Komplexität des Verfahrens und die Einzelheiten der Implementierung sind hiermit verborgen. Als Parameter müssen lediglich die Schlaggrenze (als ein GML- bzw. agroXML-Polygon), die Daten bzw. Datenquelle für Ertrags- und Bodendaten und die Fruchtart spezifiziert werden. Das Ergebnis wird als agroXML-Dokument geliefert.

Um die Nutzung solcher Dienste gut demonstrieren zu können, wurde eine graphische Clientanwendung entwickelt, die eine Schlaggrenze von der lokalen Festplatte lesen kann und die Festlegung der anderen Parameter über Textfelder erlaubt. Die Ertragsdaten vom APDS und Bodendaten vom WFS können abgerufen und dargestellt werden; die WPS-Abfrage wird danach im Hintergrund getätigt. Das Ergebnis kann sowohl visualisiert als auch als agroXML-Datei auf der lokalen Festplatte gespeichert für die spätere Nutzung im FMIS verwendet werden.

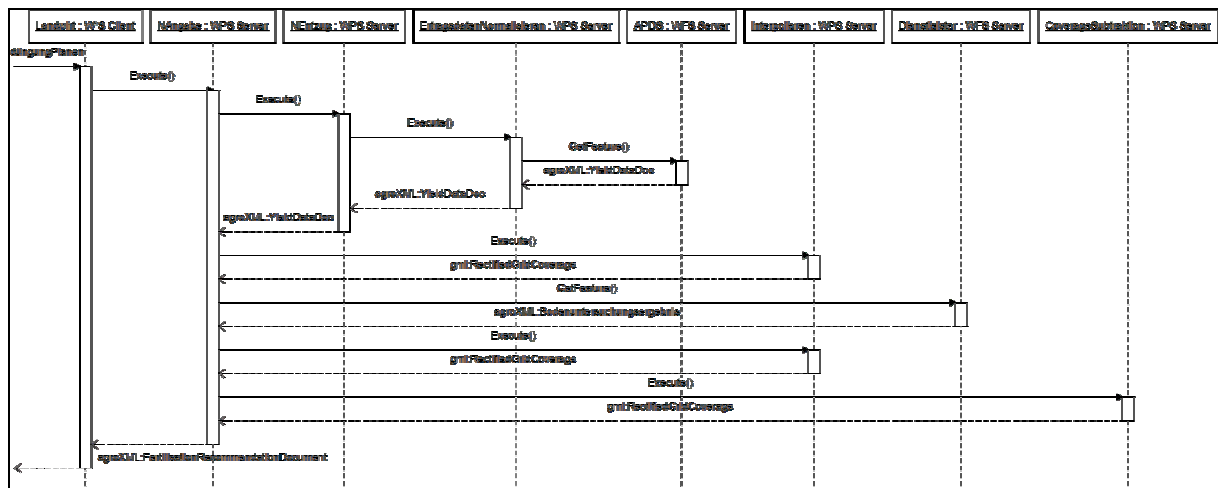


Abbildung 125: Vereinfachtes Sequenzdiagramm der Implementierung der Kalkulation der N-Angabe als verteilte OGC-konforme Web-Dienste

Figure 125: Simplified sequence diagram for the implementation of the calculation of N-fertilisation using distributed OGC web services

Der Vorteil der Nutzung von Webdiensten ist in diesem Fall nicht nur die dezentrale Haltung der Daten und deren automatische Übertragung, sondern auch, dass die komplexe Datenverarbeitung ausgelagert wird. Ein einfaches Endgerät mit einer geringen Leistung, wie beispielsweise ein Bordrechner oder PDA, kann somit verwendet werden, um solche Aufgaben auch im Außendienst zu erfüllen. Die verteilte, komponenten-basierte Dienstkette bietet auch Flexibilität in der Implementierung des Algorithmus an. Wenn beispielsweise ein besserer Interpolierungsalgorithmus (z. B. Kriging) als WPS verfügbar wird, kann er sofort eingesetzt werden, sofern die Parameter gleich sind oder gute Standardwerte ermittelt werden können. Clientsoftware muss nicht geändert werden. Mit einem Katalogdienst und einer flexiblen Gestaltung der Dienstkette wäre es auch möglich, Serverausfälle zu überbrücken, indem Ersatzdienste aus dem Katalog automatisch eingesetzt werden, sobald ein Server nicht reagiert.

5.1.3.3 Anwendungsfall Management-Zonen

Der dritte Anwendungsfall zeigt, wie unterschiedliche Datenarten und -quellen in einer GDI-PF eingebunden werden können, um den Einstieg in die teilschlagspezifischen Landwirtschaft zu erleichtern. Management-Zonen können erstellt werden, um Flächen mit ähnlichen Eigenschaften zu identifizieren und danach für eine oder mehrere Applikationen gleich zu behandeln. Ein Beispiel hierfür ist das 3-Zonen-Modell, wobei die Zonen auf Basis des Ertrages erstellt werden. Andere, bereits vorhandene und ggf. von externen Dienstleistern angebotene Daten, wie z. B. Fernerkundungsdaten, Bodendaten und digitale Geländemodelle können ebenfalls eingesetzt werden, auch noch bevor ein Landwirt eine Ertragskartierung oder weitere PF-Methoden nutzt. Die Bedeutung der resultierenden Zonen wäre in diesem Fall aber unklar. Wir gehen davon aus, dass nur prototypische Zonen automatisch generiert werden können. Der Landwirt muss danach seine Kenntnisse nutzen oder vor Ort bestimmen, ob die resultierenden Zonen sinnvoll sind und ggf. die Zonengrenzen verschieben oder Zonen zusammenlegen.

Der in Abbildung 126 dargestellte Algorithmus entstand in Zusammenarbeit mit PB3 bzw. TP 15 und basiert auf dem Hill-Climbing-Clusteringverfahren nach RUBIN (1967). Das Verfahren arbeitet mit Rasterdaten, die ggf. erst transformiert, entzerrt, skaliert und normalisiert werden müssen, und nutzt einen iterativen Prozess, um von einem arbiträren Eingangsraster die Pixel mit ähnlichen Werten in alle Quelldatensätze schrittweise zusammen zu gruppieren. Die resultierenden Zonen im Rasterformat werden vektorisiert nach einer Mindestgröße gefiltert, um Zonen, die nicht sinnvoll bewirtschaftet werden können, zu eliminieren. Die Ergebnisse können in vielen Formaten wie agroXML, GML, Google Earth KML oder als ESRI-Shapedatei geliefert werden, um sie mit unterschiedlicher Software zu visualisieren oder weiterzubearbeiten.

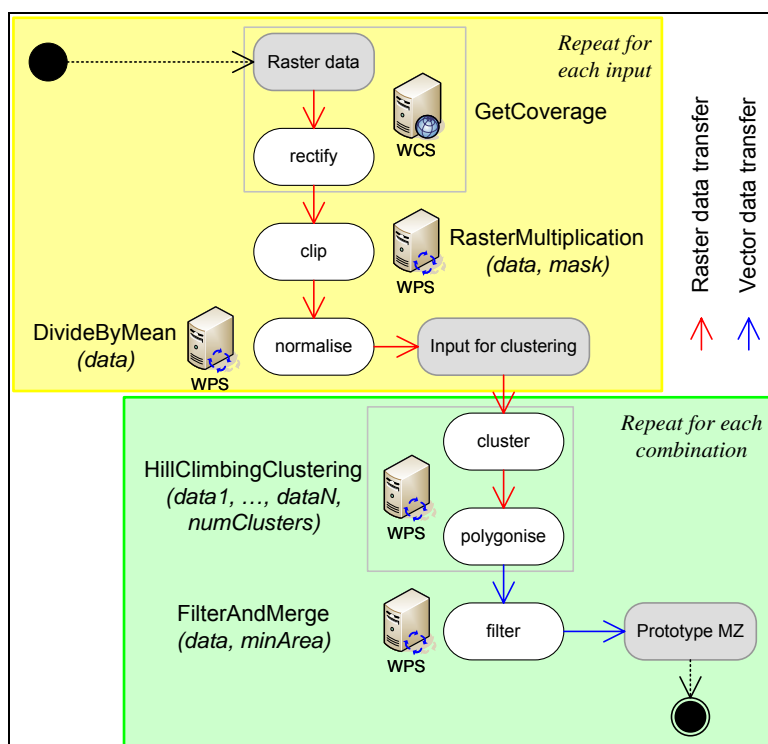


Abbildung 126: Vereinfachtes Aktivitätsdiagramm des Clustering-Verfahrens

Figure 126: Simplified activity diagram for the clustering process

Die einzelnen Schritte sind wieder als WPS-Dienste implementiert, die in einer opaken Kette gebunden sind, um den gesamten Workflow als einen Dienst zur Verfügung zu stellen (Abbildung 127). Die Parameter sind die Schlaggrenze, die Anzahl und Mindestgröße der Zonen und die Eingabedatensätze, die entweder als WCS-Referenzen (Dienst-URL und Layername) spezifiziert, als GML-Raster, Base-64-kodierte GeoTIFF oder gezippte ESRI ASCII Grid in der Abfrage eingebettet werden können. Dadurch können nicht nur Daten von externen Diensten, sondern auch lokale Dateien verwendet werden.

Um die Nutzung der Dienste zu demonstrieren, wurde eine Internet-basierte Clientanwendung entwickelt. Diese basiert auf dem „Wizard“-Modell, d. h. dass die einzelnen Parameter in einer Reihe von kleinen Eingabedialogen eingegeben werden können. Die Dateneingabe bleibt dadurch übersichtlich und es wird eine kurze Erklärung zu jedem Parameter gezeigt, um dem Landwirt die Bedeutung des Parameters zu verdeutlichen und um die verschiedenen Ein- und Ausgabedatenformate zu unterscheiden. Nachdem alle Parameter spezifiziert sind, kann die WPS-Abfrage geprüft werden. Sie wird nachfolgend abgeschickt, das Ergebnis wird direkt zum Webbrowser des Landwirts zurückgeliefert. Die prototypische Clientanwendung ist unter <http://www.preagro.de/wps-test/managementzones> frei verfügbar.

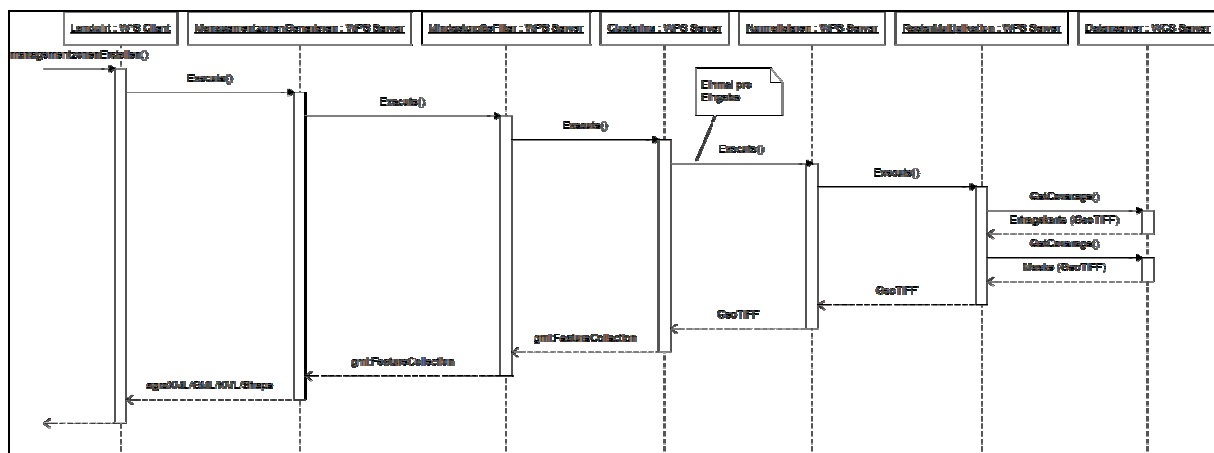


Abbildung 127: Vereinfachtes Sequenzdiagramm der Generierung von Managementzonen mit Eingabedaten von WCS-Diensten und Datenverarbeitung mittels verteilte WPS-Dienste

Figure 127: Simplified sequence diagram for the generation of management zones using inputs from a WCS and processing with distributed WPS servers

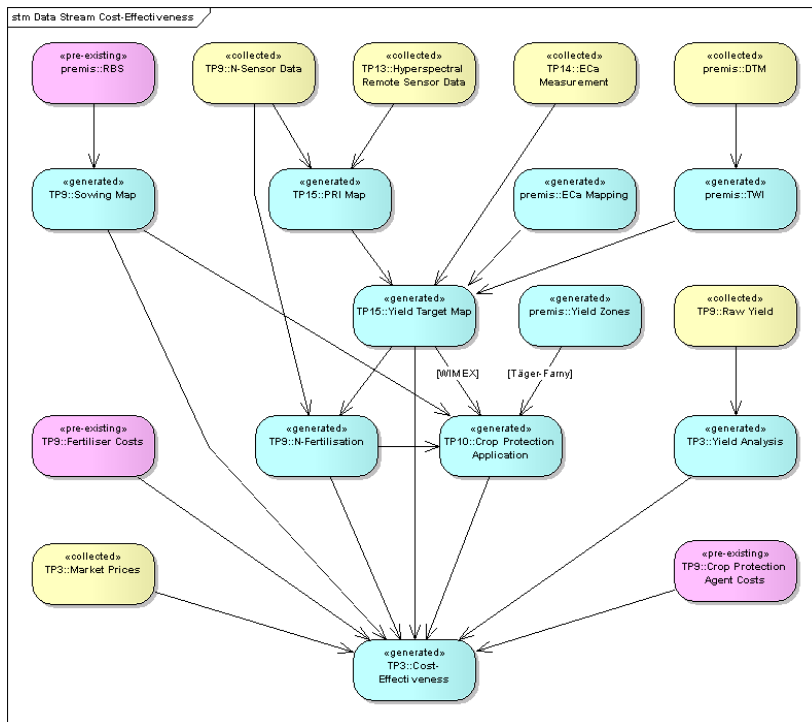


Abbildung 129: Datenstrom für den Ergebnisdatsatz „Rentabilität“

Figure 129: Data stream leading to the result dataset “Efficiency”

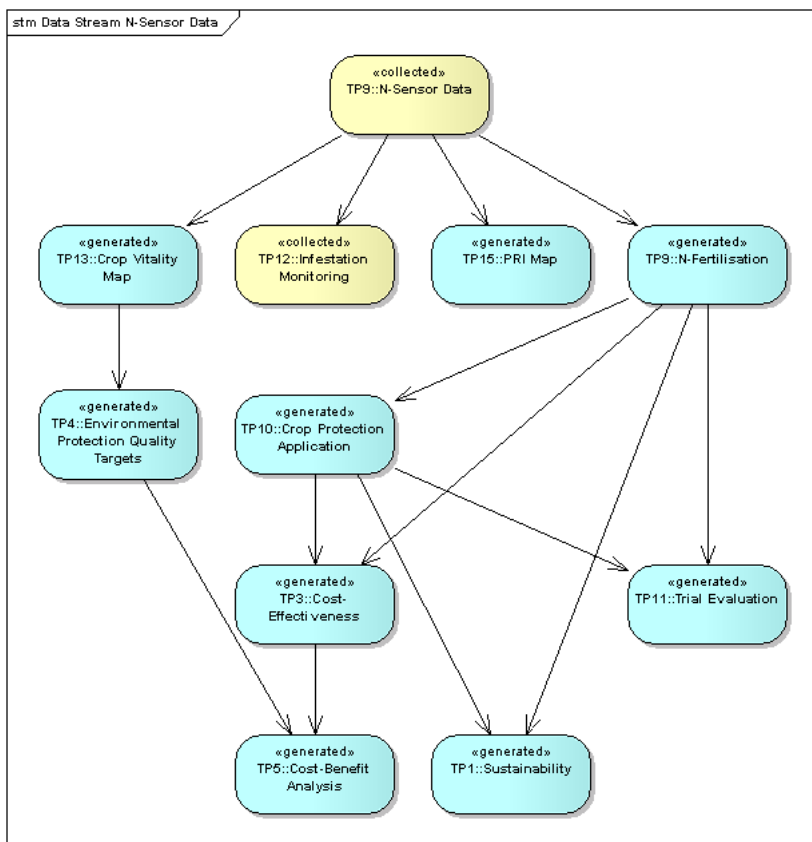


Abbildung 130: Datenstrom vom Eingabedatensatz „N-Sensordaten“

Figure 130: Data stream from the source dataset “N-Sensor data”

5.1.4 Diskussion

In diesem Teilprojekt wurde der Nutzen einer Geodateninfrastruktur für die Landwirtschaft erforscht. Es wurde demonstriert, dass diese Technologie die Möglichkeit bereitstellt, Datenflüsse und Datenbearbeitungsworkflows zu automatisieren bzw. eine verteilte Datenbearbeitung für die Landwirtschaft zu implementieren. Auf Basis ausgewählter Anwendungsfälle wurden passende Normen und Standards für Web-Service-Schnittstellen und Datenübertragungen identifiziert. Auch die Nutzung branchenspezifischer Formate wie agroXML zusammen mit branchenübergreifenden Technologien einer Geodateninfrastruktur wurden erprobt.

Die untersuchten Anwendungsfälle zeigen, dass Webdienste und insbesondere Webdienste für raumbezogene Daten das Potenzial haben, die Datenmanagementaufgaben eines Landwirts zu erleichtern. Inner- sowie zwischenbetriebliche Datenübertragung, wie die gemeinsame Anschaffung von Basisdaten und die Vertragsübermittlung können mittels Web-Service-Schnittstellen weitestgehend automatisiert werden. Auch komplexe Datenverarbeitungsaufgaben können mit verketteten Webdiensten flexibel implementiert werden, so dass der Landwirt letztendlich nur die Parameter bzw. Eingangsdaten spezifizieren und die zurückgelieferten Ergebnisse interpretieren muss.

Web-Services im Allgemeinen sowie einfache Geo-Webdienste wie z. B. WMS oder WFS verzeichnen eine steigende Akzeptanz. Viele Basisdaten, wie z. B. topographische Karten und Luftbilder, sind bereits über Web-Services verfügbar. Die Nutzung von Web-Services bzw. Dienstketten für wissenschaftliche bzw. numerische Workflows hat aber andere Ansprüche als eine Nutzung für allgemeine Geschäftsprozesse (JÄGER et al. 2005). Insbesondere Geoinformationen sind „etwas besonderes“ und brauchen deshalb passende Technologien (EGENHOFER 1993). Das OGC arbeitet darauf hin, dass dessen Web-Service-Standards mit den allgemeinen Standards des W3C kompatibel sein werden, z. B. durch die Spezifizierung einer WSDL-Schnittstelle und SOAP-Codierung für WMS- und WFS-Dienste. Die Einbindung von Geodaten bzw. -diensten in Geschäftsprozesse soll dadurch erleichtert werden. Die Weiterentwicklung des vorläufigen OGC WPS-Standards für die Geodatenverarbeitung ist umstritten und es ist offen, ob er sich als Standard durchsetzen wird (STOLLBERG et al. 2007). In der GI-Forschungsgemeinschaft ist er aber bereits auf Resonanz gestoßen (z. B. KIEHLE et al. 2006, STOLLBERG et al. 2007). Im Prinzip kann aber die gleiche Funktionalität auch über andere WSDL/SOAP-basierte Schnittstellen angeboten werden.

Die Einbindung von Branchenstandards wie agroXML in eine GDI ist in der Praxis noch problematisch. Obwohl die Möglichkeit der Nutzung von so genannten „Community Schemas“ im WFS-Standard zugelassen wird, unterstützen die meisten Implementierungen nur eine Teilmenge von GML. Auch die in diesem Bereich am weitesten fortgeschrittene Software deegree2 kann nur mittels aufwendiger Konfigurationsverfahren mit Community Schemas arbeiten. Obwohl die Erweiterung von Open-Source-Lösungen auf agroXML oder andere Schemen möglich ist, stellt diese einen erheblichen Aufwand dar. Auch andere Entwicklungen im Agrarbereich, wie die Erweiterung von ebXML (eBusiness-XML) auf Elemente für Agrardaten oder AgXML, basieren nicht auf GML und nutzen nicht das im Geoinformationsbereich gängige Feature-Konzept für die Modellierung der Daten. Da die Entwicklung eigener Standards für Webdienste im Agrarbereich zumindest für PF-Daten dieselben Problemstellungen mit sich bringen würde, die bereits in den OGC-Standards gelöst wurden und einen womöglich noch größeren Implementierungsaufwand bedeuten würde, erscheint diese Alternative nicht sinnvoll. Dagegen könnte ein stärkeres Modellierungskonzept für Datenformatstandards im Agrarbereich, ggf. auf GML basierend, die Nutzung bzw. Anpassung von Standardlösungen erheblich erleichtern.

Bevor GDI- und andere Web-Service-Technologien große Akzeptanz in die Landwirtschaft erlangen können, gilt es zukünftig weiteren Fragen nachzugehen. Es ist zu erwarten, dass Daten- und Dienstanbieter in vielen Fällen ein Entgelt für die Nutzung ihre Webservices verlangen werden. Um die Dienste vor unerlaubten Zugriffen zu schützen und eine Abrechnung in Rahmen eines eBusiness-Modells zu ermöglichen, wird ein Sicherheits- bzw. Authentisierungsmechanismus erforderlich sein. Auch der Schutz der Daten des Landwirts muss berücksichtigt werden, beispielsweise mittels einer Verschlüsselung der übertragenen Daten. Um Inkompatibilitäten zu vermeiden, müssen die Sicherheitsmechanismen auch standardisiert werden. Obwohl Vorschläge für WAAS- und WSS-Dienste im Rahmen der GDI-NRW veröffentlicht wurden, haben sie bisher keine breite Akzeptanz gefunden. Aktuelle Initiativen innerhalb des OGC betrachten „GeoDRM“ sind zu allgemein und es ist zu erwarten, dass weitere Vorschläge für die Implementierung von standardisierten Sicherheitsmechanismen veröffentlicht werden. Auch Entwicklungen im Bereich der allgemeinen Web-Services betrachten das Problem der Sicherheit, wie z. B. die Anerkennung des „WS-Security“ Standards durch das Industriekonsortium OASIS (Organization for the Advancement of Structured Information Standards) zeigt. Solche Entwicklungen werden künftig auch an die Bedürfnisse des Geoinformationsbereiches angepasst.

Literatur

- EGENHOFER, M. (1993): What's special about spatial? Database requirements for vehicle navigation in geographic space. *ACM SIGMOD Record* 22 (2) 398 – 402.
- JÄGER E., I. ALTINTAS, J. ZHANG, B. LUDÄSCHER, D. PENNINGTON & W. MICHENER (2005): A scientific workflow approach to distributed geospatial data processing using web services. In: Frew, J. [Hrsg.]: *Proceedings of the 17th International Conference on Scientific and Statistical Database Management*, 27 – 29 June 2005, University of California, USA. 87 – 90.
- JARFE, A. & A. WERNER (2000): Development of a GIS-based management system for precision agriculture. In: Tok, H.H. [Ed.]: *Agroenviron 2000: Proceedings of the 2nd international symposium on new technologies for environmental monitoring and agro-applications*. Tekirdağ University, Turkey. ISBN 975-374-29-8. 121 – 125.
- KIEHLE, C., K. GREVE & C. HEIER (2006): Standardized geoprocessing – taking spatial data infrastructures one step further. In: Suarez, J. & B. Markus [Hrsg.]: *Proceedings of the 9th AGILE Conference on Geographic Information Science*, Visegrád, Ungarn, 20. – 22.04.2006. ISBN 963229422X. 273 – 282.
- KITCHEN, N.R., C.J.SNYDER, D.W.FRANZEN & W.J.WIEBOLD (2002): Educational needs of precision agriculture. *Precision Agriculture* 3 (4) 341 – 351.
- KORDUAN, P. & E. NASH (2005): Integration von ISO- und agroXML in GML. In: Cremers, A., R. Manthey, P. Martini & V. Steinhage [Hrsg.]: *INFORMATIK 2005 – Band 1, Beiträge der 35. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)*, 19. – 22. September 2005, Bonn. ISBN 3885793962. 375 – 379.
- KTBL (2005): *Faustzahlen für die Landwirtschaft*, 13. Auflage. KTBL, Darmstadt. ISBN 3784321941.
- LIPSKI, A. & C. von HAAREN (2007): Einsatz von Geographischen Informationssystemen (GIS) und Geodaten für das Naturschutzmanagement landwirtschaftlicher Betriebe. Beitrag zum DBU-Workshop „Nachhaltige Landwirtschaft – Indikatoren, Bilanzierungsansätze, Modelle“, Osnabrück, 21. Juni 2007. In Press.

- NASH, E. & M. KOFAHL (2006): Specialist SDIs to Support Business Processes. In: Suarez, J. & B. Markus [Hrsg.]: Proceedings of AGILE 2006, Visegrád, Ungarn, 20. – 22.04.2006. ISBN 963229422X. 72 – 80.
- NASH, E., P. KORDUAN & R. BILL (2007a): Optimising data flows in precision agriculture using open geospatial web services. In: Stafford, J. [Hrsg.]: Precision Agriculture '07, Proceedings of the 6th ECPA, Skiathos, Griechenland, 03. – 06.06.2007. ISBN 9789086860241. 753 – 759.
- NASH, E., J. BOBERT, K.-O. WENKEL, W. MIRSCHEL & R. WIELAND (2007b): Geocomputing Made Simple: Service-Chain Based Automated Geoprocessing for Precision Agriculture. In: Demšar, U. [Hrsg.]: Proceedings of Geocomputation 2007, Maynooth, Irland, 03. – 05.09.2007.
- RUBIN, J. (1967): Optimal Classification into Groups: An Approach for Solving the Taxonomy Problem. *Journal of Theoretical Biology* 15 (1)103 – 144.
- SPLIKE, J. & K. ZÜRNSTEIN (2005): Webservices – Beschreibung eines Ansatzes zur Anwendungskopplung und von Nutzungsmöglichkeiten im Agrarbereich. *Zeitschrift für Agrarinformatik* 3 (2) 33 – 40.
- STOLLBERG, B., M. LUTZ, N. OSTLÄNDER & L. BERNARD (2007): Geoprozessierung in Geodateninfrastrukturen – Aufgaben für die nächste Generation. *GIS* 10 (2) 22 – 27.

Anschrift der Autoren:

Dr. Edward Nash

Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Institut für Management ländlicher Räume
Justus-von-Liebig-Weg 6
18059 Rostock
Telefon: (0381) 498-3212
Telefax: (0381) 498-3202
E-Mail: edward.nash@uni-rostock.de

Dr. Ing. Peter Korduan

Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Institut für Management ländlicher Räume
Justus-von-Liebig-Weg 6
18059 Rostock
Telefon: (0381) 498-3212
Telefax: (0381) 498-3202
E-Mail: Peter.korduan@uni-rostock.de

Prof. Dr.-Ing. Ralf Bill

Universität Rostock

Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät

Institut für Management ländlicher Räume

Justus-von-Liebig-Weg 6

18059 Rostock

Telefon: (0381) 498-3200

Telefax: (0381) 498-3202

E-Mail: ralf.bill@uni-rostock.de

5.2 agroXML - ein standardisiertes Datenformat für den Datenverkehr zwischen Akteuren in der Informationsgeleiteten Pflanzenproduktion am Beispiel des Systems Precision Farming

agroXML - A Standardized Format for Data Exchange in Information Directed Plant Production: Implementation for Precision Farming

Daniel Martini, Florian Kloepfer, Christine Spietz & Mario Schmitz

Zusammenfassung

Informationsgeleitete Pflanzenproduktion erfordert die Nutzung von Informationstechnologien zur Unterstützung von Managemententscheidungen. Dadurch werden neue Methoden des Datenaustausches notwendig. Daten verschiedener Betriebszweige und der darin verwendeten Geräte müssen zusammengeführt werden. Außerdem bietet es sich aufgrund der günstigen Verfügbarkeit von Netzwerktechnologie und -konnektivität inzwischen an, Datenverarbeitungssysteme aus dem landwirtschaftlichen Betrieb ins Internet zu verlagern, um so zum einen durch eine zentralisierte Verwaltung eine Vereinfachung zu bieten und um die dynamische Konfiguration von Prozessketten zur Auswertung zu ermöglichen. Voraussetzung hierfür ist die Einigung auf einen Standard, über den Daten ausgetauscht werden können. agroXML ist ein solcher Standard auf Basis anerkannter Internettechnologien des W3 Consortiums. Die Umsetzung informationsgeleiteter Pflanzenproduktion ist mit Hilfe von agroXML möglich. Daten über den Betrieb, bewirtschaftete Flächen, den Anbau und Maßnahmen auf dem Feld können übertragen werden. Precision Farming als ein Teilaspekt und Instrument informationsgeleiteter Pflanzenproduktion wurde dabei bislang aber nur marginal berücksichtigt. Im Rahmen des Projektes wurden Lösungen entwickelt, auf Belange des Precision Farming einzugehen. Dies beinhaltete zunächst die Schaffung einer Möglichkeit, raumbezogene Daten in entsprechenden Datentypen mit Bezug auf ein Koordinatenreferenzsystem darzustellen. Hierbei wurde auf die Geography Markup Language des OpenGIS Consortiums zurückgegriffen. Außerdem wurden im Rahmen einiger beispielhafter Anwendungsfälle die Bezüge zwischen nicht raumbezogenen Objekten und raumbezogenen Objekten und deren Eigenschaften hergestellt und in XML Schema abgebildet.

Informationsgeleitete Pflanzenproduktion hat aber nicht nur mit Anpassung von Maßnahmen an kleinräumige Strukturen zu tun. Auch übergreifende Auswertungen beispielsweise zur Nachhaltigkeit der Produktion können als Instrument zur Führung eines landwirtschaftlichen Betriebes dienen. Auch zu diesem Thema wurden in agroXML entsprechende Anpassungen durchgeführt.

Ein weiterer wichtiger Aspekt war das Vorantreiben der Standardisierung – insbesondere die Internationalisierung. Um überhaupt eine Kommunikationsgrundlage im internationalen Umfeld zu haben, wurden die bislang in der deutschen Sprache vorgehaltenen Element- und Datentypennamen in den Schemadateien ins Englische übertragen. Ein internationaler Workshop wurde veranstaltet, auf dem Netzwerke zwischen Akteuren im Bereich des landwirtschaftlichen Datenaustausches geknüpft und weitere Schritte auf dem Weg zu einem internationalen Standard festgelegt werden konnten.

Summary

Information directed farming requires the usage of information technology for supporting management decisions. Thereby, new methods of data exchange are becoming a necessity. Data from different

branches of agricultural production and from the used machinery have to be merged. Moreover, due to cheap availability of networking technology and connectivity, it makes sense to outsource electronic data processing systems from the farm into the internet. On the one hand, this facilitates administration on the other hand it allows for dynamic configuration of processing chains for data evaluation. The agreement upon a standard for data exchange is a prerequisite for this to work. agroXML provides this standard based upon acknowledged internet technologies from the W3 Consortium. Implementation of information directed plant production is possible using agroXML. Data about the farm, fields, cultivations and measures taken on the field can be transmitted. However up to now, precision farming as one component of information directed plant production was only considered marginally. During the project, solutions were found to satisfy the matters of precision farming. First, a possibility for representation of spatial data using appropriate data types with support for coordinate reference systems was created. The geography markup language from the OpenGIS consortium was used for this task. Furthermore, relations between spatial objects and other objects were set up and implemented in XML Schema.

But information directed plant production is not only adapting measures to small scale structures. Cross-functional analysis e.g. for determining the sustainability of production can serve as an instrument for management of a farm as well. Accordingly, modifications to agroXML have been made to support this usage scenario.

Impelling standardization – especially internationally - was another important aspect. To have a basis for communication in an international setting available, the element and data type names in the existing agroXML schema files were translated from English into German. An international workshop was organized, during which networks between actors in the domain of agricultural data exchange could be built up and further steps on the way to an international standard could be determined.

5.2.1 Einleitung und Problemstellung

Die integrierte Pflanzenproduktion fordert, dass pflanzenbauliche Maßnahmen an die Standortbedingungen des einzelnen Schlages sowie an den Pflanzenbedarf angepasst sind. Die diesem Anspruch übergeordnete informationsgeleitete Pflanzenproduktion, insbesondere ihr Kern, das Precision Farming, bezieht diese Forderung auf die kleinere Einheit von Schlägen, die Bewirtschaftungseinheit. Für die Umsetzung gibt es eine Vielzahl von Instrumenten, die teils auf dem Betrieb vorhanden sind, teils extern zugekauft werden (Bodenuntersuchung, Bestandesüberwachung, Wetterstation, Warn-dienst, Prognosemodelle etc.). Für den Einsatz dieser Instrumente sind effiziente Entscheidungsprozesse auf der Basis aktueller Daten erforderlich, die entweder in elektronischer Form vorliegen, aber in verschiedenen Softwareprodukten verarbeitet werden, oder häufig noch manuell eingegeben werden müssen. Zusätzlich nimmt sowohl das auf dem Betrieb anfallende Datenvolumen als auch das Angebot an internetbasierten Beratungsleistungen ständig zu, ebenso der Umfang an Informationen, die Zulieferer von Betriebsmitteln (Saatgut, Pflanzenschutzmittel, Dünger) per E-Mail oder im Internet bereitstellen. Gleichzeitig sollen die in der Landwirtschaft schon installierten Hofprogramme ('Office-Software', 'Farm-Management-Systeme') weiter genutzt werden. Oft müssen dabei gleiche oder ähnliche Daten unter Verwendung unterschiedlicher Formulare oder Formate mehrfach erfasst werden. Dies erhöht die Fehlerrate und die Landwirte lehnen diese redundante Datenerfassung und -eingabe ab. Zudem ist die Datenauswertung durch mangelnde Vergleichbarkeit der Daten unterschiedlicher Anbieter aufgrund methodisch unterschiedlicher Erhebungen oder begrifflicher Unstimmigkeiten erschwert bzw. deren Aussagekraft fragwürdig. Eine durch Informationstechnologie gestützte integrierte

ve Gesamtbetrachtung der landwirtschaftlichen Produktion, die der Sicherstellung einer nachhaltigen, umweltverträglichen Produktion sicherer Lebensmittel dienen würde, wird dadurch unmöglich.

Die Datenanbieter wiederum sehen sich einer Vielfalt von Datenformaten gegenüber, deren Einhaltung die Landwirte erwarten und die sie allesamt vorhalten und pflegen müssen, wenn sie am Markt bestehen wollen.

Gleichzeitig macht es der zunehmende Bedarf an durchgängiger Dokumentation der Produktionsprozesse über Transport, Handel, Lagerung und Weiterverarbeitung immer stärker erforderlich, Daten, die den Produktionsprozess landwirtschaftlicher Produkte beschreiben, auf elektronischem Wege über eine Vielzahl von unterschiedlichen EDV-Systemen mit unterschiedlicher Software zu vermitteln.

Einen Ausweg aus der geschilderten Problematik bietet die Schaffung eines allgemein anerkannten Datenmodells und die Erstellung eines darauf basierenden standardisierten Datenformates (agroXML), das einen effizienten und reibungsfreien betriebs- und branchenübergreifenden Austausch methodisch vergleichbar erhobener Daten zur Dokumentation landwirtschaftlicher Produktionsverfahren ermöglicht.

Durch eine eindeutige Definition der möglichen Datenfelder mit Vorgaben bezüglich des Typs der Daten und gegebenenfalls des Wertebereiches und somit der dazugehörigen Daten wird die Nutzbarkeit der Daten deutlich erhöht. Nicht nur, dass eine problemlose branchenübergreifende Dokumentationskette die Qualität von Produkten sichergestellt, auch die Dokumentation an sich erhält durch die Eindeutigkeit eines allgemein anerkannten, systemübergreifenden und plattformunabhängigen Formates mehr Qualität, Wiederverwendbarkeit und Glaubwürdigkeit. In einer Anwendung können wieder die aktuellen Schlagdaten für weitere Berechnungen der Arbeitsgänge und Maschinen genutzt werden, beispielsweise Bodenbeschaffenheit, aktuelle Fruchtfolge, Größe und Form eines Schlages, Maschinenpark des Landwirtes oder der Erzeugergemeinschaft.

Im Vordergrund steht ein einheitliches „Austausch- / Übersetzungsformat“. Dies bringt eine erhebliche Arbeiterleichterung für Landwirte, Berater, Verarbeiter, Behörden, Internetdienstleistungen usw.

Es entsteht kein weiteres Datenformat unter vielen anderen, sondern ein gemeinsames Metaformat, das von allen anderen Anwendungen zum problemlosen Datenaustausch genutzt werden kann.

5.2.2 Material und Methoden

5.2.2.1 Verwendete Technologien und Vorgehensweise

Grundlage von agroXML ist die eXtensible Markup Language (XML, BRAY et al. 2006). Diese erlaubt die Erstellung baumartiger Datenstrukturen in plattformunabhängigen Textdateien. Nähere Informationen sind gängiger Fachliteratur (beispielsweise ECKSTEIN & ECKSTEIN 2004) und vor allem den Spezifikationen des W3C unter <http://www.w3.org> zu entnehmen. Für die Definition der möglichen Strukturen wird das XML Schema (FALLSIDE et al. 2004) genutzt. Zu diesem Zweck stehen auch andere Technologien zur Verfügung (beispielsweise DTDs (Document Type Definitions) oder RELAX NG). Das XML Schema wurde ausgewählt, da es durch seine weite Verbreitung gut verstanden wird und eine große Zahl an Entwicklungswerkzeugen für die verschiedensten Programmiersprachen zur Verfügung stehen. Außerdem stellt XML Schema ein besonders ausgeklügeltes und gut aufgebautes Datentypensystem zur Verfügung (BIRON et al. 2004), das nahezu alle in gängigen Programmiersprachen vorhandenen Datentypen abbildet. Zusätzlich kann der Nutzer weitere eigene Datentypen ableiten. Dieser Aspekt ist insbesondere bei der Prüfung von Daten auf Gültigkeit wichtig, da dadurch Wertebereiche

reiche eingeschränkt sowie die Art der Daten (Text, Gleitkommawerte, ganze Zahlen, Zeitstempel usw.) genau festgelegt werden können.

Die Architektur von agroXML ist datenzentriert und monolithisch. Das Schema wurde als ein formales Modell der Realweltobjekte und deren Attributen sowie der Prozessabläufe in der Landwirtschaft aufgebaut. Ein agroXML-Dokument lässt sich auf oberster Ebene in vier Blöcke aufteilen, die jeweils Datenfelder und weitere Eigenschaften folgender Objekte bereitstellen:

- Informationen über den Betrieb: z. B. Adresse, Name des Betriebsleiters usw.
- Informationen über die bewirtschafteten Flächen: z. B. Flächengröße, Geographische Lage usw.
- Informationen über den Anbau auf den einzelnen Flächen: z. B. Vorfrüchte, Zwischenfrüchte, allgemein also Fruchtfolgeinformationen
- Informationen über die auf den Flächen durchgeführten Bewirtschaftungsmaßnahmen: z. B. Saat mit entsprechenden Informationen über eingesetztes Saatgut oder Düngung mit zugehörigen Düngemitteldaten.

Im Rahmen des *pre agro* II-Projektes kam als Besonderheit hinzu, dass sich im Precision Farming einige der Informationen nicht auf einen Schlag sondern auf eine Bewirtschaftungseinheit beziehen, die auch kleiner sein kann als der administrativ vorgegebene Umriss des Feldes.

Daten, die bei der Durchführung von Precision Farming anfallen, besitzen häufig einen Raumbezug. Meist handelt es sich um Daten sogenannter primärer Metrik, d. h. die räumliche Ortung erfolgt über ein exaktes Koordinatensystem. Es können sowohl Vektor- wie auch Rasterdaten vorkommen. Rasterdaten werden aber nur von zusammengesetzten Sensoren erhoben, die einen flächenhaften Ausschnitt mit mehreren Einzelsensoren, die in einem Gitter mit gleichem Sensorabstand angeordnet sind, durchmessen. Vektordaten fallen an, wo Einzelmessungen sequenziell (Punktmessungen) erfolgen. Hinterher können diese Messungen zu weiteren Strukturen, wie Punktfolgen (Linestrings) oder Polygone zusammengesetzt oder über geostatistische Verfahren verrechnet werden. Im Rahmen des Projektes mussten also Methoden gefunden werden, diese Sachverhalte im Datenmodell darzustellen.

Hierbei wurde frühzeitig klar, dass diese Aufgabe im Kontext des Projektes sowie im Zusammenhang mit XML als Ausgangspunkt der Entwicklung des Datenformates mit der Geography Markup Language (GML) am Besten gelöst werden kann. Es existieren zwar andere Repräsentationsmöglichkeiten für Vektordaten wie beispielsweise Scalable Vector Graphics (SVG, FERRAILOLO et al. 2003), diese erlaubt aber nicht die Nutzung der in der Geodäsie verwendeten Koordinatensysteme. Außerdem existieren eine Vielzahl binärer Formate (Shapefile, TIGER usw.). Die Information, die in ihnen enthalten ist, lässt sich aber nur mit großem technischem Aufwand aus einer XML-Instanz heraus referenzieren. Auch die Extraktion von Daten erfordert spezielle Werkzeuge. Dahingegen können Daten, die in GML kodiert sind mit den sowieso für die Verarbeitung von agroXML genutzten Programmbibliotheken verarbeitet werden. Ein weiterer Faktor, der zur Auswahl von GML führte, war die Verfügbarkeit von Geoinformationssystemen, die GML bereits unterstützen sowie von standardisierten Schnittstellen zu Geodatendiensten wie dem Web Feature Service (WFS).

Für die Integration räumlicher Daten in ein bestehendes XML Schema mittels GML existieren drei Möglichkeiten, die im Rahmen des Projektes evaluiert wurden:

1. Erstellung eines GML-Applikationsschemas unter Verwendung des bestehenden agroXML Datenmodells. Das XML Schema wurde hierfür entsprechend konvertiert. Alle in COX et al.

- (2004) genannten Regeln für Applikationsschemas wurden erfüllt (Annex A: Conformance class B).
2. Kopieren der benötigten Elemente zur Beschreibung von Geometrien aus den GML Schemas und Einfügen in agroXML. Notwendige Elemente wurden als Kindelemente mit Hilfe von Referenzen mit den jeweiligen Elternelementen verknüpft.
 3. Erstellung eines Profils von GML nach COX et al. (2004). Ein Profil erlaubt hierbei eine Untermenge aus einem größeren Satz von Elementen und Datentypen auszuwählen. Eine Instanz muss hierbei sowohl gegen das Profil als auch gegen das vollständige Schema validieren. Auch Einschränkungen der Kardinalität von Elementen sind möglich. Das Profil wird dann mit Hilfe der <import>-Direktive von XML Schema in agroXML eingebunden.

Inhalte einiger Datenfelder müssen in ihrem Wertebereich auf bestimmte, ganz genau festgelegte Einträge beschränkt werden. So sollte z. B. in einem Feld für die Angabe der Sorte einer Kulturart nur tatsächlich existierende Sorten eingetragen werden. Dies erleichtert die maschinelle Auswertung, da die Eingabe von schreibfehlerbehafteten Elementinhalten unterbunden wird. Für diese Zwecke stellt das XML Schema eigentlich die sogenannte enumeration zur Verfügung. Diese ist im vorliegenden Anwendungsfall aber nicht geeignet, da die Festlegung im Schema erfolgt und damit eine Änderung der Zusammenstellung möglicher Einträge nicht möglich ist, ohne das Schema selbst zu ändern. Die Namen neu zugelassener Sorten wären mithin immer erst dann verfügbar, wenn auch eine neue Schemaversion erscheint. GML sowie weitere Standards (z. B. der European Petroleum Survey Group (EPSG)) nutzen so genannte XML-dictionaries zur Bereitstellung von international verfügbaren Bezeichnern zur Verwendung in XML-Dokumenten. Mit Hilfe solcher dictionaries ist es zum einen möglich, Objekte eindeutig zu identifizieren als auch weitere Beschreibungen dieser Objekte zu hinterlegen. XML-dictionaries bieten sich insbesondere für sich stetig ändernde Inhalte, wie beispielsweise die Zulassungsnummern und Namen der zugelassenen Pflanzenschutzmittel oder die Sortennamen an, da keine Festlegung auf den Umfang erfolgen muss. Die Pflege erfolgt unabhängig vom Schema. Mit diesem Ansatz können die oben genannten Probleme der enumerations umgangen werden.

In Bezug auf die Inhalte konnte mit dem Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit eine Übereinkunft zur Bereitstellung der für die Listen im Pflanzenschutzmittelbereich benötigten Einträge erzielt werden. Sortendaten werden vom Bundessortenamt bezogen. Die Liste der Düngemitteltypen wurde orientiert an der EU-Düngemittelverordnung überarbeitet. Die Liste der Maschinenarten wird inzwischen automatisiert aus der Datenbank des KTBL erzeugt. Weitere Listen, die überarbeitet wurden, sind: Die Listen der Bodenarten, der Zertifizierungen und der Saatgutstufen. Nähere Informationen zu den Inhaltslisten können der Publikation MARTINI et al. (2007) entnommen werden.

Es reicht nicht aus, lediglich die in den dictionaries bereitgestellten Identifier zu nutzen um tatsächlich weltweit eindeutige Bezeichner zu erhalten. Die Eindeutigkeit wird erst dadurch erzielt, dass solche dictionaries im Netz unter einem bestimmten URL (Uniform Resource Locator) zur Verfügung gestellt werden. In die XML-Instanz wird dann sowohl der URL als auch der in der Liste stehende Identifier eingebunden. Aus dieser Kombination ergibt sich ein global eindeutiger Bezeichner.

Zur Dokumentation der agroXML-Elemente wurde ein Wiki aufgesetzt. Element- und Datentypennamen wurden anfänglich als Artikel importiert. Die inhaltliche Befüllung erfolgt sukzessive. Die Artikel enthalten nähere Erläuterungen zu den Elementinhalten und zur semantischen Bedeutung. Auch sind Links zu den entsprechenden Datentypenbeschreibungen integriert. Außerdem wurde eine

allgemeine Dokumentation zur Nutzung von Schemata und Inhaltslisten sowie Modellierungsrichtlinien hinterlegt.

Frühzeitig während des Projektes wurde klar, dass eine Weiterentwicklung von agroXML auf Basis des Austausches von Dateien per E-Mail nicht mehr möglich war. Zum Einen ist es schwierig Änderungen zu verfolgen, zum Anderen ergeben sich leicht Konflikte, wenn mehrere Personen zur gleichen Zeit an einer Schemadatei arbeiten. Zur Lösung dieser Probleme stehen Softwaresysteme bereit, sogenannte Quellcodemanagementsysteme. Im Rahmen des Projektes wurde für die Verwaltung der agroXML-Schemadateien das System subversion (COLLINS-SUSSMAN et al. 2004) aufgesetzt. Dieses ermöglicht

- Automatische Dokumentation von Änderungen (Nutzername der ändernden Person, Zeitstempel, geänderte Dateien, Änderungen in diesen Dateien im Einzelnen und ein Kommentar werden aufgezeichnet)
- Versionierung: Jede Änderung erhält eine eigene Versionsnummer. Es ist möglich einen beliebigen Stand in der Vergangenheit wieder herzustellen.
- Release-Management: Es können Zweige zur Veröffentlichung erstellt werden, während die Entwicklung auf dem Hauptzweig weiterläuft.

5.2.2.2 Organisatorischer Hintergrund

Für agroXML existieren Gremien, die die Weiterentwicklung des Standards begleiten sowie über das Einfließen von Änderungen entscheiden. Die derzeit bestehende Gremienstruktur und Aufgabenteilung hat sich bewährt: Die Arbeitsgemeinschaft agroXML bestimmt hierbei die Strategie und ist für das Auffinden neuer Anwendungsfälle und deren softwaretechnische Umsetzung in den Firmen zuständig. Laufende und mögliche Projekte werden in der Arbeitsgemeinschaft diskutiert.

Die Arbeitsgruppe technische agroXML-Entwicklung bearbeitet das Datenmodell im Detail. Dort werden Aspekte der Technologie sowie verschiedene Methoden der Darstellung in XML Schema diskutiert und abgestimmt. Konstrukte und Modellierungsweisen, die sich in Anwendungsfällen in *pre agro II* bewährt haben, wurden in der Arbeitsgruppe zur Diskussion gestellt und gegebenenfalls in den Standardzweig übernommen (s. hierzu auch Abschnitt Ergebnisse).

Die Vorgehensweise wurde hierbei vom Quellcodemanagementsystem unterstützt, in dem ein separater Zweig für die in *pre agro II* entwickelten Schemas erstellt wurde. Dadurch war es möglich, auch experimentelle Änderungen durchzuführen und diese zunächst ausgiebig zu testen und gegebenenfalls zu überarbeiten, bevor eine Übernahme in den Standard erfolgte.

5.2.2.3 Anwendungsfälle

Mit den erstellten Schemas wurden mehrere Anwendungsfälle umgesetzt. Im Rahmen des Anwendungsfalles „Bodenuntersuchungsauftrag“ wurde zunächst die Basis gesetzt für die Arbeiten im Zusammenhang mit der Integration der Geography Markup Language. Es erfolgte die Einarbeitung in die Darstellung von einfachen Geometrien sowie die Analyse, welche Arten von Geometrien überhaupt benötigt werden.

Während der Bearbeitung der Anwendungsfälle „Prozessdatenerfassung“ und „Erstellung einer Applikationskarte“ wurden in Kooperation mit den Teilprojekten des Projektbereiches II (Informationsmanagement) notwendige Strukturen zur Abbildung von Teilschlägen entwickelt.

Ein weiterer Anwendungsfall ohne Geodatenbezug war die Weitergabe von Daten zur Berechnung von Nachhaltigkeitsindikatoren (siehe Kapitel 7.2). In Zusammenarbeit mit Teilprojekt 1 wurde erarbeitet, welche Parameter zur Berechnung von Nachhaltigkeitsindikatoren in agroXML zu ergänzen sind. Elemente für die Parameter als auch Elemente die dazu dienen, die Ergebnisse der Berechnung schlag- sowie betriebsbezogen zu transportieren, wurden in den Schemas ergänzt. Erstmals wurden in diesem Anwendungsfall auch in agroXML die oben beschriebenen Profile eingesetzt. Dabei wurden für verschiedene Nachhaltigkeitsindikatoren jeweils eigene Profile erstellt, die eine Auswahl an Elementen aus der in agroXML abbildbaren Basisdokumentation sind. Die darin vorhandenen Elemente werden hierbei benötigt, um die Berechnung des jeweiligen Nachhaltigkeitsindikators vorzunehmen. Eine beispielhafte Umsetzung erfolgte mit dem Nachhaltigkeitsbewertungssystem REPRO (HÜLSBERGEN et al. 2000).

5.2.2.4 Internationale Verbreitung

Im Rahmen einer internationalen Verbreitung von agroXML müssen im Schema Vorkehrungen getroffen werden, dass regional verbreitete Anbaumethoden sowie sich aufgrund der Gesetzgebung unterscheidende Dokumentationspflichten abgebildet werden können. Außerdem müssen gegebenenfalls länderspezifische Inhaltslisten bereitgestellt werden. Eine einzige, zentrale Instanz kann diese Arbeit aufgrund der notwendigen Einarbeitung in nationale Gegebenheiten nicht effizient erledigen. Vielmehr bietet sich ein verteiltes Vorgehen bei der Entwicklung der XML Schemas an. Diese Möglichkeit ist in XML Schema grundsätzlich vorgesehen, tatsächlich ist die verteilte Entwicklung von Vokabularen sogar eines der Kriterien, bei deren Vorliegen die Nutzung von XML besonders sinnvoll ist (JACOBS & WALSH 2004). Um Konsistenz zu wahren ist es dennoch notwendig, dass sich national an XML Schemas arbeitende Gruppen abstimmen. Zum einen muss hierbei Dokumentation ausgetauscht werden. Zum anderen hat die Erfahrung mit der bisherigen Entwicklung von agroXML gezeigt, dass bei der Diskussion der Datenstrukturen in aller Regel nur dann auch verwertbare Ergebnisse zu erwarten sind, wenn unter Zuhilfenahme einer entsprechenden Entwicklungsumgebung direkt im XML Schema gearbeitet wird. Grundlegende Voraussetzung für eine internationale Verbreitung eines Datenaustauschstandards für die Landwirtschaft ist deshalb die Möglichkeit der Kommunikation auf Basis einer gemeinsamen Sprache, die von möglichst allen Beteiligten verstanden wird. Eine Übertragung der im bisherigen agroXML-Schema vorhandenen deutschen Namen von Elementen und Datentypen in die englische Sprache war deshalb notwendig. Diese Arbeit wurde nach Umsetzung des Applikationsschema sukzessive durchgeführt. Während dieses Prozesses wurde eine Liste der Übersetzungen zusammengestellt. Diese wurde in Zusammenarbeit insbesondere mit Teilprojekt 7 mehrfach überarbeitet.

Während der Laufzeit des Projektes war es möglich, bestehende Kontakte zu Organisationen, die in anderen Ländern an ähnlichen Fragestellungen arbeiten, zu intensivieren sowie neue Kontakte zu knüpfen. Im November 2007 wurde mit Vertretern dieser Organisationen ein Workshop in Hamburg abgehalten. Ziel war es, die wichtigsten technischen und organisatorischen Eckpunkte einer internationalen Zusammenarbeit auf diesem Gebiet festzuhalten. Im Vorfeld des Workshops wurden zwei Teilbereiche der Landwirtschaft identifiziert, die für das Anstoßen einer internationalen Zusammenarbeit besonders geeignet erschienen:

1. Pflanzenproduktion unter besonderer Berücksichtigung von hierbei anfallenden räumlichen Daten. Bei der Auswahl dieses Themas spielte der Aspekt, dass im Bereich Geodaten bereits international verfügbare Standards sowie Initiativen wie INSPIRE (European Parliament and COUNCIL 2007) existieren, auf deren Rahmenwerk aufgesetzt werden kann. Außerdem können

gerade in diesem Bereich zur Demonstration der Machbarkeit geeignete Anwendungsfälle erwartet werden, da das Datenaufkommen hoch ist und eine Umsetzung auf verteilten Systemen sinnvoll erscheint.

2. Registrierung von Tieren bei grenzübergreifendem Verkauf/Austausch. Im Rahmen der agroXML-Entwicklung hat sich zunehmend gezeigt, dass eine der Stärken eines standardisierten Formates in der Ermöglichung einer integrativen Gesamtbetrachtung – wie sie beispielsweise in dem auch hier beschriebenen Anwendungsfall zu den Nachhaltigkeitsindikatoren vorliegt - von Daten besteht. Im Umgang mit natürlichen Ressourcen auf dem landwirtschaftlichen Betrieb sind Pflanzenbau und Tierhaltung in aller Regel sowohl durch Stoffflüsse als auch organisatorisch miteinander verknüpft. Um informationsgeleitete Pflanzenproduktion zu ermöglichen muss daher meist auch deren Wechselwirkung mit der Tierhaltung betrachtet werden. Die behördliche Registrierung von Tieren für sich gesehen bringt in diesem Bereich zwar noch keinen großen Fortschritt. Der Teilbereich kann aber als Anstoß für weitere Aktivitäten dienen, da für die Registrierung von Tieren auf nationaler Ebene bereits Systeme bereitstehen. Notwendige Entitäten (Elemente und Datentypen) sind mithin bekannt und müssen lediglich gesammelt und harmonisiert werden. Eine internationale Verknüpfung fehlt aber bislang.

Die beiden Themen wurden in getrennten Sektionen diskutiert. Im Plenum wurden die diskutierten Punkte dann zusammengeführt.

5.2.3 Ergebnisse

5.2.3.1 XML Schemas

Die agroXML-Standardschemas sind als open source unter der W3C Lizenz verfügbar unter <http://www.agroxml.de/schema>. Erhältlich sind sämtliche Dateien, die notwendig sind um eine agroXML-Schnittstelle für eine Software zu erstellen. Die Schemas sind in mehrere Abstraktions-Ebenen gegliedert. Die unterste Ebene bilden die grundlegenden Datentypen. Neben den in XML Schema bereitgestellten Datentypen (BIRON et al. 2004) wurden weitere spezielle Datentypen, z. B. für SI-Einheiten (LengthType, AreaType, WeightType usw.) oder der TextType für internationalen Text (Language Codes werden in einem Attribut angegeben), definiert. Als nächsthöhere Ebene sind Elemente mit einfachen Datentypen (simpleTypes) zu nennen. Dazu gehören beispielsweise City (für die Angabe der Stadt in einer Adresse), FarmNumber (für die Betriebsnummer), LandUse (für die Landnutzung) oder VarietyCode (für die Angabe des Sortencodes aus der Sorteninhaltsliste). Schließlich gibt es noch die Ebene der komplexen Typen. Dort werden Elemente mit einfachen Datentypen zu hierarchischen Strukturen zusammengeführt. Abbildung 131 zeigt eine solche Struktur als grafische Repräsentation wie sie mit einer gängigen XML-Entwicklungsumgebung erzeugt werden kann.

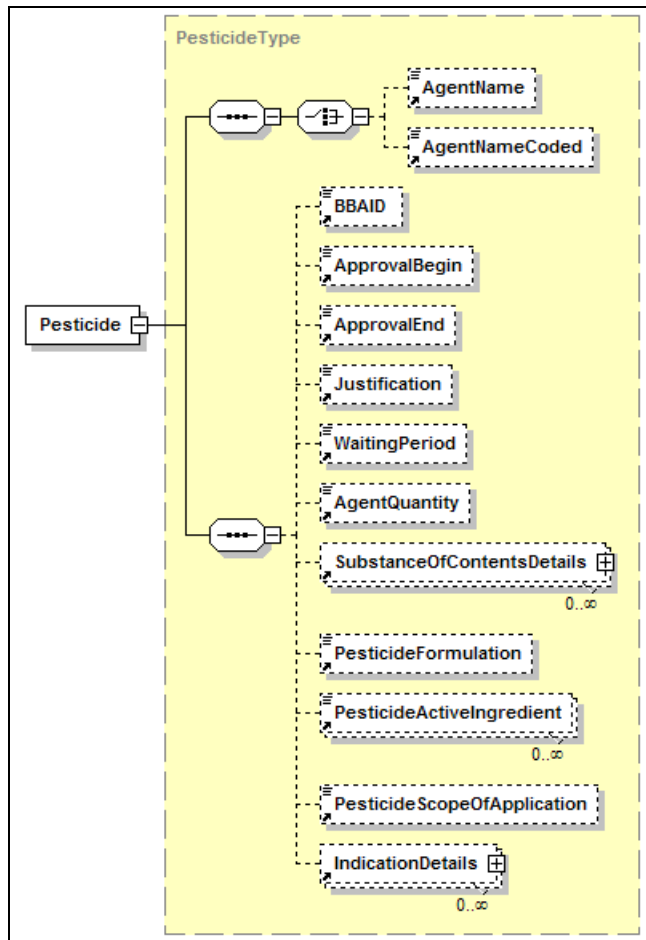


Abbildung 131: Grafische Repräsentation der hierarchischen Struktur des Elementes <Pesticide>
 Figure 131: Graphical representation of the hierarchical structure of the element <Pesticide>

Nicht alle Entwicklungen im Rahmen von *pre agro* II wurden bereits ins Standardschema überführt. In Abstimmung mit der oben genannten Arbeitsgemeinschaft und der Arbeitsgruppe wurde entschieden, dass einige tiefgreifendere Modifikationen zunächst mit Ergebnissen anderer Projekte zusammengeführt und nochmals diskutiert werden. Einige im Laufe des *pre agro* II Projektes vorgeschlagenen Änderungen haben diesen Prozess aber schon durchlaufen und sind bereits jetzt im Standardschema enthalten. Dabei handelt es sich um die Parameter zur Berechnung der Nachhaltigkeit, die Nachhaltigkeitsindikatoren selbst sowie einfache Geometriedatentypen. Für Letztere wurde hierbei der Ansatz der Erstellung eines Profils von GML (Variante 3 in der Zusammenstellung in Abschnitt „Verwendete Technologien und Vorgehensweise“) gewählt. Zu den Beweggründen näheres s. Abschnitt Diskussion. Bisher noch nicht übernommen sind beispielsweise die in Abbildung 132 schematisch dargestellten Konstrukte zur Repräsentation von gegebenenfalls mehreren Ebenen von Prozessdaten. Auch die Darstellung von Bewirtschaftungseinheiten kleinerer Skalen sind noch nicht im Standard verfügbar. Sobald einige derzeit laufende wichtige Umstrukturierungsarbeiten und Vereinfachungen abgeschlossen sind, erfolgt die Diskussion in der Arbeitsgruppe und anschließend die Einarbeitung. Schemas aus dem *pre agro* II-Entwicklungszweig des subversion-Servers, die diese Änderungen enthalten, können aber auf Anfrage jederzeit zur Verfügung gestellt werden.

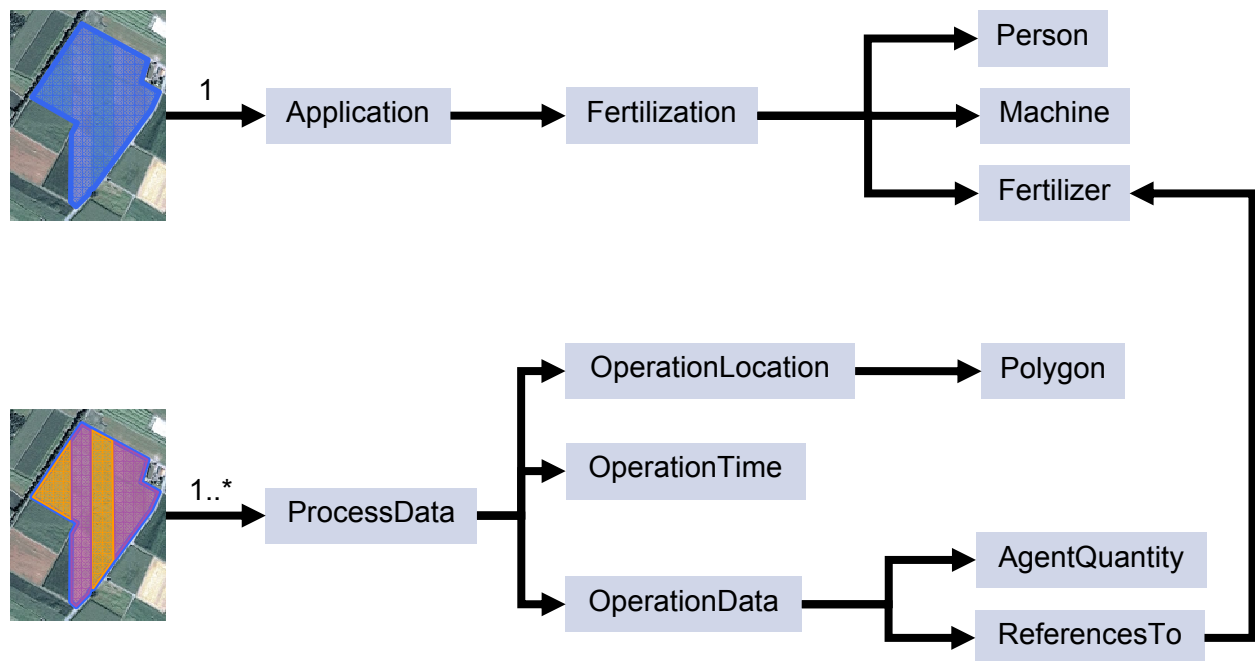


Abbildung 132: Schematische Darstellung der Datenstrukturen zur Repräsentation mehrerer Ebenen von Prozessdaten

Figure 132: Schematic drawing of the data structures for representation of several layers of process data

Die für agroXML erstellten Inhaltslisten sind unter <http://www.agroxml.de/content> verfügbar. Neben dem einfachen Zugriff mit Hilfe der Hypertext Transfer Protocols (http) wurde auch ein Webservice eingerichtet, über den Änderungen in den Listen abgefragt werden können. Als Parameter wird hierbei die Versionsnummer einer Liste übergeben. Sollte auf dem Server eine neuere Version vorliegen, so wird diese vom Webservice geliefert.

Profile zu agroXML sind im Unterverzeichnis „profiles“ zu finden. In den zur Nachhaltigkeitsindikatorenberechnung durch REPRO erstellten Profilen können die Parameter zur Berechnung der N-, P-, K- und der Humusbilanz sowie der Anbaustruktur übertragen werden. Im Zusammenhang mit den Indikatoren Deckungsbeitrag II sowie Energiebilanz sind weitere Arbeiten notwendig. Um beispielsweise die Parameter für die Berechnung des Deckungsbeitrags II zu übertragen, muss zunächst ein Konzept entwickelt werden, wie betriebswirtschaftliche Daten im Allgemeinen auf sinnvolle Art und Weise abgebildet werden können. Da die Thematik umfangreich ist, ist dies nur in einem weiteren Projekt zu leisten.

5.2.3.2 Internationalisierung

In der Arbeitsgemeinschaft agroXML wurde entschieden, die Entwicklung im Standardzweig in der englischen Sprache weiterzuführen. Die in *pre agro* II erstellte Liste von Übersetzungen konnte verwendet werden, um die jetzigen Element- und Datentypennamen weitgehend automatisiert zu übersetzen, so dass das agroXML-Standardschema jetzt in englischer Sprache vorliegt.

Auf dieser Basis konnte begonnen werden, mit Initiativen zum Datenaustausch in der Landwirtschaft, aber auch mit anderen Entwicklern von maschinenlesbaren Begriffssammlungen für die Landwirtschaft, wie beispielsweise den Erstellern des AGROVOC-Thesaurus der FAO, Aspekte der internationalen Entwicklung von XML Schemas zu diskutieren. Die hierbei aufgeworfenen Fragen mündeten im

Konzept des Workshops in Hamburg. Präsentationen dieser Veranstaltungen sind verfügbar unter http://www.agroxml.de/Workshop_Hamburg_2007/. Anwesend waren insgesamt 35 Vertreter der Länder Frankreich, Niederlande, Italien, Schweden, Finnland, Tschechische Republik und Deutschland. In der Sektion 1 des Workshops zum Thema Pflanzenproduktion wurde eine Vorgehensweise erarbeitet, entlang derer unter dem Dach der INSPIRE-Initiative gemeinsam eine Spezifikation zur Abbildung von Objekten des INSPIRE Annex III-Themas „Agri- and aquacultural facilities“ erstellt werden soll. Zu diesem Zweck wurde eine Spatial Data Interest Community (SDIC) gegründet. Die Spezifikation muss bis April 2009 eingereicht werden, kann aber in dem Fall, dass bis dorthin noch keine Ergebnisse vorliegen auch im Anschluss erarbeitet werden. Der nächste Workshop zu dem Thema findet in Prag statt und ist bereits terminiert (Mai 2008) und in Planung.

In Sektion 2 des Workshops zum Thema Viehregistrierung wurde festgestellt, dass in bestehenden Systemen deutliche Unterschiede in der Umsetzung und den verwendeten Technologien bestehen. Da den Gesprächspartnern das Fachwissen fehlte, um die von den Systementwicklern der jeweils anderen Länder angewandten Methoden zu verstehen, wurde beschlossen, am 19. und 20. Februar 2008 einen Technologie-Workshop in Arnhem (Niederlande) abzuhalten, in dem verschiedene Methoden der Daten- und Geschäftsprozessmodellierung vorgestellt, deren Vor- und Nachteile beleuchtet und bewertet werden sollen.

5.2.4 Diskussion

5.2.4.1 Integration räumlicher Daten

Die Analyse der benötigten räumlichen Datentypen hat ergeben, dass für die meisten Anwendungsfälle Punkte, Polygone und Linienzüge ausreichen. Punktdaten werden beispielsweise benötigt um die Orte von Bodenprobenahmen zu kennzeichnen. Linienzüge können genutzt werden, um die Fahrspuren von Maschinen abzubilden. Polygone sind notwendig für die Darstellung von Bewirtschaftungseinheiten oder zur Übertragung von Ergebnissen einer Interpolation von Punktmessungen in die Fläche. GML bietet in seiner Gesamtheit deutlich mehr Möglichkeiten, zum Beispiel die Darstellung von Topologie. Für die umgesetzten Anwendungsfälle waren diese aber nicht notwendig. Dementsprechend beschränkt sich der Umfang der aus GML zu übernehmenden Datentypen auf point, polygon und linestring sowie deren zugehörige Unterelemente und Attribute.

Die drei Möglichkeiten, räumliche Daten mit Hilfe von GML in agroXML zu integrieren, haben alle ihre Vor- und Nachteile. Die Erstellung eines GML-Applikationsschemas führt zu einem unnötigerweise komplexen und großen Schema. Im Schnitt wuchsen die Dateien auf die doppelte Größe an. Schwierigkeiten ergaben sich insbesondere durch die Vorgabe von GML, dem so genannten Feature-Property-Konzept zu folgen. Dieses legt eine weitere Abstraktionsebene über die bereits in „reinem“ XML Schema vorhandenen Abstraktionen. Tief verschachtelte Konstrukte, wie sie im agroXML-Schema vorkommen, ließen sich damit nur mit erheblichem Aufwand im Code darstellen. Das erstellte Applikationsschema wurde von Teilprojekt 18 als Schnittstelle zu einer Ackerschlagkartei umgesetzt. Hierbei ergaben sich weitere Probleme bei der (automatisierten) Erzeugung des Programmcodes sowie bei der Validierung mit den eingesetzten XML-Werkzeugen. Die Vorgehensweise, ein Applikationsschema zu erstellen, macht Sinn, wenn es sich bei den zu übertragenden Daten vorwiegend um räumliche Daten handelt, die aufgrund ihrer Herkunft aus beispielsweise einem Geoinformationssystem sowieso bereits dem Feature-Property-Konzept folgen. Andere Daten ohne räumliche Bezüge, die in tieferen baumartigen Strukturen abgebildet werden sollen, sind damit schwierig zu handhaben.

Notwendige Elemente und Datentypen aus GML direkt in das agroXML-Schema zu kopieren führt zu einigen Problemen: Es ist eine genaue Dokumentation zum Vorgehen bei der Bearbeitung und zum Ort der Einfügungen notwendig, um zu verhindern, dass dort Änderungen gemacht werden, die nicht mehr mit den GML-Standards im Einklang stehen. Die Wartbarkeit des Schemas nimmt damit deutlich ab. Neue Entwickler müssen darauf hingewiesen werden, dass hier umsichtig und mit ständigem Blick auf die GML-Standards editiert werden muss. Anderenfalls kommt es zum unnötigen Abzweig eines weiteren Standards für Geodaten, der sich vom bestehenden GML weiter und weiter entfernt. Eine weitere Schwierigkeit ergibt sich dadurch, dass die aus GML stammenden Elemente ihren eigenen Namespace (BRAY et al. 2006) verlieren. Dadurch sind sie in einer XML-Instanz nur schwer trennbar vom Rest der Elemente. Eine Einbindung in gängige OGC-konforme Dienste wird hiermit deutlich erschwert.

Die Sammlung von GML-Elementen in einem Profil erlaubt den Erhalt des GML-Namespace beim Erstellen von Instanzen. Mittels einer Technologie, wie XML Stylesheet Language Transformations (XSLT, CLARK 1999 und KAY 2007), sind sie damit leicht abtrennbar von den übrigen Elementen. Die abgetrennten Blöcke stellen Geometrien dar und können dann als Eingabe für entsprechende Visualisierungswerkzeuge dienen. Eine Verknüpfung zu inhaltlichen Daten ist damit aber nicht möglich, so dass diese Methode lediglich geeignet ist, räumliche Strukturen zu betrachten. Für weitergehende Analysen mit standardisierten OGC-Diensten wie dem WFS ist eine vorherige Aufbereitung notwendig. Auch wenn ein OGC-Dienst wie der WFS agroXML-Instanzen schreiben soll, ist ein weiterer Verarbeitungsschritt notwendig. Hierfür gibt es zwei Möglichkeiten: Zum einen erlauben einige gängigen Web Feature Services die direkte Einbindung eines XSL-Stylesheets zur Konvertierung der Ausgabe. Für Implementationen, die diese Funktionalität nicht bereitstellen, kann ein so genanntes Filter-Servlet vorgeschaltet werden, das dann die Transformation mit Hilfe des XSL Stylesheets vornimmt. Erstere Möglichkeit wurde im Rahmen des Projektes von TP 7 und 8 beispielhaft umgesetzt.

Der Ansatz der Integration von GML in agroXML über ein Profil hat sich als funktional und einfach erwiesen. Auch die Umsetzung einer Schnittstelle in einer Anwendung ist mit gängigen Werkzeugen mit vertretbarem Aufwand möglich. Er ist als der beste Weg der Einbindung von Darstellungsmöglichkeiten räumlicher Daten in XML Schemas für Domänen, in denen räumliche Daten nicht den Schwerpunkt des Datenaufkommens stellen, zu sehen.

Bei der Umsetzung insbesondere des Anwendungsfalles „Prozessdatenservice“ haben sich zwei Prinzipien für die Modellierung räumlicher Daten herauskristallisiert:

- Trennung von Eigenschaften, die verschiedenen Skalenebenen der Fläche zugeordnet sind. Eigenschaften sollten der Fläche zugewiesen werden, für die sie gültig sind. Wenn nötig, müssen Referenzen auf Eigenschaften anderer Ebenen gesetzt werden. Wenn beispielsweise eine Düngung durchgeführt wird, so wird in aller Regel das verwendete Düngemittel auch bei teilflächenspezifischer Ausbringung auf einem Feld stets dasselbe bleiben. Die ausgebrachte Menge unterscheidet sich aber kleinflächig. Die Düngemittelbezeichnung ist mithin dem Feld zugeordnet, während die Menge den entsprechenden Teilflächen zugeordnet ist. Trotzdem ist es wichtig zu wissen, von welchem Objekt die Menge angegeben wurde. Deshalb wird eine Referenz auf das beim Feld beschriebene Düngemittel gesetzt (s. a. Abbildung 132).
- Konsequenter Ebenenansatz: In der früheren Modellierung von agroXML konnten Felder bereits in Untereinheiten unterteilt werden. Untereinheiten waren aber direkte Unterelemente des Elementes <Field>, so dass nur eine einzige Ebene an Teilflächen möglich war. Diese Darstellung hat sich als unpraktisch erwiesen, da es möglich ist, unterschiedliche Unterteilungen je nach geplanter Maßnahme vorzunehmen. Es wurde also ein allgemeinerer Ansatz gewählt, der mehrere

Ebenen zu verschiedenen Themen erlaubt, ganz angelehnt an die Repräsentation verschiedener Kartenebenen in geografischen Informationssystemen.

Es ist insbesondere noch nicht ganz klar, welche Auswirkungen das erstgenannte Prinzip bei konsequenter Anwendung auf die Schemastrukturen hat. Die Entscheidung, welcher Skalenebene eine Eigenschaft zuzuweisen ist, ist oft nicht einfach zu treffen. Außerdem existiert eine Vielzahl möglicher Relationen zwischen verschiedenen Ebenen. Die dabei entstehenden Freiheitsgrade können die Umsetzung einer Schnittstelle in einer Software immens erschweren. Dieser Aspekt ist mit ein Grund, warum diese Arbeiten bislang noch nicht in das Standardschema eingepflegt wurden.

5.2.4.2 Ontologie

Im Laufe des Projektes zeigte sich, dass ein deutlicher Schwerpunkt der Arbeiten auf die Abbildung der Geodaten gelegt werden musste. Andere Projektziele traten damit in den Hintergrund. Dennoch war es möglich, im Rahmen der Überlegungen zu weiteren Anwendungsfällen die Potenziale der im ursprünglichen Antrag genannten Ontologieentwicklung nochmals gründlich zu analysieren. Zu beachten ist, dass die Auffassungen zum Begriff „Ontologie“ sich häufig drastisch unterscheiden. So wird teilweise bemerkt, dass ein „XML Schema bereits eine Ontologie“ sei oder dass sich eine Ontologie lediglich durch einfache textliche Beschreibung der Zusammenhänge einer Domäne erstellen lässt. Die Definition in der anerkannten Fachliteratur zu Ontologien in der Informationstechnik und hier speziell in der Forschung zur künstlichen Intelligenz ist allerdings weitaus enger gefasst: Eine Ontologie ist die Spezifikation einer Konzeptualisierung in formalsprachlicher und damit maschinenlesbarer Form (GOMEZ-PEREZ 2004). Die einfache Textform scheidet somit zur Erstellung einer Ontologie aus. Insbesondere wäre mit einer solchen Ontologie keine praktikable Nutzung durch Softwaresysteme möglich, da die Umsetzung nicht automatisiert erfolgen kann. Auch kann ein XML Schema somit nicht als Ontologie bezeichnet werden, da ihm die zur Konzeptualisierung eines Wissensbereiches notwendige Beschreibung der logischen Zusammenhänge fehlt.

Zur Erstellung von Ontologien stehen verschiedene formale Sprachen zur Verfügung. Diese lassen sich im Wesentlichen in zwei Klassen einteilen: LISP-basierte sowie XML-basierte Systeme. LISP-basierte Systeme sind expressiver und erlauben meist reichhaltigere Spezifikationen funktionaler Zusammenhänge sowie die vollständige Modellierung der Zusammenhänge ohne zusätzliche Softwarekomponenten. XML-basierte Systeme sind flexibler, es werden aber weitere Komponenten benötigt, um Abfragen an die Ontologie sinnvoll auszuwerten.

Ein zu berücksichtigender Aspekt ist hierbei, dass die Ontologie mit Instanzen, d. h. mit realen Daten befüllt werden muss, damit Abfragen und logische Schlüsse Ergebnisse liefern können. Dazu müssen die notwendigen Schnittstellen in Software umgesetzt werden. Derzeit stehen für die Implementation mit XML-basierten Ontologiesprachen vorwiegend experimentell anzusehende APIs, meist in Java, zur Verfügung, die in üblichen, in der Landwirtschaft eingesetzten Softwaresystemen nur mit hohem Aufwand zu integrieren sind. Aufgrund des fragwürdigen praktischen Nutzens wurde deshalb auf die Erstellung einer Ontologie im oben genannten Sinne verzichtet.

5.2.4.3 Internationalisierung

Der eingeschlagene Weg, eine internationale Initiative unter dem Dach von INSPIRE ins Leben zu rufen hat insbesondere den Vorteil, dass ein organisatorischer Rahmen bereits vorgegeben ist. Es ist

zwar eine Einarbeitung in die vorhandenen Dokumente und schon bestehenden Spezifikationen notwendig, langwierige Diskussionen, die bei deren gemeinschaftlicher Erstellung durch die Beteiligten selbst aufgetreten wären, lassen sich aber vermeiden. Offen bleibt die Frage, wie die Ergebnisse dieses Vorhabens mit anderen, bestehenden Spezifikationen aus technischer Sicht harmonisiert werden können. Ähnliche Probleme wie die oben beschriebenen, zunächst bei der Integration von GML in das bestehende agroXML-Schema aufgetretenen werden hierbei wieder zu Tage treten. Es wird also vor allem darauf ankommen, einen abstrakten, generischen Framework bereitzustellen, der zwar alle notwendigen Modellelemente in ausreichender Präzision definiert enthält, aber dennoch erlaubt, später den besten Weg der Abbildung in konkrete Datenströme zu wählen.

Im Zusammenhang mit der Viehregistrierung gibt es keine vergleichbare Dachinitiative. Der organisatorische Rahmen muss selbst aufgebaut werden. Es existierten bislang aber deutliche Defizite im Austausch von Wissen über Methoden und Technologien, die jetzt behoben werden können. Entscheidend ist hierbei, die richtigen Personen zusammenzubringen. Schrittweise muss die Diskussion von einer abstrakten Ebene auf die konkrete Umsetzung gelenkt werden. Ziel muss es sein, ein Netzwerk von Experten zu bilden, die in der Lage sind, Technologien soweit einzuschätzen und selbst umzusetzen, dass mit konkreten gemeinsamen Arbeiten begonnen werden kann.

5.2.4.4 Fazit

Für agroXML konnten sinnvolle Ergänzungen erarbeitet werden, auch wenn diese zum Teil noch einer Überarbeitung und der Abstimmung in den agroXML-Arbeitsgremien bedürfen, bevor sie in den Standard übernommen werden können. Die Geography Markup Language hat sich als Werkzeug zur Repräsentation räumlicher Daten bewährt. In dem Zusammenhang war wichtig, dass GML so aufgebaut ist, dass sie auch modular zerlegt werden kann, um lediglich benötigte Elemente und Datentypen einzubinden. Die zur Pflege eines XML-basierten Standards notwendige Infrastruktur mit einem Server zur Verwaltung der Schemadateien und anderen Komponenten konnte konsolidiert werden. In weiteren Projekten kann die Entwicklung dadurch reibungslos und nachhaltig vorangetrieben werden.

Die internationale Standardisierung konnte initiiert werden, wird aber sicher noch einige Zeit in Anspruch nehmen. Ein Standard für die Landwirtschaft macht nur Sinn, wenn er auch eine integrative Gesamtbetrachtung der Produktion erlaubt. Dafür müssen Komponenten zur Beschreibung verschiedener Landbau- und Tierhaltungssysteme entwickelt werden. Die Herausforderung hierbei ist sicherzustellen, dass die Komponenten selbst wenn sie von verschiedenen Arbeitsgruppen erstellt werden, zusammenpassen. Hier muss in Zukunft ein Konzept für ein Rahmenwerk erarbeitet werden, das Konsistenz sicherstellt.

Literatur

- BIRON, P., K. PERMANENTE & A. MALHOTRA (2004): XML Schema Part 2: Datatypes. <http://www.w3.org/TR/xmlschema-2/>, Aufruf 31.01.2008.
- BRAY, T., D. HOLLANDER, A. LAYMAN & R. TOBIN (2006): Namespaces in XML 1.0 (Second Edition). <http://www.w3.org/TR/xml-names/>, Aufruf 31.01.2008.
- BRAY, T., J. PAOLI, C.-M. SPERBERG-McQUEEN, E. MALER, F. YERGEAU & J. COWAN (2006): Extensible Markup Language (XML) 1.1. <http://www.w3.org/TR/xml11/>, Aufruf 31.01.2008.
- CLARK, J. (1999): XSL Transformations (XSLT). <http://www.w3.org/TR/xslt/>, Aufruf 31.01.2008.

- COLLINS-SUSSMAN, B., B.W. FITZPATRICK & C.M. PILATO (2004): Version Control with Subversion. O'Reilly Verlag.
- COX, S., P. DAISEY, R. LAKE, C. PORTELE & A. WHITESIDE (2004): OpenGIS Geography Markup Language (GML) Implementation Specification. Open GIS Consortium, Inc.
- ECKSTEIN, R. & S. ECKSTEIN (2004): XML und Datenmodellierung. dpunkt.verlag, Heidelberg.
- EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL (2007): Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 – establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). http://inspire.jrc.it/directive/1_10820070425en00010014.pdf, Aufruf 31.01.2008.
- FALLSIDE, D.C. & P. WALMSLEY (2004): XML Schema Part 0: Primer. <http://www.w3.org/TR/xmlschema-0/>, Aufruf 31.01.2008.
- FERRAILOLO, J., F. JUN & D. JACKSON (2003): Scalable Vector Graphics (SVG) 1.1 Specification. <http://www.w3.org/TR/SVG11/>, Aufruf 31.01.2008.
- GOMEZ-PEREZ, A., M. FERNANDEZ-LOPEZ & O. CORCHO-GARCIA (2004): Ontological Engineering. Springer Verlag, Berlin.
- HÜLSBERGEN, K.-J., W. DIEPENBROCK & D. ROST (2000): Analyse und Bewertung von Umweltwirkungen im Landwirtschaftsbetrieb – Das Hallesche Konzept. Tagungsband: Die Agrarwissenschaften im Übergang zum 21. Jahrhundert – Herausforderungen und Perspektiven. 8. Hochschultagung, Halle/Saale.
- JACOBS, I. & N. WALSH (2004): Architecture of the World Wide Web, Volume One. <http://www.w3.org/TR/webarch/>, Aufruf 31.01.2008.
- KAY, M. (2007): XSL Transformations (XSLT) Version 2.0. <http://www.w3.org/TR/xslt20/>, Aufruf 31.01.2008.
- MARTINI, D., J. FRISCH & M. KUNISCH (2007): agroXML-Inhaltslisten - Konzeption und Inhalte. Proceedings 27. GIL-Jahrestagung, S. 139 – 142.

Anschrift der Autoren:**Dipl. Ing. agr. Daniel Martini**

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.

Bartningstraße 49

64289 Darmstadt

Telefon: (06151) 7001126

Telefax: (06151) 7001204

E-Mail: d.martini@ktbl.de

Dr. Florian Kloepfer

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.

Bartningstraße 49

64289 Darmstadt

Telefon: (06151) 7001143

Telefax: (06151) 7001204

E-Mail: f.kloepfer@ktbl.de

Dipl.-Inf. (FH) Christine Spietz

Kompetenzzentrum für Innovative Informationssysteme

Berlinstr. 109

55411 Bingen

E-Mail: Christine.Spietz@btexx.de

MaTA Mario Schmitz

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.

Bartningstraße 49

64289 Darmstadt

Telefon: (06151) 7001218

Telefax: (06151) 7001123

E-Mail: m.schmitz@ktbl.de

5.3 Integrationen der automatischen Prozessdatenerfassung in die Informationsflüsse in der Landwirtschaft

Integration of Automated Process Data Acquisition in Agricultural Information Flows

Georg Steinberger, Matthias Rothmund & Hermann Auernhammer

Zusammenfassung

Wachsende Betriebe, vertikale und horizontale Kooperationen und auch die vermehrte Nutzung von Elektronik auf Maschinen führen zu zunehmenden Herausforderungen im Informationsmanagement landwirtschaftlicher Betriebe. Das Beherrschen der Information ist mehr denn je Voraussetzung für ökonomischen und ökologischen Pflanzenbau und wird auch informationstechnisch immer mehr zur Herausforderung. Um die verfügbaren Softwarelösungen zielführend einsetzen zu können, muss der Landwirt heute oft IT-Experte sein. Hauptproblem dabei ist der Umgang mit Daten und Dateien an sich, aber auch mangelnde Kompatibilität, v. a. über Herstellergrenzen hinweg.

Im *pre agro* Projektbereich 2 wurde basierend auf dem Konzept einer Service Orientierten Architektur (SOA) eine Infrastruktur erarbeitet, die es dem Landwirt ermöglicht, das volle Potenzial seiner eigenen und der weltweit verfügbaren Information zu nutzen. Dabei soll kein spezialisiertes IT-Wissen notwendig sein. Mit Hilfe von Webservices unter Nutzung des standardisierten Datenformats agroXML werden Anwendungen flexibel miteinander gekoppelt und damit unterschiedliche Informationsquellen und Funktionalitäten vernetzt. Von großer Bedeutung ist dabei auch die Standardsoftware des Landwirts, die Schlagkartei. Auf ihre Einbindung in diese Infrastruktur wurde besonders Wert gelegt.

Damit aussagekräftige Informationen entstehen, sind kostengünstige, ergiebige Datenquellen erforderlich. Eine wichtige Rolle spielen dabei Prozessdaten, die bei der Arbeitserledigung mit Maschinen gewonnen werden können. Für die Verarbeitung dieser Daten und ihre Integration in die inner- und überbetrieblichen Informationsflüsse bieten Webservices die besten Voraussetzungen. Deshalb wurde im Teilprojekt 8 ein landwirtschaftlicher Prozessdatenservice entwickelt und implementiert. Anhand von Teilprojekt-übergreifenden Anwendungsfällen konnte damit die vorgeschlagene Infrastruktur für das Datenmanagement getestet werden.

Maschinendaten werden automatisiert und georeferenziert erfasst und zu einem Server übertragen. Dort werden sie verarbeitet und analysiert. In einem Datenverarbeitungsprozess werden aus den Rohdaten logische Maßnahmen, d. h. zusammengehörende Arbeitsvorgänge gebildet. Dazu wurden geeignete Algorithmen zur Datenverarbeitung entwickelt. Der Zugriff erfolgt zum einen über eine Webseite, die auch einen Download im standardisierten Datenformat agroXML oder die Visualisierung in einem WebGIS bzw. in Google Earth zulässt. Zum anderen existiert eine Webserviceschnittstelle. Das Abrufen der Daten über einen entsprechenden Client wurde durch das Teilprojekt 18 realisiert. Ein Prototyp der agrocom-Schlagkartei agroNET NG kann so Daten von Maßnahmen abrufen. Sie werden in der Weise, wie es der Landwirt von der Schlagkartei gewohnt ist, angezeigt und weiterverarbeitet.

Die vorgeschlagene Infrastruktur konnte prototypisch implementiert und mit mehreren Anwendungsfällen getestet werden. Sie nutzt das heute in der Informationstechnik forcierte Konzept der Service Orientierten Architektur (SOA). Mit dem landwirtschaftlichen Prozessdatenservice kann eine wichtige

Datenquelle erschlossen werden und die resultierende Information in die betrieblichen Informationsflüsse integriert werden.

Summary

Bigger farms, vertical and horizontal cooperation and also an increasing use of electronics on farm machinery cause challenges in information management for farming. Effective information processing becomes more and more a precondition for economical and ecological farming, also regarding information technology. For an effective use of today's farming software solutions a farmer often has to be an IT specialist, especially in data handling, file management and compatibility issues.

In *pre agro*, project domain 2, an infrastructure for data management was developed based on the concept of a Service Oriented Architecture (SOA). One of the main purposes is to enable the farmer to use the potential of his own data and the knowledge capable via the internet. Applications can be coupled with high flexibility using web services and standardized data formats e. g. (agroXML). The main software application should be the farm management software of the farmer, as it is today. A special focus has been given to the integration of this software in the infrastructure.

This means an effective processing of the available information is possible and it can only be realized with cheap and valuable data sources. Here, process data can play an important role, which are collected during the machine employment. For processing and integrating that data into information flows, web service can be used. Such an agricultural process data service was developed and implemented in subproject 8. On the basis of comprehensive use cases the proposed infrastructure for data management was tested.

Data of farming machinery are recorded by automated process data acquisition and are transferred to a server system for processing and analyzing. By data processing, raw data are aggregated to work processes by analyzing logical relations in the content. One of the tasks was to develop suitable algorithms extracting logical structures. For the implementation of these algorithms data base functions were used. The first method for data access is a web portal with components for downloading agroXML and GoogleEarth files and the visualization of data by either tables or integrated web GIS. The second access method is realized by a web service interface. For data retrieval a corresponding client was integrated by subproject 18 into the agrocom farm management software agroNET NG. In that way data can be automatically found by and loaded into the farm management software. Thus, the farmer can work with the information in an environment he is used to.

The proposed infrastructure has been realized as a prototype. It was tested by several use cases in the project domain 2, one of them the process data service developed in subproject 8. The used concept of SOA is today widely used in modern software development and stands for high flexibility and usability. The agricultural process data service helps to open up an important data source for precision farming and to integrate the resulting information in the information flows in farming.

5.3.1 Einleitung und Problemstellung

Managementprozesse werden heute in der Landwirtschaft immer komplexer. Größere Betriebe, überbetriebliche Arbeitserledigung und der vermehrte Einsatz von Informationstechnologie in den verschiedensten Anwendungsbereichen stellen die Landwirte vor immer größere Herausforderungen. Als Königsdisziplin kann Precision Farming gesehen werden, da hier das gesamte Spektrum modernster

Technologien zur Optimierung des Ressourceneinsatzes und zur Umweltschonung angewendet wird. Schließlich ergibt sich daraus das Leitbild der "Informationsgeleiteten Pflanzenproduktion".

Viele Landwirte, die heute die Vorteile der Informationstechnik (IT) nutzen, sehen sich einer wachsenden Komplexität von IT-Systemen gegenüber. Schlagkarteien, Datenerfassungssysteme, GIS-Software, Precision Farming Applikationen und verschiedenste Dokumentationslösungen werden eingesetzt und arbeiten mit unterschiedlichen Datenstrukturen, Datenformaten und nicht zuletzt komplett unterschiedlicher Bedienungslogik. Um Daten aus einer Software in einer anderen nutzen zu können, sind häufig manuelle Zwischenschritte notwendig. Ebenso bei der Verarbeitung der Daten. Tatsächlich sind einige Systeme auch vollkommen inkompatibel. Als Beispiel kann hier die Nutzung von Daten aus der Ertragsermittlung mit einem Mähdescher dienen. Wird ein Schlag mit mehreren Mähdeschern abgeerntet, stellt sich bei der Zusammenführung der Daten die Frage nach der Vergleichbarkeit und der jeweils geeigneten Methode der Filterung und Verarbeitung (BLACKMORE 1999). Anschließend müssen die Ergebnisse dieses Schrittes gemeinsam mit weiteren Informationen, z. B. über Bodenparameter, verarbeitet werden, um eine Applikationskarte für teilflächenspezifische Maßnahmen erstellen zu können, die dann auf einer entsprechenden Arbeitsmaschine eingelesen und ausgeführt werden muss. Derzeit funktioniert dieser Weg der Informationsverarbeitung und -nutzung nur, wenn Maschinen und Software eines Herstellers verwendet werden, bzw. wenn Firmen die Kompatibilität ihrer jeweiligen Produkte garantieren. Als Konsequenz dieser Tatsache muss der Landwirt seine Entscheidung für die Anschaffung von Technik aus Gründen der Kompatibilität treffen und kann sich die Technik nicht nach den speziellen Anforderungen für seinen Betrieb auswählen.

Doch Kompatibilität ist nur ein Teil des Problems, mit dem sich Landwirte beim Einsatz von Informationstechnik konfrontiert sehen. In zunehmendem Maße müssen heute Daten ausgetauscht werden. Speziell die Weitergabe von Informationen an die staatliche Verwaltung oder zu Dokumentationszwecken ist hier zu nennen. In Zukunft müssen aber auch Daten, z. B. an den Landhandel beim Verkauf von Produkten, von Landwirt zu Landwirt, z. B. bei überbetrieblicher Arbeitserledigung oder an Dritte, die z. B. Dienstleistungen auf Basis betrieblicher Daten anbieten, weitergegeben werden. Dies ist mit den heutigen Strukturen des Informationsmanagements in der Landwirtschaft nur schwer möglich und kaum zu automatisieren.

Ein Ziel von *pre agro* war es deshalb, Anforderungen an das Informationsmanagement mit dem Leitbild der "Informationsgeleiteten Pflanzenproduktion" zu erarbeiten und daraus Möglichkeiten für zukünftige Strukturen und Architekturen abzuleiten. Diese Ziele wurden im Projektbereich 2 bearbeitet.

Geht man davon aus, dass eine solche Infrastruktur vorhanden ist, in der Daten aus verschiedenen Quellen für verschiedene Applikationen verwendet werden können, so kommt der Erfassung der Daten eine besondere Rolle zu. Ein großer Teil der notwendigen Informationen für Betriebsführung, Precision Farming, Dokumentation und viele weitere Anwendungsmöglichkeiten entsteht bei der Erledigung der Feldarbeiten:

- Informationen über den Boden durch Zugkraftwerte bei der Bodenbearbeitung
- geographisch referenzierte Informationen über Ertrag oder Inhaltsstoffe bei der Ernte
- Applikationskarten bei Düngung und Pflanzenschutz
- Pflanzen- und Bodeninformationen bei der Überfahrt mit Sensoren.

Eine Möglichkeit zur Erfassung dieser Daten bietet die Automatische Prozessdatenerfassung (AUERNHAMMER et al. 2000). Um diese Daten effektiv nutzen zu können, ist es notwendig, diese ent-

sprechend der gegebenen Fragestellungen zu analysieren und aufzubereiten. Zusätzlich müssen Schnittstellen geschaffen werden, um die gewonnene Information in die Entscheidungsfindungsprozesse des Landwirts einzuschleusen.

Das Ziel im Teilprojekt 8 ist es deshalb, Methoden zu entwickeln, wie Prozessdaten aus der Arbeitserledigung mit Maschinen in die vom PB 2 vorgeschlagene Architektur und damit in inner und - überbetriebliche Informationsflüsse integriert werden können.

5.3.2 Vorgehensweise

Zunächst wurde innerhalb des PB 2 ein Architekturmodell ausgearbeitet, das sowohl die Anforderungen der Landwirte als auch die Möglichkeiten der Informationstechnologie berücksichtigt. Dafür wurde zunächst durch die Teilprojekte im Projektbereich 2 der Stand des Wissens und der Technik in den verschiedenen IT-Bereichen evaluiert. Basierend darauf wurde ein Gesamtmodell zum Informationsaustausch für die Landwirtschaft mit Focus auf Precision Farming erstellt. Es wurden Technologien zur Umsetzung ausgewählt und ausgewählte Anwendungsfälle beispielhaft implementiert. Das Teilprojekt 8 berücksichtigt dabei die speziellen Anforderungen bei der Integration von Prozessinformationen in betriebliche Informationsflüsse und implementiert einen Prozessdatenservice als einen Anwendungsfall.

5.3.2.1 Stand des Wissens

5.3.2.1.1 Informationstechnologie

5.3.2.1.1.1 Verteilte Anwendungen

Ein vielversprechendes Konzept ist das der Service Orientierten Architektur (SOA), das nach (DOSTAL et al. 2005) der nächste logische Schritt nach objektorientierter Programmierung und komponentenbasierter Softwareentwicklung ist. Für die Implementierung einer Service Orientierten Architektur kommen verschiedene Technologien (z. B. CORBA, DCOM) zum Einsatz. Am häufigsten werden Web Services verwendet. Darin können einzelne Funktionen gekapselt werden. Dies kann das Liefern von Daten, die Analyse oder Verarbeitung von bestimmten Informationen, aber auch nur die Konvertierung in ein anderes Datenformat sein.

Applikationen werden durch die Anbindung an verschiedene Services flexibel und sind so an die spezifischen Anforderungen des Nutzers anpassbar. Die Grenzen der Applikation werden verwischt, da der Aufruf einer Funktion unabhängig von Ort, Betriebssystem und Software möglich ist. Web Service Technologien eignen sich in besonderem Maße für die Realisierung komplexer, dynamischer und unternehmensübergreifender Vorgänge in Geschäftsprozessen (WIEHLER 2004). Weitere Vorteile sind die Flexibilität beim Softwareentwurf, die Wiederverwendbarkeit von Komponenten, Möglichkeiten der Vernetzung und Integration sowie Erleichterungen bei der Implementierung neuer Geschäftsprozesse. Einzelne Bestandteile und Funktionen von Anwendungen werden über die Anwendungs- und Betriebsgrenzen hinweg wieder verwendbar.

Web Services werden bereits heute erfolgreich eingesetzt. Auch große Softwarehäuser wie SAP, Microsoft oder Oracle setzen zunehmend SOA-Komponenten in ihrer Software ein. Mittelständische Unternehmen bieten spezielle und zum Teil branchenspezifische Bausteine an, mit denen z. B. SAP an die Bedingungen eines Unternehmens angepasst werden kann.

Die zunehmenden Bandbreiten für Internet und Mobilfunk wird zudem durch die Datenübertragung bei der Anbindung weltweit verteilter Services erheblich vereinfacht.

5.3.2.1.1.2 Standardisierte Schnittstellen

Verteilte Anwendungen als auch die generelle Notwendigkeit zum Datenaustausch erfordern die Nutzung standardisierter Schnittstellen. Vielfach kommt hier XML zum Einsatz. Basierend auf dieser Technologie wurde auch agroXML (DOLUSCHITZ et al. 2005) als Datenaustauschformat für die Landwirtschaft entwickelt. Es handelt sich dabei um eine deutsche Initiative unter Federführung des KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft). Grundgedanke ist die Einmaldokumentation. Es sollen einmal erfasste Daten mehrfach genutzt werden und so Informationen ohne wiederholte Erfassung oder Eingabe an Verwaltung, Abnehmer oder Berater weitergegeben werden können.

5.3.2.1.2 Prozessdatenerfassung

Seit dem Einzug der Elektronik in Landmaschinen stehen vermehrt Messwerte verschiedener Sensoren direkt auf der Maschine zur Verfügung. Dies sind zunächst z. B. Spannungen, Drücke oder Winkel, die anfangs nur innerhalb geschlossener Regelkreise verwendet wurden (z. B. elektronische Hubwerksregelung). Mit zunehmender Signalverarbeitung auf der Maschine, stehen auch Messwerte zur Verfügung, die aus einer Reihe von Sensorwerten generiert werden, wie z. B. die Daten einer Wiegeeinrichtung eines Düngerstreuers, Ertragsdaten in Erntemaschinen oder Zugkräfte bei der Bodenbearbeitung.

Um nun zu einer nutzbringenden Aufzeichnung dieser Daten zu kommen, ist der Einsatz von zwei Schlüsseltechnologien des Precision Farming (AUERNHAMMER et al. 2000) notwendig. Zum einen ist dies ein Global Navigation Satellite System (GNSS), um die erfassten Daten eindeutig einem geographischen Ort zuordnen zu können. Hier kommt heute hauptsächlich das Global Positioning System (GPS) NAVSTAR zum Einsatz. Die zweite Schlüsseltechnologie ist ein genormtes Kommunikationssystem auf der landwirtschaftlichen Arbeitsmaschine, das es ermöglicht, auf standardisiertem Wege Daten von Maschinen und Geräten abzufragen und zu speichern. Dies war zunächst das Landwirtschaftliche Bus System (LBS) auf Basis der Norm DIN 9684 (AUERNHAMMER 1989). AUERNHAMMER et al. (2000) stellten ein System zur Automatischen Prozessdatenerfassung in LBS vor (Abbildung 133).

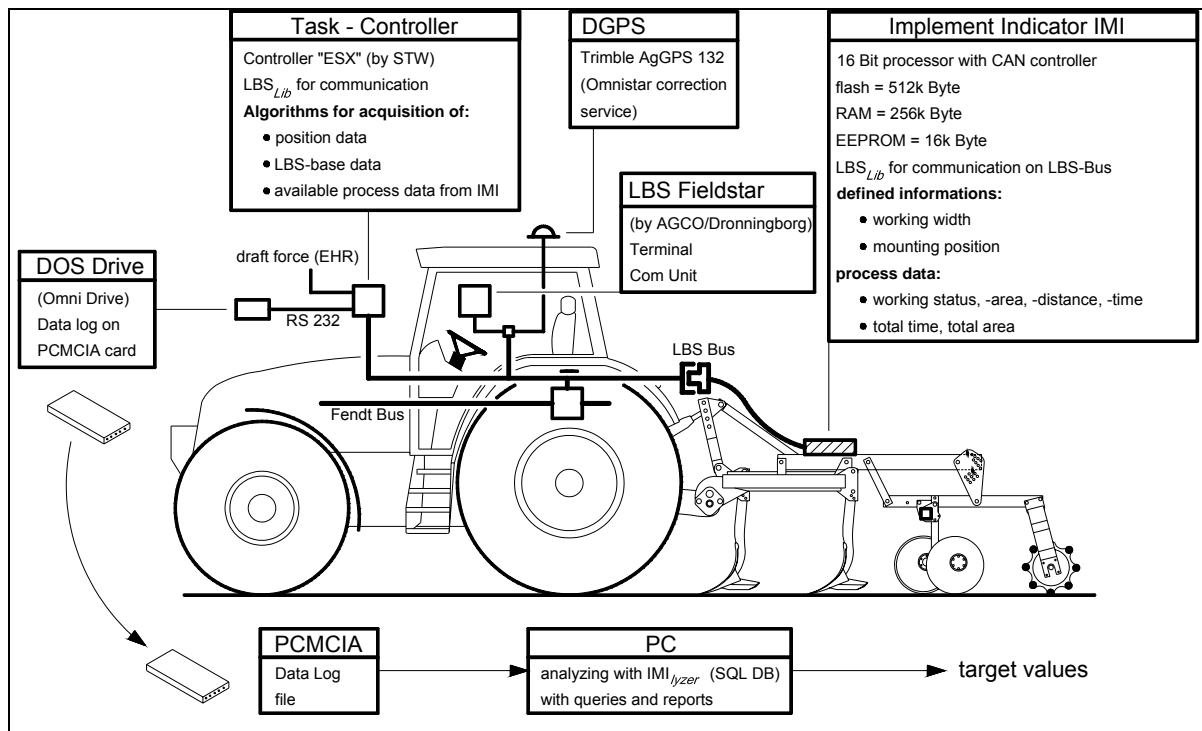


Abbildung 133: System zur automatischen Prozessdatenerfassung (AUERNHAMMER et al. 2000)

Figure 133: System for automated process data acquisition (AUERNHAMMER et al. 2000)

Ein TaskController sammelt als zentrales Aufzeichnungsgerät die Daten der im LBS verbundenen Maschinen und speichert diese in Verbindung mit den Positions- und Zeitangaben. Auch Geräte ohne eigenen Jobrechner sind durch den Einsatz eines Implement Indicators (IMI[®]) in der Lage Daten zu liefern.

LBS wurde durch die internationale Norm ISO 11783 (ISOBUS) abgelöst. Die für eine automatische Prozessdatenerfassung wichtigen Mechanismen wurden im Grunde beibehalten und sind im Teil 10 der Norm festgeschrieben. Zusätzlich wird dort ein XML-Datenformat beschrieben, über das Daten zwischen "Mobile Implement Control System" (MICS), also der Arbeitsmaschine und "Farm Management Information System" (FMIS), d. h. der Betriebsmanagementsoftware des Landwirts, ausgetauscht werden können.

Die Basis einer internationalen Norm, die mit Beteiligung verschiedener Hersteller von landwirtschaftlichen Maschinen entstand, sichert die breite Akzeptanz dieser Technologie zur Datenerfassung. Durch die Verwendung standardisierter Kommunikation lassen sich Informationen von verschiedenen Geräten und unterschiedlicher Software auf den Maschinen über eine festgelegte Schnittstelle austauschen. Dies ist Voraussetzung für eine möglichst vollständige Datenerfassung. Die Datenerfassung innerhalb des zu erarbeitenden Systems sollte deshalb auf ISOBUS basieren.

5.3.2.1.3 Prozessdatenverarbeitung

Zur Verarbeitung der aus der automatischen Prozessdatenerfassung gewonnenen Daten erstellte ROTHMUND (2001) ein erstes Analysetool. Dieses basierte auf MS Access[®] und stellte verschiedene tabellarische und grafische Auswertungen der erfassten Arbeitsprozesse zur Verfügung. Aufgrund der Menge der Daten und der Komplexität der zur Verarbeitung notwendigen Abfragen stellte sich das gewählte Datenbankmanagementsystem als zu wenig leistungsfähig heraus. Deshalb wurde der Ansatz der web-

basierten Verarbeitung von Prozessdaten vorgeschlagen und in einem weiteren Schritt umgesetzt (ROTHMUND 2004). Vorteile dieses Vorgehens sind vor allem die Zeiteinsparung für den Landwirt und der Schutz vor Fehlbedienung bei der Verarbeitung der Daten. Softwareupdates sind leichter durchzuführen. Die Datensicherheit wurde unterschiedlich bewertet. Zum einen sind die Daten durch professionelle Backupsysteme gut vor Verlust geschützt. Zum anderen muss ein hoher Aufwand betrieben werden, um die Daten vor unberechtigtem Zugriff zu schützen. Der Hauptvorteil entsteht aber durch eine echte Datenvernetzung, die erst durch eine das Bereitstellen der Daten auf einem über das Internet erreichbaren Server realisiert werden kann.

Mit dem System konnten zwar die meisten der gesetzten Ziele erreicht werden. Aufgrund fehlender Standardisierung der Schnittstellen konnten die Vorteile der Datenvernetzung nicht vollständig genutzt werden. Die Idee einer webbasierten Prozessdatenverarbeitung scheint also zielführend, muss aber um die Forderung nach standardisierten Datenschnittstellen ergänzt werden.

5.3.2.2 Folgerungen aus vergangenen und aktuellen Entwicklungen

Sowohl aus der heute üblichen Praxis als auch aus den Erfahrungen aus verschiedenen Forschungsprojekten lassen sich Forderungen ableiten, die zur Orientierung bei der Entwicklung von Lösungsansätzen für das Informationsmanagement in der informationsgeleiteten Pflanzenproduktion und im speziellen für die Integration von Prozessdaten in die betrieblichen Informationsflüsse dienen können:

- Nur durch eine automatisierte Datenerfassung ist es möglich, Maschinendaten als umfangreiche Informationsbasis zu nutzen. Dabei sichert die Nutzung der Schlüsseltechnologien GNSS die eindeutige geographische Zuordnung. Die Verwendung standardisierter Kommunikation auf der Maschine (ISOBUS) ermöglicht den Zugriff auf das notwendige Spektrum an Größen, um auch teilflächenspezifisch ausgeführte Arbeitprozesse mit der erforderlichen Informationstiefe abbilden zu können.
- Die Menge und z. T. auch die Komplexität der Daten erfordert den Einsatz von spezialisierten und leistungsfähigen Systemen. Webbasierte Lösungen, bei denen Teilaufgaben auf Server mit leistungsfähiger Hardware ausgeführt werden, bieten sich an und haben sich bisher in Forschungsprojekten bewährt.
- Die derzeitigen Trends in der Informationstechnologie nutzen verstärkt die Möglichkeiten verteilter Anwendungen durch die Aufspaltung in kleinere Teile und ihre Bereitstellung als spezialisierte Services.

Zusätzliche Anforderungen, die vor allem bei der Konzeption der Infrastruktur und bei der Technikauswahl eine Rolle spielen, sind die Ansprüche von Precision Farming. MURAKAMI et al. (2007) haben dazu Anforderungen aus verschiedenen Quellen zusammengefasst. Im Folgenden sind einige davon aufgeführt:

- Management- und Decision Support Systeme müssen angepasst an die speziellen Anforderungen von Landwirten entwickelt werden.
- Die Systeme sollten einfache Benutzerschnittstellen haben und eine Anpassung an verschiedene Nutzerprofile ermöglichen. Gerade für unerfahrene Benutzer ist dies entscheidend.
- Für die Datenverarbeitung sind automatisierte und einfach zu nutzende Methoden notwendig. Zusätzlich sollten benutzerdefinierte Regeln integriert werden können.

- Benutzer sollen auf Wunsch vollen Zugang zu den Einstellungen für Verarbeitungs- und Analysefunktionen erhalten, um v. a. Experten die Möglichkeit zu geben, neue Lösungsansätze zu entwickeln.
- Computersysteme sollten stärker integriert und standardisiert aufgebaut werden, um Investitionen in Technik, Lernaufwand und den Bedarf an technischer Beratung möglichst gering zu halten.
- Eine einfache und nahtlose Integration und Zusammenarbeit mit anderen Softwarepaketen (v. a. Simulation) oder anderen Datenquellen (wie Wetter- oder Marktdaten) sollte durch offene Datenstandards, Schnittstellen und Protokolle sowohl lokal als auch über Internet unterstützt werden. Besonders für die Einbindung von alten Systemen und verteilten Anwendungen ist dies wichtig.

Diese Forderungen wurden bei der Entwicklung eines Konzeptes für das Informationsmanagement in der informationsgeleiteten Pflanzenproduktion in besonderem Maße berücksichtigt. Zusätzlich konnten Ideen und Anforderungen aus den Projektbereichen für Standort- und Bestandescharakterisierung, Bestandesführung sowie Wertschöpfungskettenmanagement in die Entwicklungsarbeiten integriert werden.

5.3.3 Ergebnisse

Ausgehend von der Analyse der vergangenen und aktuellen Entwicklungen wurde im Projektbereich 2 ein Vorschlag für eine mögliche Infrastruktur zum Management von Informationen für Precision Farming erarbeitet. Da Daten aus der Arbeitserledigung mit Maschinen eine wesentliche Datenquelle für Aufgaben des Betriebsmanagements und Precision Farming Anwendungen darstellen, wurde die Gewinnung von Daten aus der automatischen Prozessdatenerfassung als ein Anwendungsfall definiert. Im Folgenden wird zunächst eine mögliche Infrastruktur beschrieben und dann anschließend die Implementierung des landwirtschaftlichen Prozessdatenservice erläutert.

5.3.3.1 Infrastruktur

Für die Entwicklung einer Struktur für das Informationsmanagement steht der Landwirt im Zentrum. Als Unterstützung bei der Durchführung seiner Aufgaben dienen den Landwirten "Schlagkarteien" als zentrale Software. In der Regel bestehen diese aus einem zentralen Modul, das Funktionen wie Arbeitstagebuch, Nährstoffsaldo und Schlagdokumentation umfasst. Die Anpassung an die betriebspezifischen Bedingungen erfolgt durch die Freischaltung weiterer Module wie Pachtverwaltung, Maschineneinsatzplanung oder Planung teilflächenspezifischer Maßnahmen.

Zentrale Software für den Pflanzenbau wird für den Landwirt weiterhin die Schlagkartei bleiben, wenn auch die Bezeichnung Farm Management and Information System (FMIS), wie sie ISO 11783 geprägt hat dem wachsenden Einsatzspektrum eher Rechnung trägt. Mit der Verwendung von agroXML als Schnittstelle und der Bereitstellung von Web Services, die über diese Schnittstelle an die Schlagkartei angebunden werden können, werden Möglichkeiten geschaffen, spezielle Aufgaben aus der gewohnten Umgebung heraus durchführen zu können. Services können dabei vom Schlagkarteihersteller angeboten werden. Aber auch spezialisierte Firmen können ihre Dienstleistungen in einen Service einbetten und so mit hohem Bedienkomfort zur Verfügung stellen. Als Beispiel dafür wurde der Anwendungsfall einer Bodenbeprobung ausgearbeitet und ein Web Service für einen Bodenbeprobungsdienstleister getestet (NASH & KOFAHL 2006).

Steht eine standardisierte Schnittstelle für die Kommunikation zwischen Schlagkartei und Web Service zur Verfügung, so können auch Web Services untereinander darüber Daten austauschen. So können Services die Daten liefern mit solchen, die Daten verarbeiten, gekoppelt werden, um komplexe Operationen mit verteilten Datenbeständen durchzuführen. Abbildung 134 stellt diese Zusammenhänge dar. Die Bezeichnungen der Web Services sind als Beispiele zu verstehen.

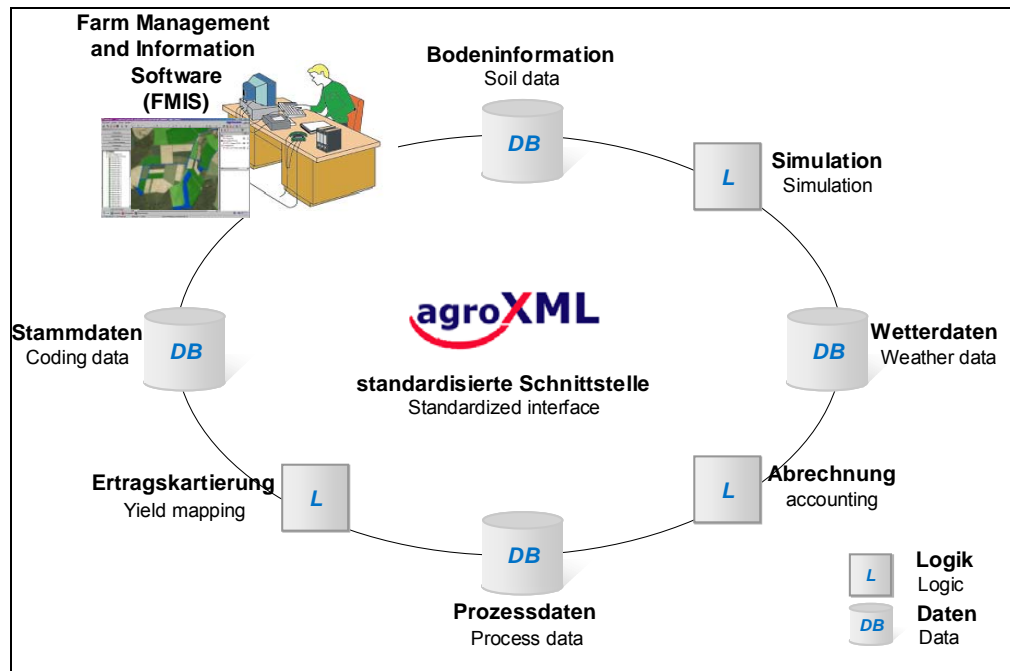


Abbildung 134: Vernetzung verteilter Logik und Daten durch eine standardisierte Schnittstelle

Figure 134: Data and functionality networking via standardized interface

Um den Datenaustausch für die verschiedenen Anwendungsfälle zu gewährleisten, wurde agroXML in *pre agro* weiterentwickelt. Speziell in der Abbildung georeferenzierter Informationen, die für Precision Farming unverzichtbar sind wurden neue Teile entwickelt (MARTINI et al. 2006). Dabei spielten auch Prozessdaten eine wichtige Rolle und es wurde ein agroXML-Dokument definiert, das genutzt wird, um teilflächenspezifisch durchgeführte Maßnahmen zu übertragen (STEINBERGER et al. 2007b).

5.3.3.2 Landwirtschaftlicher Prozessdatenservice

Der landwirtschaftliche Prozessdatenservice (STEINBERGER et al. 2006b) ist einer der spezialisierten Services innerhalb der vorgestellten Infrastruktur. Mit diesem Modul sollen aus Rohdaten, die durch die automatische Prozessdatenerfassung gewonnen werden managementrelevante Informationen generiert und über definierte Schnittstellen in inner- und überbetriebliche Informationsflüsse integriert werden.

Dazu müssen Daten zunächst auf der Arbeitsmaschine erfasst werden. Von dort werden die Daten an ein verarbeitendes System übertragen. Dabei gilt es sowohl die Belange von Datenformaten als auch Übertragungswegen und -mechanismen zu beachten. Das Kernstück eines solchen Service ist eine Komponente, die die Daten aufnimmt, analysiert und sowohl Rohdaten als auch Ergebnisse der Verarbeitung für die Nutzung bereit hält. Da die Nutzung der Daten dann auf einem physisch getrennten System stattfindet, ist eine erneute Übertragung der Daten notwendig. Auch hier gilt es sowohl in Be-

zug auf Datenformat und Übertragungswege auf die verschiedenen Anforderungen zu achten. Die Nutzung der Daten selbst kann auf verschiedenste Weise erfolgen, z. B. durch Web-Portale, die sich aus dem Datenbestand bedienen oder durch Schlagkarteien, die mit einem entsprechenden Zugriffsmechanismus ausgestattet sind. Abbildung 135 zeigt die fünf Komponenten des Systems und lässt den Datenfluss erkennen, wobei die Datennutzung über eine Farmmanagementsoftware lediglich als Beispiel zu verstehen ist.

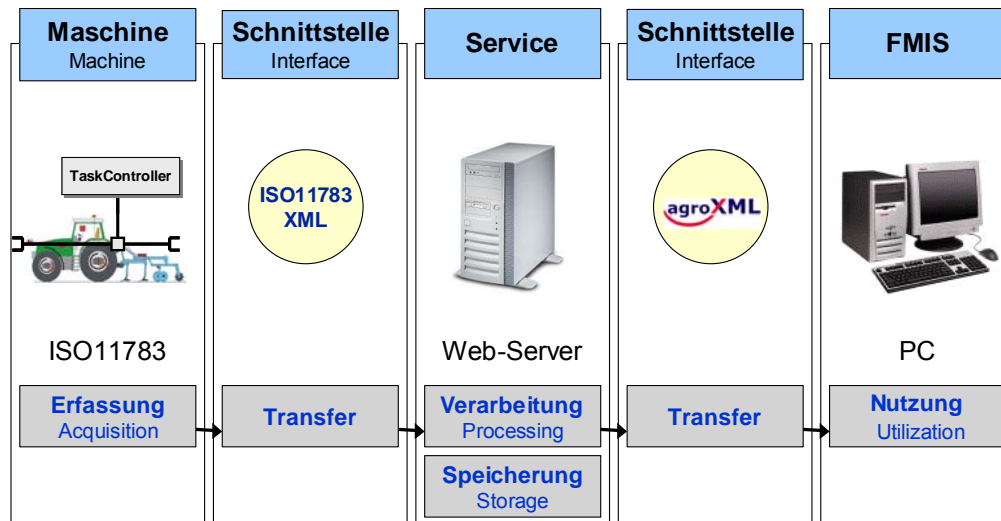


Abbildung 135: Komponenten und Datenfluss eines landwirtschaftlichen Prozessdatenservice

Figure 135: Components and data flow of an agricultural process data service

Im Folgenden werden nun diese einzelnen Komponenten mit ihrer Funktion und der Implementierung vorgestellt.

5.3.3.2.1 Datenerfassung

Für die Datenerfassung galt es v. a zwei Ziele zu realisieren. Zum einen sollte ein eigener technischer Ansatz für die automatische Prozessdatenerfassung entwickelt werden, der die Anforderungen, wie sie für die Datenerfassung in der informationsgeleiteten Pflanzenproduktion gestellt werden, erfüllt. Zum anderen sollten möglichst mit dem Start des Projekts Daten auf den Projektbetrieben erfasst und verarbeitet werden. Deshalb wurde basierend auf den Erfahrungen mit dem System zur automatischen Prozessdatenerfassung in LBS (AUERNHAMMER 2000) ein ISOBUS-TaskController entwickelt. Gleichzeitig wurde die Datenerfassung auf den Projektbetrieben mit kommerziell verfügbarer Technik realisiert.

5.3.3.2.1.1 Entwicklung von ISOBUS-Datenerfassungstechnik

Ausgehend von einem ISOBUS-Treiber, der am Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik der TU München bereits für mehrere Applikationen (Düngerstreuer, automatisches Lenksystem) erfolgreich eingesetzt wurde, wurde ein ISOBUS-TaskController entwickelt. Die Software wurde in der Programmiersprache C geschrieben und auf einem embedded Controller (C167 / ST10 Prozessor in einer ESX-C2C, Sensortechnik Wiedemann) ausgeführt. Um Lücken in Daten aufgrund von Bedienfehlern auszuschließen, wurde das Prinzip der vollständig automatisierten Datenerfassung verfolgt. Die Datenerfas-

sung erfolgt ohne Zutun des Fahrers und zeichnet mit einer Erfassungsfrequenz von 1 Hz Position, Zeit und Maschinenwerte, wie Geschwindigkeit, Zapfwellendrehzahl und Hubwerksposition auf. Um dennoch dem Fahrer die Möglichkeit zu geben, zusätzliche Daten einzugeben wurde eine Bedienoberfläche erstellt, die über ein Virtual Terminal angezeigt werden kann (Abbildung 136).



Abbildung 136: Prototyp eines ISOBUS-TaskControllers mit CPU und Darstellung auf einem Virtual Terminal
Figure 136: Prototyp of an ISOBUS-TaskController with CPU and graphical user interface on a virtual terminal

In Abbildung 137 wurden Daten des Systems (hier beispielhaft die Position des Heckkrafthebers) in einem GIS dargestellt und nach Wertebereichen eingefärbt.



Abbildung 137: Daten des ISOBUS-TaskControllers visualisiert mit Hilfe eines GIS
Figure 137: Data of an ISOBUS-TaskController in a GIS

Klar zu erkennen sind hier z. B. Wendemanöver mit ausgehobenem Gerät (rot). Aufgrund der geringen Speicherverfügbarkeit auf dem embedded Controller wurden die Daten über eine serielle Schnittstelle an einen PDA (TDS Recon) weitergeleitet und mit Hilfe eines Terminalprogramms gespeichert. Als Datenexportformat wurde das in der Norm ISO 11783 Teil 10 standardisierte XML-Format genutzt.

5.3.3.2.1.2 Datenerfassung auf den Projektbetrieben

Da auf den Projektbetrieben eine Datenerfassung von Beginn an gefordert war, konnte die Entwicklung eigener Technik nicht abgewartet werden. Zum Einsatz kamen deshalb MoDaSys-Datenerfassungsgeräte der Firma Riegger Telemetry Systeme (RTS). Die Geräte verfügen über keine ISOBUS-Schnittstelle, sind jedoch mit CAN-BUS-Modulen ausgestattet und können so auf Daten des internen Protokolls der Traktorhersteller Fendt und MF zugreifen. Damit sind die Geräte in der Lage die innerhalb des Kommunikationssystems des Traktors verfügbaren Daten aufzuzeichnen. Eine Erfassung von Gerätedaten ist jedoch nicht möglich.

Die Daten werden in einem proprietären, zeilenbasierten Format gespeichert. Das Erfassungsintervall variiert geschwindigkeitsabhängig von 30 Sekunden bis einer Minute.

Zum Auslesen der Daten aus den MoDaSys-Modulen kommen BlueTooth und GSM zum Einsatz. Eine an der Betriebstankstelle montierte BlueTooth-Einheit liest bei Kontakt die Daten aus. Erscheint ein Fahrzeug längere Zeit nicht an der Tankstelle kann der Auslesevorgang auch unabhängig von der Position des Traktors per GSM durchgeführt werden. Die Daten werden auf einem Server zur weiteren Verwendung gespeichert.

5.3.3.2.2 Datenverarbeitung

Das System zum Analysieren, Speichern und Bereitstellen der Daten wurde auf einem Server implementiert. Als Hardware kamen PC-Komponenten zum Einsatz, da die Datenverarbeitungskapazitäten lediglich auf die zwei Projektbetriebe auszurichten waren.

Als Betriebssystem wurde Suse Linux 9.2 genutzt. Bei der Implementierung der Komponenten und Funktionen des landwirtschaftlichen Prozessdatenservice wurde ausschließlich Open Source Software verwendet (Tabelle 42).

Tabelle 42: Open Source Softwarekomponenten und ihre Verwendung

Table 42: Open Source software components and implemented functions

Software	Funktion
PostgreSQL	Datenbank
PostGIS	Unterstützung für georeferenzierte Daten in PostgreSQL
Python	Programmiersprache, Implementation von Schnittstellen und Komponenten des Webportals
Deegree	OCG WebFeatureService
GeoServer	OGC-konformer WebFeatureService mit kml-Unterstützung zur Visualisierung der Daten in GoogleEarth
Zope	WebApplicationServer (Webportal)
Plone	Content Management System

Die Rohdaten werden zunächst über eine Importschnittstelle geladen und einer ersten Vorverarbeitung unterzogen. Danach werden die Daten in der Datenbank gespeichert und mit dort hinterlegten Funktionen analysiert. Damit stehen Rohdaten sowie die Ergebnisse der Analyse zum Abruf bereit. Der Zugriff erfolgt zum einen über eine Webservice-Schnittstelle und zum anderen über eine Webseite. Datenfluss und Zusammenspiel der Komponenten sind aus Abbildung 138 ersichtlich.

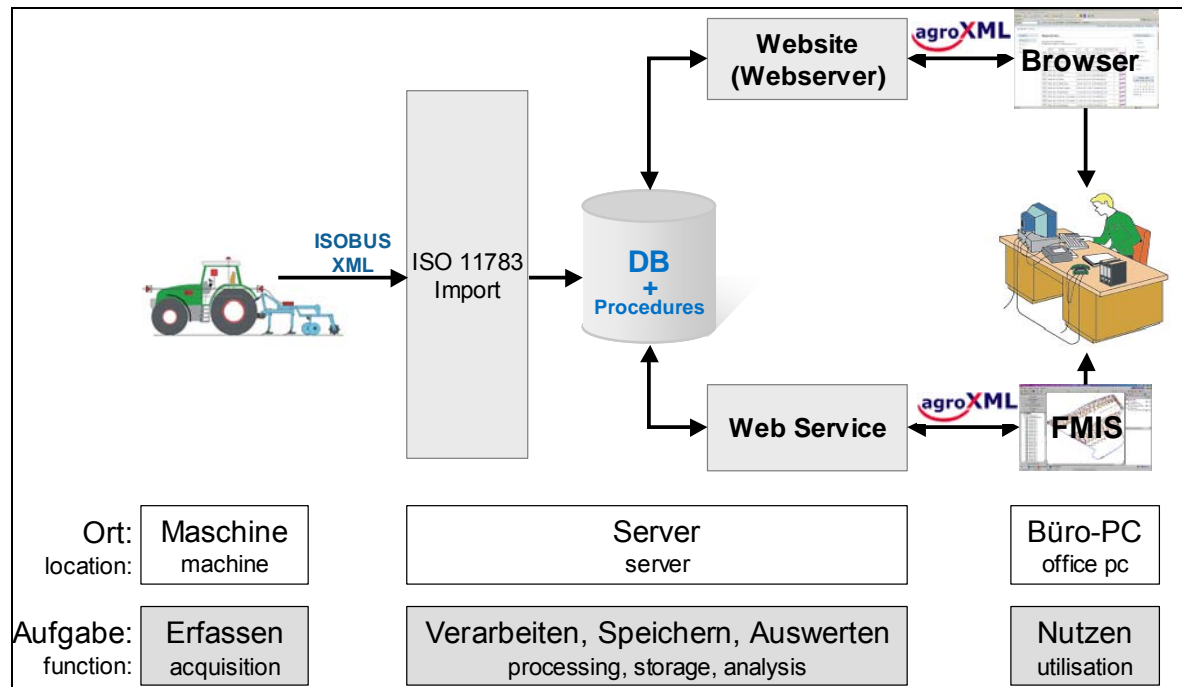


Abbildung 138: Datenfluss und Zusammenspiel der Softwarekomponenten

Figure 138: Data flow and interference of software components

5.3.3.2.1 Import

Das Lesen der Daten erfolgt durch ein Modul, das mit Python erstellt ist. ISOBUS-XML-Dateien werden mit einem SAX-Parser gelesen. Für die Daten des MoDaSys wurde ein eigener Parser erstellt. Nach diesen Komponenten werden die Inhalte in die gleiche Struktur gebracht. Es erfolgen Plausibilitätsprüfungen und die Umwandlung in von der Datenbank unterstützte Größen. Für die Anbindung an die Datenbank wird ein eigens erstelltes Modul verwendet, das "Query by Example" (QBE) unterstützt. Es basiert auf "psycopg", einem Datenbankadapter für PostgreSQL. Damit werden die Daten mit einigen Zusatzinformationen, wie Uploadzeit oder Anzahl der Datensätze, in die Datenbank geladen.

5.3.3.2.2 Verarbeitung

Kernstück der Anwendung ist die Datenbank. Aufgrund der Erweiterungsmöglichkeit durch PostGIS für räumliche Daten kommt die Datenbank PostgreSQL zum Einsatz. Damit ist es nicht nur möglich räumliche Informationen zu speichern, sondern diese auch mit Hilfe von PostGIS-Funktionen für weitergehende Analysen zu nutzen (z. B. Zuordnung von Prozessdatenpunkten zu Schlägen).

Das Schema der Datenbank ist auf der Seite der Rohdaten an die in ISO 11783 Teil 10 definierte Struktur angelehnt. Zusätzlich wurden ergänzende Komponenten eingeführt, um die Ergebnisse der

Analyse speichern zu können. Durch die Erfassung in ISOBUS ist für jeden Datenpunkt der Bezug zu einem Auftrag ("Task") vorgegeben. Dieser wird über eine Referenz für jeden Datensatz beibehalten, so dass ggf. Auswertungen auch in diese Richtung vorgenommen werden können. Um zu einheitlichen und nicht durch verschiedene Nutzer geprägten Arbeitseinheiten zu kommen, werden aus den Daten nach definierten Regeln "Maßnahmen" gebildet. Dies geschieht durch Algorithmen, die mit Hilfe von Strukturen und Funktionen der Datenbank realisiert wurden. So wurde z. B. eine Funktion zur Schlagerkennung implementiert, die jeden Datenpunkt einem Schlag zuordnet. Diese wurde mit der Spracherweiterung "plpgsql" unter Nutzung von räumlichen Funktionen erstellt und kann dann als sog. "Stored Procedure" durch SQL-Kommandos aufgerufen werden.

Als "Maßnahme" ist ein Prozess definiert, beim dem an einem Tag mit einer Maschinenkombination auf einem Schlag gearbeitet wurde. Zur Erstellung der Maßnahmen werden zunächst alle Überfahrungen von bekannten Grenzen, wie z. B. Schlaggrenzen gesucht. Die Zeit zwischen zwei Grenzwchseln wird als Arbeitseinheit definiert. Zeitliche Puffer verhindern das Anlegen zu vieler kurzer Arbeitseinheiten bei kurzfristigem Überfahren der Grenzen, wie z. B. Wenden auf dem Weg. Die Arbeitseinheiten mit gleichem Schlag, gleicher Maschinenkombination und am gleichen Tag werden zu "Maßnahmen" zusammengefasst. Somit steht für jeden Datensatz eine Zuordnung zu einer Maßnahme zur Verfügung und die Daten können entsprechend analysiert werden. So ist es möglich, Durchschnitte, Minima oder Maxima und Standardabweichungen zu ermitteln, um so zu Qualitätsangaben für durchgeführte Arbeiten zu kommen. Weiter können Analysen wie die Ermittlung der Wendezeiten oder der bei der Arbeit zurückgelegten Strecken vorgenommen werden.

Nach der Verarbeitung der Daten stehen also zum einen konkrete Ergebnisse der Analysen aber auch neu eingeführte Attribute für die Prozessgrößen zur Verfügung, die es erlauben, direkt auf Daten mit bestimmten Eigenschaften zuzugreifen.

5.3.3.2.3 Datenbereitstellung und Nutzung der Daten

Nach der Analyse liegen die Daten in der Datenbank zum Zugriff bereit. Dieser erfolgt grundsätzlich über SQL. Bei der Nutzung der Informationen kommen jedoch verschiedene Applikationen zum Einsatz, die sich hauptsächlich durch ihre Zielsetzung unterscheiden. Um verschiedensten Applikationen die Möglichkeit zu geben über eine definierte Schnittstelle zuzugreifen, wurde ein Web Service implementiert, der als "Maschinenschnittstelle" Anfragen entgegennimmt und Daten ausliefert. Als Datenformat kommt agroXML zum Einsatz. Um Nutzern ohne Software mit dieser Schnittstelle eine Möglichkeit zum Zugriff zu geben und um eine schnelle Visualisierungsmöglichkeit zu schaffen wurde zusätzlich ein Webportal als "Menschenschnittstelle" erstellt, durch das der Nutzer direkten Zugriff auf die Daten erhält.

5.3.3.2.3.1 Webportal

Für die Erstellung des Webportals wurde Zope verwendet. Ergänzend dazu kommt Plone als Content Management System zum Einsatz. Nach der Anmeldung hat der Nutzer die Möglichkeit über verlinkte Tabellen zu den gewünschten Daten zu navigieren. Dort wird eine Tabelle mit den Maßnahmen, die den gewählten Kriterien entsprechen angezeigt (Abbildung 139).

Navigation: Daten, Maschinen, Maschinennummern, Schläge, pre agro, Prozessdatenservice, Aufbau, Partner, Software

NACHRICHTEN: Wetter...


Januar 2008

	Datum	Schlag	von	bis	Traktor	Geraet	Datensaezte	Typ
Info	2002-08-30	D13	08:10:27	10:51:00	Deutz	4-Schar Vollandpflug	9204	Bodenbearbeitung
Info	2002-09-04	D04	09:35:21	20:58:25	Deutz	Lemken Grubber	20940	Bodenbearbeitung
Info	2002-09-04	D03	09:35:38	19:27:49	Deutz	Lemken Grubber	23330	Bodenbearbeitung
Info	2002-09-06	D04	08:23:02	16:53:40	Deutz	Lemken Grubber	15460	Bodenbearbeitung
Info	2002-09-06	D08	14:46:46	16:50:40	Deutz	Lemken Grubber	12696	Bodenbearbeitung
Info	2002-10-24	D01	08:21:15	21:07:11	Deutz	4-Schar Vollandpflug	2874	Bodenbearbeitung
Info	2003-08-18	D04	07:36:14	20:13:41	Deutz	4-Schar Vollandpflug	49108	Bodenbearbeitung
Info	2003-08-19	D04	13:43:31	19:17:30	Deutz	4-Schar Vollandpflug	18348	Bodenbearbeitung
Info	2003-08-21	D02	06:09:21	18:42:49	Deutz	4-Schar Vollandpflug	8656	Bodenbearbeitung

Alle gelisteten Jobs

Abbildung 139: Webportal mit tabellarischer Übersicht von Maßnahmen

Figure 139: Web portal with tabular view of work processes

Die Darstellung liefert die wichtigsten Informationen über eine Maßnahme, das Datum, Beginn und Ende, den betroffenen Schlag und eingesetzte Maschinen. In den ersten und den letzten drei Spalten finden sich Links, die einen Direktzugriff auf eine Maßnahme ermöglichen. Während ein Klick auf den Button "Info" nähere Informationen zur Maßnahme, sowie eine genauere Analyse der Prozessdaten liefert, bieten die verlinkten Symbole eine weitere Möglichkeit zur Visualisierung. Ein Klick auf das Symbol  öffnet das WebGIS, das im Rahmen des Projekts von der Firma geo-konzept erstellt wurde (Abbildung 140). Dort können auch weitere Schlagumrisse eingetragen werden.

Preagro - Prozessdatenmanagement online
zur Verfügung gestellt von geo-konzept

Besucher: webgis


in der Karte anzeigen: jobs schlaege Karte aktualisieren Daten übernehmen und Speichern Fenster schließen (ohne Speichern)

jobid	starttime	endtime	idarea	tractor	implement	jobtype	driver
731	20.09.2003	20.09.2003	20	Fendt Vario	Jakobi Anhangfeldspritze	Pflanzenschutz	
732	09.35.55	22.54.26	20	Fendt Vario	Jakobi Anhangfeldspritze	Pflanzenschutz	
365	25.04.2003	25.04.2003	16	Fendt Favorit	Jakobi Anhangfeldspritze	Pflanzenschutz	
365	18.03.2003	18.03.2003	16	Fendt Favorit	Jakobi Anhangfeldspritze	Pflanzenschutz	
460	18.03.2003	20.11.08	822	Fendt Favorit	Jakobi Anhangfeldspritze	Pflanzenschutz	
460	31.03.2003	31.03.2003	14	Fendt Favorit	Jakobi Anhangfeldspritze	Pflanzenschutz	
460	17.02.29	17.04.00	218	Fendt Vario	Jakobi Anhangfeldspritze	Pflanzenschutz	
460	22.04.2004	22.04.2004	12	Fendt Vario	Jakobi Anhangfeldspritze	Pflanzenschutz	
460	13.47.30	17.46.59	716	Fendt Vario	Jakobi Anhangfeldspritze	Pflanzenschutz	

flächen	idarea	name	owner	areatvpe	
6	D24	Duemast		Löschen	
12	D13	Duemast		Löschen	
20	D01	Duemast		Löschen	
7	D23	Duemast		Löschen	
8	D22	Duemast		Löschen	
9	D21	Duemast		Löschen	
4	S04	Duemast		Löschen	
10	D00	Duemast		Löschen	
11	D18	Duemast		Löschen	
13	D09	Duemast		Löschen	
14	D08	Duemast		Löschen	
15	D07	Duemast		Löschen	
16	D05	Duemast		Löschen	
17	D04	Duemast		Löschen	
18	D03	Duemast		Löschen	
19	D02	Duemast		Löschen	

Abbildung 140: WebGIS zur georeferenzierten Darstellung von Maßnahmen

Figure 140: WebGIS for spatial visualisation of work processes

Bei einem Klick auf das Symbol  wird im Hintergrund eine kml-Datei generiert und zum Download angeboten, die dann in GoogleEarth geöffnet werden kann, um die Maßnahme zu visualisieren (Abbildung 141).

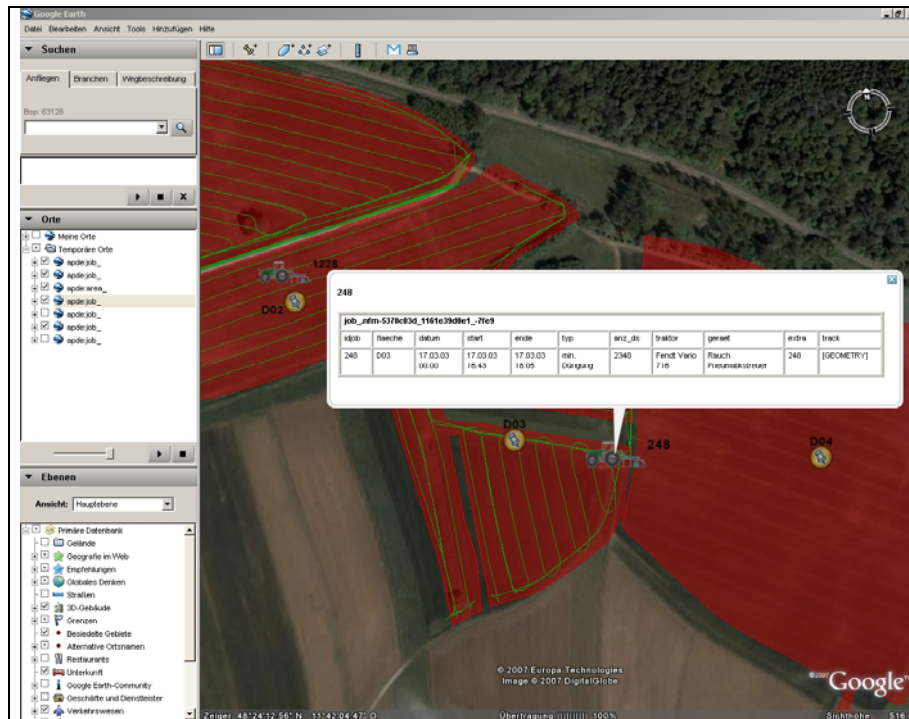



Abbildung 141: Visualisierung von Prozessdaten in GoogleEarth

Figure 141: Visualisation of process data with GoogleEarth

Auch die Schlagumrisse können zur besseren Übersichtlichkeit hinterlegt werden. Bei einem Klick auf ein Symbol werden die zur Geometrie gehörigen Daten angezeigt, wie hier die Daten der Maßnahme.

Zur Realisierung der GoogleEarth-Schnittstelle wurde Geoserver in der Version 1.5.1 genutzt, der eine WFS-Schnittstelle zur Verfügung stellt, die als Ausgabeformat zusätzlich das von GoogleEarth lesbare KML-Format liefert.

In der letzten Spalte der Tabelle auf der Webseite wird mit dem Symbol  eine Schnittstelle zum manuellen Download von agroXML-Dateien angeboten (STEINBERGER et al. 2007a), die dann beispielsweise in einer Schlagkartei eingelesen und weiter genutzt werden können.

5.3.3.2.3.2 Web Service

Während die Schnittstelle über die Webseite hauptsächlich der Visualisierung oder zum Download bestimmter Maßnahmen dient und keine Automatisierungsmöglichkeit bietet, wie sie aber im Entwurf der Infrastruktur gefordert wird, wurde ein Web Service basierter Zugriff auf die Daten als zweite Schnittstelle geschaffen. Als Web Service kommt hier deegree (deegree 2007) zum Einsatz. Die WFS-Schnittstelle wurde genutzt, um Maßnahmen mit Attributen wie Traktor, Maschinen oder Zeiten, sowie Schlägen und Prozessdaten mit verschiedenen Attributen und ihrer Geometrie zu übertragen. Der Abruf der Information kann nun mit einem WFS-Client erfolgen. Dieser wurde von agrocom in die Schlagkartei agroNET NG integriert, so dass sich die Schlagkartei selbst mit Daten versorgen kann,

indem sie ihren Datenbestand mit dem des Prozessdatenservice abgleicht und die noch nicht vorhandenen Maßnahmen herunter lädt. Abbildung 142 zeigt die Visualisierung von Daten des Prozessdatenservice in dem in der Schlagkartei agroNET NG integrierten GIS.

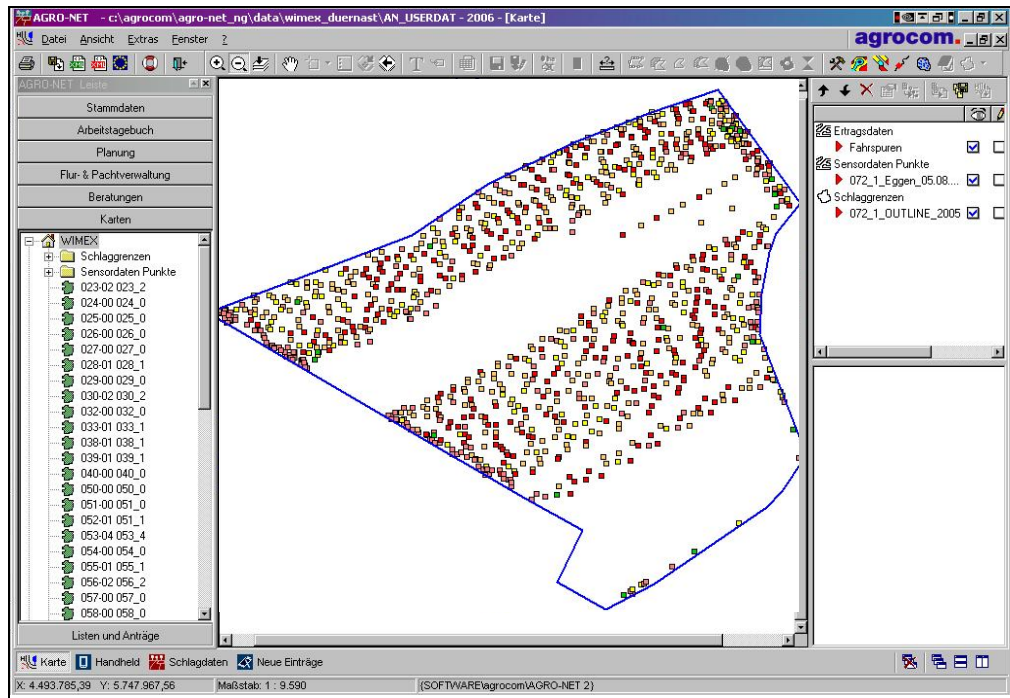


Abbildung 142: Visualisierung von Prozessdaten in der Schlagkartei agroNET NG nach download über Webservice-Schnittstelle

Figure 142: Visualisation of process data loaded via web service interface with farm management system agroNET NG

5.3.4 Diskussion

In *pre agro* konnte ein landwirtschaftlicher Prozessdatenservice als Teil einer Infrastruktur für Informationsnutzung und -management für Precision Farming gezeigt werden. Die von ROTHMUND (2004) vorgeschlagene Nutzung standardisierter Schnittstellen, um die Daten eines Prozessdatenservice für die Verwendung verfügbar zu machen, konnte realisiert werden. Somit ist es möglich, vor allem komplexe und ressourcenintensive Arbeitsschritte bei der Nutzung von Prozessdaten auf einen spezialisierten Service auszulagern. Damit werden die Bedingungen geschaffen, die eine Konzentration des Landwirts auf seine eigentlichen Fragestellungen erlauben. Das Speichern der Daten, die komplexen Analysen und die Bereitstellung der Daten erfolgen in einem vom Büro des Landwirts abgetrennten System. Die Wartung und Anpassung der Software wird dadurch einfacher und das notwendige IT-Wissen reduziert sich für den Landwirt.

Besondere Bedeutung für den Prozessdatenservice hat die Datenerfassung. Durch die Erfassungsfrequenz und die Bandbreite der erfassbaren Größen wird das Potenzial der Datenanalyse bereits vorgegeben. Die durch die mit MoDaSys realisierte Datenerfassung mit einem Datensatz pro 30 Sekunden ist zwar zur Bildung von Maßnahmen ausreichend, die Berechnung von Kennzahlen, wie z. B. Wendezeiten, ist aber bereits nicht mehr aussagekräftig. Für die Nutzung im Precision Farming sind diese Daten nicht geeignet, da zudem keine Möglichkeit besteht Gerätedaten zu erfassen. Allerdings hat der Hersteller zum Ende des Projekts erste vielversprechende Testläufe mit erhöhter Erfassungsfrequenz

und der Definition von Ereignissen, wie z. B. dem Ausheben eines Bodenbearbeitungsgerätes zum Aufzeichnen zusätzlicher Daten, durchgeführt. Die Daten aus diesen Versuchen konnten im Rahmen von *pre agro* nicht mehr verarbeitet werden. Die aus der Datenerfassung mit LBS bekannte Erfassungsfrequenz von 1 Hz konnte im Prototyp des ISOBUS-Taskcontrollers realisiert werden und liefert ausreichend Daten. Allerdings ist das anfallende Datenvolumen sehr hoch und bedarf der Entwicklung von angepassten Archivierungsstrategien. Trotz der Möglichkeiten der ISOBUS-Schnittstelle gestaltete sich die Erfassung von Gerätedaten auch hier schwierig, da noch sehr wenige Hersteller ihre Geräte mit entsprechenden Komponenten im ISOBUS-Treiber ausgestattet haben. Allerdings zeigten auf der Landtechnikmesse Agritechnica 2007 vorgestellte Geräte hier vielversprechende Ansätze, so dass in Zukunft mit ISOBUS eine einfache Erfassung von Gerätedaten möglich sein wird.

Für die Datenanalyse konnten einige Algorithmen beispielhaft implementiert werden. Um das Potenzial, das diese Daten bieten, auszuschöpfen, ist es notwendig, weitere auf verschiedene Anwendungsfälle zugeschnittene Analysestrategien zu entwickeln. So zeigte AUGSBURGER (2002) die Möglichkeiten einer spezialisierten Datenauswertung bis hin zur teilschlagspezifischen Berechnung des Deckungsbeitrags für den Bereich der Ökonomie. Anwendungen wie das Flottenmanagement oder die Nutzung von Zugkraftwerten für die Erschließung von Bodenparametern erfordern differenzierte Auswertungen. Diese sind zu entwickeln und die vorhandenen Algorithmen in einen Prozessdatenservice zu integrieren, um das volle Potenzial zu erschließen. Bei der Bereitstellung der für verschiedene Anwendungsfälle vorbereiteten Daten können die Strategien des Data Warehousing (INMON 2001, CHAMONI 2006) wertvolle Impulse geben, um trotz der Datenmenge die notwendigen Zugriffszeiten zu erreichen.

Der auf einer Webseite basierende Zugriff auf die Daten ermöglicht die Nutzung des Services auch ohne eine Schlagkartei mit entsprechender Funktionalität. Zudem ist dies ein geeignetes Mittel, um Konfigurationen für die Verarbeitung der Daten vorzunehmen, ohne dafür spezielle Strukturen innerhalb einer Webserviceschnittstelle schaffen zu müssen. Auf der Website ist zudem eine schnelle Visualisierung der aus den Prozessdaten gewonnenen Informationen möglich. Dies zeigen die tabellarischen Übersichten, aber auch GIS-basierte Darstellungen im integrierten WebGIS oder GoogleEarth.

Bei der Realisierung der standardisierten Schnittstelle wurde innerhalb von agroXML ein eigenes Profil für die Übertragung von Prozessdaten geschaffen. Da agroXML in der Lage sein muss Daten verschiedenster Anwendungsfälle abzubilden, ist die Struktur generisch. Im Gegensatz dazu sind die Datenstrukturen innerhalb des Prozessdatenservice auf die Anforderungen des Speicherns und der Verarbeitung abgestimmt. Entsprechend hoch ist der Aufwand der Transformation. Dies gilt auch für weitere spezialisierte Anwendungen wie Schlagkarteien. Innerhalb der vorgeschlagenen Infrastruktur für das Datenmanagement im Precision Farming ist agroXML allerdings das alleinige Datenformat für die Übertragung agrarspezifischen Inhalts. Dadurch können bei der Implementierung von agroXML-Schnittstellen für verschiedene Anwendungsfälle Softwarekomponenten wieder verwendet werden. Der schnittstellenspezifische Aufwand bei der Programmierung ist im Vergleich zur Nutzung mehrerer proprietärer Formate geringer. Eine Schnittstelle für einen weiteren Anwendungsfall lässt sich demnach mit wenig Aufwand realisieren, weil ein großer Teil der notwendigen Komponenten nur einmal erstellt werden muss und bereits in der Software enthalten ist.

Die bei der Nutzung von agroXML für den auf Webservices basierenden Datenaustausch aufgetretenen Probleme lassen sich vor allem auf die tiefe Strukturierung von agroXML und die damit verbundenen Konfigurationsschwierigkeiten bei den OGC-konformen Webservices zurückführen. Bei einer weiteren Entwicklung standardisierter Schnittstellen und Zugriffsmechanismen sollte deshalb auch auf

die Möglichkeit zur Verwendung von Standardwerkzeugen für die Implementierung von Webservices gesetzt werden.

Die vorgeschlagene Infrastruktur geht über die Nutzung eines standardisierten Datenformats hinaus. Webservices sind ein geeignetes und in der Softwareentwicklung immer beliebteres Mittel nicht nur die zu übertragenden Inhalte sondern auch die Mechanismen für die Übertragung zu standardisieren. Die Vorzüge einer serverbasierten Prozessdatenverarbeitung (STEINBERGER 2006a) lassen sich so mit den Vorteilen einer Service Orientierten Architektur (SOA) nutzen. Spezialisierte Services übernehmen die Verarbeitung von Daten während durch die Einbindung der Services in die Schlagkartei gewährleistet wird, dass der Landwirt die Steuerung des Datenflusses aus seiner gewohnten Umgebung vornehmen kann. Damit ist eine Orchestrierung des Services passend zur Arbeitsweise des Betriebes sichergestellt.

Ein landwirtschaftlicher Prozessdatenservice kann in sich viele Funktionen vereinen, die für auch für den "integrierten Pflanzenbau" ohne die Nutzung von Precision Farming Technologien von Interesse sind. So sind z. B. auftragsbezogene Abrechnung oder Flottenmanagement Funktionen, die die Aufmerksamkeit der Landwirte auf sich ziehen. Viele Funktionen sind aber für Precision Farming unabdingbar. Eine informationsgeleitete Pflanzenproduktion ist ohne die Nutzung einer spezialisierten Infrastruktur nur schwer möglich. So können für sehr viele der Landwirte interessante Funktionen genutzt werden, um Precision Farming einen zusätzlichen Schub zu verleihen.

Die im Projektbereich 2 implementierten Anwendungsfälle zeigen beispielhaft einige der Möglichkeiten dieses Infrastrukturentwurfes auf (NASH et al. 2007; siehe auch Kapitel 5.1 dieses Berichts).

5.3.5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die vorgeschlagene Infrastruktur ist eine Voraussetzung für die informationsgeleitete Pflanzenproduktion. Erst so wird es möglich, das Potenzial der verfügbaren Datenquellen und Methoden auszuschöpfen, ohne dabei dem Landwirt die Funktion eines IT-Experten zukommen zu lassen. Sie sichert die für die Anpassung an die einzelbetrieblichen Gegebenheiten notwendige Flexibilität. Der Einsatz spezialisierter, verteilter Services erlaubt die direkte Integration von Expertenwissen, so dass eine hohe Servicequalität zu erwarten ist. Wettbewerb zwischen verschiedenen Services wirkt dabei begrenzend auf die Kosten für den Landwirt.

Mit dem Prozessdatenservice wird innerhalb dieser Architektur eine der wichtigsten Datenquellen erschlossen. Im Rahmen des Teilprojektes 8 in *pre agro* konnten dabei die Hauptanwendungsbereiche für Prozessdaten aufgezeigt werden. Wichtige Funktionen wie die automatisierte Bildung von Maßnahmen und ihre Übertragung zur Schlagkartei wurden implementiert und auch Möglichkeiten der webbasierten Visualisierung demonstriert. Zusätzlich wurden weitergehende Potenziale der Datenverwendung, wie z. B. für die Rückverfolgbarkeit beleuchtet und auch implementiert (STEINBERGER et al. 2007c).

Diese und die im Projektbereich 2 implementierten Anwendungsfälle zeigen die Eignung für die Bewältigung der Herausforderungen des Informationsmanagements in der Landwirtschaft und die technische Umsetzbarkeit des Konzepts der Service Orientierten Architektur für diesen Bereich.

Gerade auch das Beispiel der Prozessdaten zeigt, in welcher Menge operative Daten bei der Nutzung moderner Informationstechnologien anfallen. Um aus dieser Datenflut gewinnbringende Informationen zu extrahieren, reichen die auf dem Büro-PC des Landwirts zur Verfügung stehenden Mittel nicht

mehr aus. Serverbasierte Anwendungen, die eine Betreuung durch IT-Experten zulassen werden damit an Bedeutung gewinnen.

Business Intelligence Technologien werden zum Einsatz kommen, um bei wachsender Datenmenge die notwendigen Informationen zu extrahieren. Vor allem zur Entscheidungsunterstützung wird dabei Online Analytical Processing (OLAP) eingesetzt.

Die dazu passenden Datenmodelle folgen dem Konzept des Data Warehouse. In Abbildung 143 wurde die Struktur eines Data Warehouse den Anforderungen von Prozessdaten angepasst.

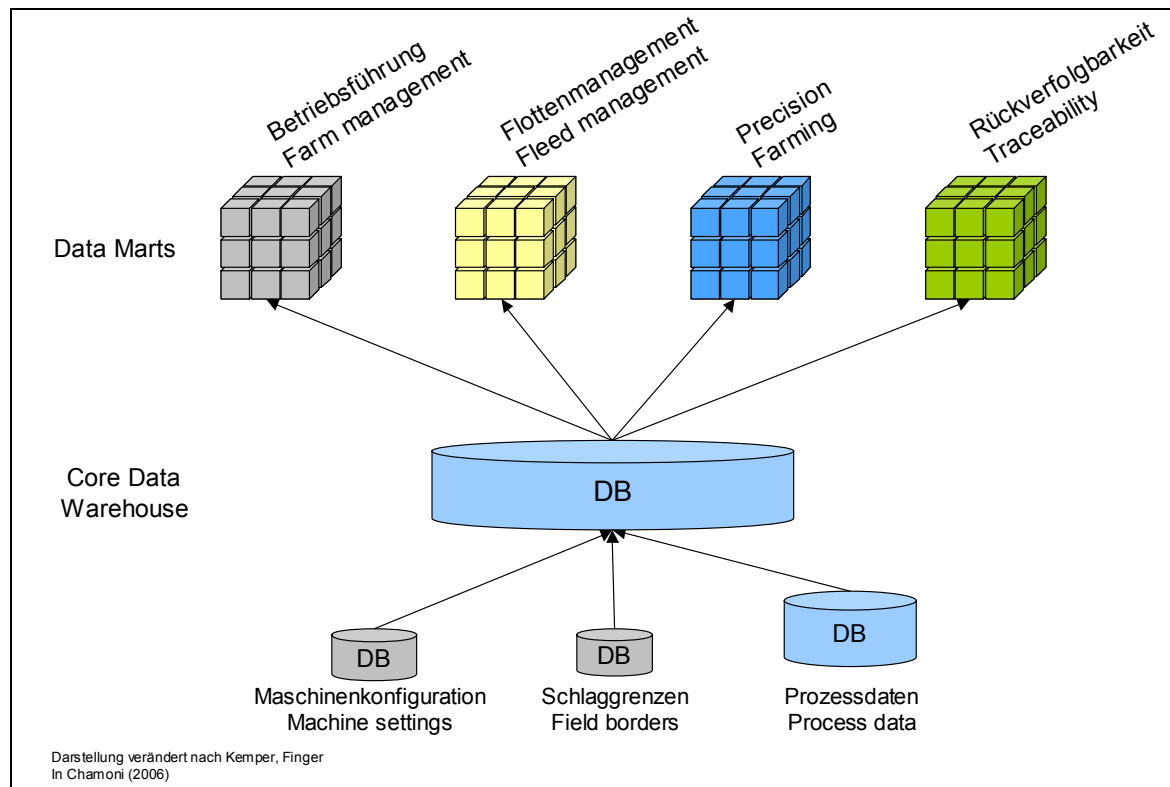


Abbildung 143: Data Warehouse Architektur angepasst für Prozessdaten

Figure 143: Data Warehouse architecture for process data

Zur Beschaffung von Zusatzdaten, von z. B. Schlägen oder Kunden zur Integration in das Core Data Warehouse, können dabei ebenfalls Webservices zum Einsatz kommen. Somit lässt sich der bisher vorgestellte Prozessdatenservice in zwei verschiedene Webservices aufteilen. Ein erster ist lediglich Lieferant von Prozessdaten mit einem sehr niedrigen Verarbeitungsgrad. Er nimmt die Daten der Maschinen auf und schafft durch Aggregation möglichst viele logische Kriterien, die die Suche innerhalb der Daten erleichtern. Dieser Service ist also in erster Linie Datenlieferant. Der zweite Service wäre dann der eigentliche Service, der die Funktionalität für die Prozessdatenverarbeitung zur Verfügung stellt. Er bedient sich verschiedener Datenquellen, die für die Analyse notwendige Informationen per Webservice liefern können. Die Zusammenführung der Daten und damit ihre Transformation in dispositive Daten erfolgt im Core Data Warehouse. Die notwendigen Schritte sind Filterung, Harmonisierung, Aggregation und Anreicherung (CHAMONI 2006). Da die Daten aber für die verschiedenen Anwendungsfälle unterschiedlich zusammengestellt werden müssen, können die Daten weiter aggregiert und in Data Marts zur Verfügung gestellt werden. Die darin enthaltenen Informationen können über

Webservices zur Verfügung gestellt werden. Somit kann der Prozessdatenservice je nach Zielsetzung der Anfrage speziell abgestimmte Informationen liefern:

- Betriebsführung: die seit dem letzten Abruf neu gebildeten Maßnahmen an eine Schlagkartei
- Precision Farming: um Stand-, Wende und Nebenzeiten bereinigte Werte eines von teilflächen-spezifischen Applikationen oder Ertragsmessungen zur weiteren Verarbeitung
- Flottenmanagement: spezielle, aktuelle Informationen mit geringem Datenvolumen
- Arbeitswirtschaft: Analysen der Einsatzspektren von Einzelmaschinen oder Flotten über frei wählbare Zeiträume
- überbetriebliche Arbeitserledigung: Basisdaten für eine automatisierte Abrechnung.

Diese Daten können den verschiedensten weiteren Services als Datengrundlage dienen, wobei die Verarbeitung der unterschiedlichen fachlichen Daten durch spezialisierte Services und damit von den jeweiligen Experten erfolgt. Diese Möglichkeit der Datenvernetzung kann sowohl zu einer steigenden Qualität der Analyseergebnisse als auch zu einem zusätzlichen Informationsgewinn durch das Zusammenführen verschiedener Informationen führen. Das in Prozessdaten enthaltene Potenzial lässt sich so voll zur Erfüllung der Anforderungen der Informationsgeleiteten Pflanzenproduktion nutzen.

Literatur

- AUERNHAMMER, H. (1989): Das Landtechnik-BUS-System für die mobile Prozeßtechnik (DIN 9684). Agrarinformatik, Band 16: "Referate der GIL-Tagung in Karlsruhe November 1989", S. 1 – 9.
- AUERNHAMMER, H. (2000): Das landwirtschaftliche BUS-System LBS und die Satellitenortung GPS als Schlüsseltechnologien für die Prozesssteuerung im Pflanzenbau. Referate der 21. GIL-Jahrestagung in Freising-Weihenstephan, Band 13, S. 6 – 9.
- AUERNHAMMER, H., M. DEMMEL & A. SPANGLER (2000): Automatic process data acquisition with GPS and LBS. Abstracts of AgEng Warwick 2000, Agricultural Engineering into the Third Millennium. Paper Number 00-IT-005.
- AUGSBURGER, C. (2002): Konzeption und Implementierung eines Leistungs-Kostenrechnungsmodells zur Auswertung kleinräumiger Daten. Dissertation, Technische Universität München, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt.
- BLACKMORE, B.S. & M. MOORE (1999): Remedial correction of yield map data. Precision Agriculture, Heft 1, S. 53 – 66.
- CHAMONI, P. (2006): Analytische Informationssysteme. Springer.
- Deegree: deegree – Free Software for Spatial Data Infrastructures. <http://www.deegree.org/>, Aufruf: 04.03.2007.
- DOLUSCHITZ, R., M. KUNISCH, T. JUNGBLUTH & C. EIDER (2005): agroXML – A Standardized Data Format for Information Flow in Agriculture. Proceedings of 2005 EFITA/WCCA joint Congress on IT in Agriculture, S. 439 – 443.
- DOSTAL, W., M. JECKLE, I. MELZER & B. ZENGLER (2005): Service-orientierte Architekturen mit Web Services, Elsevier, München.
- INMON, B. (2001): A Retrospective look at Data Warehousing. DMReview, Heft 2/2001.

- ISO 11783: Tractors and machinery for agriculture and forestry – Serial control and communication data network.
- MARTINI, D., C. SPIETZ & F. KLOEPFER (2006): Darstellung teilflächenspezifischer Maßnahmen in agroXML als Voraussetzung für die Verwendung im Bereich Precision Farming. Lecture Notes in Informatics, Referate der 26. GIL Jahrestagung, Potsdam.
- MURAKAMI, E., A.M. SARAIVA, L.C. RIBEIRO JUNIOR, C.E. CUGNASCA, A.R. HIRAKAWA & P.L. CORREA (2007): An infrastructure for the development of distributed service-oriented information systems for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 58, S. 37 – 48.
- NASH, E. & M. KOFAHL (2006): Specialist SDIs to Support business Processes. Shaping the future of Geographic Information Science in Europe, 9th AGILE International Conference on Geographic Information Science, S. 72 – 79.
- NASH, E., R. BILL & J. BOBERT (2007): Anwendungsfallanalyse für den Einsatz von GDI-Technologien in Precision Farming. *GIS-Zeitschrift für Geoinformatik*, Heft 11/2007, S. 12 – 19.
- ROTHMUND, M. (2001): Entwicklung eines SQL-basierten Auswertungsprogramms für die Automatische Prozessdatenerfassung mit LBS, GPS und IMI. Diplomarbeit, Technische Universität München, Fachgebiet Technik im Pflanzenbau.
- ROTHMUND, M. & H. AUERNHAMMER (2004): A web based information management system for process data designed with open source tools. *Proceedings of AgEng Leuven 2004, Engineering the future (CD-ROM)*.
- STEINBERGER, G., M. ROTHMUND & H. AUERNHAMMER (2006a): Serverbasierte Verarbeitung von Prozessdaten gemäss ISO11783 (ISOBUS). *Lecture Notes in Informatics, Referate der 26. GIL-Jahrestagung, 2006*, S. 289 – 292.
- STEINBERGER, G., M. ROTHMUND & H. AUERNHAMMER (2006b). *Agricultural Process Data Service (APDS). Agricultural Engineering for a Better World, Proceedings of XVI CIGR World Congress, Bonn (CD-ROM)*.
- STEINBERGER, G. C. SPIETZ & M. ROTHMUND (2007a): Implementierung einer agroXML-Schnittstelle für landwirtschaftliche Prozessdaten. *Agrarinformatik im Spannungsfeld zwischen Regionalisierung und globalen Wertschöpfungsketten, Referate der 27. GIL Jahrestagung, 05. – 07. März 2007*, S. 203 – 206.
- STEINBERGER, G., M. ROTHMUND, D. MARTINI, C. SPIETZ, D. MALLON & E. NASH (2007b): Integration von agroXML in eine landwirtschaftliche Geodateninfrastruktur. *Landtechnik*, Heft 2/2007, S. 114 – 115.
- STEINBERGER, G., L. RUIZ-GARCIA & M. ROTHMUND (2007c): A Model and Prototype Implementation for Tracking and Tracing Agricultural Batch Products along the Processing Chain. *Proceedings of 6th Biennial Conference of European Federation of IT in Agriculture, 2nd – 5th July 2007, Glasgow (CD-ROM)*.
- WIEHLER, G. (2004): *Mobility, Security and Web Services, Technologies and Service-oriented Architectures for a new Era of IT Solutions*, Pulicis Corporate Publishing, Erlangen.

Anschrift der Autoren:

Dipl. Ing. agr. Georg Steinberger

Wissenschaftszentrum Weihenstephan der Technischen Universität München
Department für biogene Rohstoffe und Technologie der Landnutzung
Fachgebiet Technik im Pflanzenbau
Am Staudengarten 2
85350 Freising-Weihenstephan
Telefon: (08161) 713088
Telefax: (08161) 713895
E-Mail: georg.steinberger@wzw.tum.de

Dr. Matthias Rothmund

Wissenschaftszentrum Weihenstephan der Technischen Universität München
Department für biogene Rohstoffe und Technologie der Landnutzung
Fachgebiet Technik im Pflanzenbau
Am Staudengarten 2
85350 Freising-Weihenstephan
Telefon: (08161) 713933
Telefax: (08161) 713895
E-Mail: Matthias.rothmund@wzw.tum.de

Prof. Dr. Hermann Auernhammer

Wissenschaftszentrum Weihenstephan der Technischen Universität München
Department für biogene Rohstoffe und Technologie der Landnutzung
Fachgebiet Technik im Pflanzenbau
Am Staudengarten 2
85350 Freising-Weihenstephan
Telefon: (08161) 713442
Telefax: (08161) 713895
E-Mail: Hermann.auernhammer@wzw.tum.de

5.4 Weiterentwicklung des betrieblichen Informationsmanagements bei Anbindung interner und externer Datenbanken

Improvement of information management on the farm through linking internal and external data bases

Ulrich Wagner & Karin Zieger

Zusammenfassung

Für die Informationsgeleitete Pflanzenproduktion mit Precision Farming wurde im Rahmen des TP Lösungen für Teile eines praxisrelevanten **Informationsmanagements** entwickelt:

- Schaffung der Voraussetzungen für einen **WebServices** auf Seiten des Dienstleisters, der den Landwirt in die Lage versetzt, Daten/Informationen von Diensteanbietern zu nutzen.
- Entwicklung des **Agro-Sense® .NET Tool**. Das Agro-Sense® .NET Tool ist die neue Generation des vorhandenen Farmmanagementsystems. Die Übertragung der bewährten Inhalte in eine Anwendung, die mit leistungsfähigerer Software, neuen Verbindungsmöglichkeiten bei den Client-Server-Lösungen wurde notwendig, um den höheren Anforderungen an die Inhalte (z. B. Verwendung XML) gerecht zu werden. Die Weiterentwicklung besteht darin, dass das agroXML-Schema eingearbeitet und die Zuordnung der einzelnen Elemente des Schemas zu den lokalen Variablen unter .Net in C# definiert wurde.
- Entwicklung des **Agro-Sense® OpenViewer**. Der Agro-Sense® OpenViewer ist ein Tool zur Darstellung von geografischen Daten. Der Viewer bietet neben der Anzeige vorhandener lokaler Daten die Möglichkeit der Nutzung von WebServices (WMS, WFS), um auf diesem Weg zusätzliche, neue Informationen für den Betrieb einzusehen bzw. auch auf dem Rechner zu speichern und in den lokalen Datenbestand aufzunehmen.

Summary

For the information guided plant production with Precision Farming it was developed parts of a management of information relevant for practise.

Conditions for a web service on the part of the service provider were created, which allows the farmer to use data of the provider.

Development of **Agro-Sense® .NET Tool**. The Agro-Sense® .NET Tool is the new generation of the farm management software. The transfer of proven contents into an application, based of more efficient software and new facilities for client-server-solutions, was necessary to do justice to the higher requirements for the contents i.e. usage of XML. The advancement consists in the fact that the agroXML pattern was included, the definition and classification of the single elements of the schema to the local variables using C#.

Development of **Agro-Sense® OpenViewer**. Agro-Sense® OpenViewer is a tool to the representation of geographical data. The viewer offers the possibility of the announcement of available local data as well as the use of web service (WMS, WFS). This allows to see additional, new information for the company on this way or to integrate to own local stored data.

5.4.1 Einleitung und Problemstellung

Der zentrale und gemeinsame Gegenstand ist das Informationsmanagement zur Informationsgeleiteten Pflanzenproduktion mit Precision Farming. Dafür waren einige Instrumentarien für ein praxisrelevantes betriebliches **Informationsmanagement** zu entwickeln. Hierfür musste die Informationsvermittlung in der Informationsgeleiteten Pflanzenproduktion hinsichtlich der relevanten Aspekte analysiert, systematisiert sowie in theoretisch-konzeptionellen Ansätzen und technischen Lösungen für eine praktische Umsetzung vorbereitet und erprobt werden.

Der Übergang von einer ganzheitlichen zu einer teilflächenspezifischen Bearbeitung der landwirtschaftlichen Flächen erfordert auf unterschiedliche natürliche Bodenunterschiede (Leistungs- und Mangelzonen) einzugehen. Die Dokumentation der Sach- als auch der räumlichen Daten ist dabei eine Grundvoraussetzung, um die potenzialorientierte teilflächenspezifische Bearbeitung effizient durchführen sowie die Wirksamkeit der Maßnahmen und die ökonomischen Resultate bewerten zu können. Eine Informationsgeleitete Landwirtschaft erfordert deshalb die Einbeziehung unterschiedlicher Quellen, wie Produktionsfunktionen, Wachstumsmodelle, Bekämpfungsempfehlungen zu Krankheiten und Schädlingen u. a. m., für die Planung und die Bestandesführung.

Analog zu allen anderen Wirtschaftszweigen wird auch der landwirtschaftliche Betrieb mit einer großen Menge an Informationen konfrontiert. Informationen, die an ihn von außen heran getragen werden bzw. während des Tagesgeschäftes entstehen. Eine wesentliche Aufgabe der Informationsgeleiteten Landwirtschaft ist es, diese Datenflut beherrschbar und nutzbar zu machen. Derzeit ist es in der Regel so, dass jede Anwendung über eine eigene Datenhaltung und Verarbeitung verfügt, die Übergabe von Daten eines Systems in ein anderes manuell erfolgt. Bei der ständigen Erweiterung der technischen und sachbezogenen Möglichkeit, sind zusätzliche Informationen zur Vorbereitung für den Anbau zu nutzen (z. B. Ertragskarten, Satellitenbilder, Applikationskarten). Parallel zum Anbau gilt es die Daten der automatischen Dokumentation durchgeführter Maßnahmen (Protokolle der Maschinen) in die Entscheidungsfindung für die Produktion einzubeziehen (z. B. Prognosen über Schädlingsbefall, Ergebnisse der Bodenuntersuchungen). Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Verknüpfung dieser Daten über definierte Schnittstellen zu ermöglichen. Ziel muss eine durchgehende Kette und Nutzung einmal erhobener Daten, die Minimierung der doppelten Erfassung, die Einbeziehung möglichst vieler Informationen für die Entscheidungsfindung sein.

An den landwirtschaftlichen Betrieb werden als Teil der Wertschöpfungskette aber auch Forderungen zur Übernahme bzw. Weitergabe von Informationen an vor- und nachgelagerte Bereiche (z. B. Mitteilung über realisierte Anbaumaßnahmen für Abnehmer und verarbeitende Industrie, betriebswirtschaftliche sowie ökologische Bewertung des Anbaues, Einhaltung gesetzlicher Vorschriften (Cross Compliance)) gestellt. Die Übergabe von Daten zwischen verschiedenen Systemen erwies sich als schwierig, da es auf allen Ebenen der Kette eine Vielzahl eigenständiger Entwicklungen gegeben hat. Die Dateninhalte und -formate waren bisher nicht aufeinander abgestimmt. Die Folge waren eine Vielzahl von notwendigen Schnittstellen zwischen den verschiedensten Softwarelösungen, um Daten importieren bzw. exportieren zu können. Die Nutzung von XML/agroXML einschließlich der gemeinschaftlich erarbeiteten Schemata ist ein Weg zur Realisierung dieser Aufgabe.

Sowohl für die Planung, Bestandesführung, Abrechnung als auch für die Dokumentation und Auswertung muss es möglich sein, Daten aus den unterschiedlichsten Quellen und Systemen einfach einzubeziehen. Dazu ist es notwendig:

- eine hohe und stets aktuelle Verfügbarkeit der Daten zu gewährleisten,

- Daten in allgemeinen Strukturen (z. B. agroXML, GML) zu halten, um insbesondere den Datenaustausch mit externen Systemen zu ermöglichen (Definition der Schnittstellen),
- einen schnellen und sicheren Zugriff auf die Daten zu gewährleisten und
- praxisrelevante Lösungen für die durchgehende Nutzung vorhandener Daten zu finden.

Das erforderte:

- Entwicklung von Prozeduren zum Auslesen von Daten aus heterogen strukturierten betriebsexternen und -internen Datenbanken; insbesondere zu Akteuren in der erweiterten Wertschöpfungskette Lebensmittelproduktion (aufnehmende Hand, öffentliche Administration)
- Prüfung, Anpassung bzw. Entwicklung von Interoperationalitätsprodukten
- Erprobung des definierten Datenaustausches mit der Wertschöpfungskette
- Vorbereitung der Prozeduren für den in- und externen Datenaustausch zur Integration in Office-Software, Definition von Standards.

5.4.2 Vorgehensweise

Im Teilprojekt stand das Informationsmanagement des landwirtschaftlichen Betriebes mit externen Systemen im Fokus. Dies sind Informationssysteme der Partner in der Wertschöpfungskette (vor- und nachgelagerte Bereiche) sowie diejenigen Systeme, von denen Daten oder Modelle für die ‚Informationsgeleitete Pflanzenproduktion‘ bereitgestellt werden (u. a. Geodatenbanken, ISIP). Technologische Ansätze wie Informationsgeleitete Landwirtschaft erfordern flexible und kostengünstige Lösungen der Informationsverarbeitung. Einzelkomponenten liegen vor, eine branchenspezifische Lösung fehlte.

In der IT-Industrie erfolgt gegenwärtig ein Trend hin zu XML-Lösungen. Interoperationalität ermöglicht dabei einen kostengünstigen Austausch von Informationen. In den letzten Jahren haben vor allem Landtechnikhersteller Systeme (Soft- und Hardware) angeboten, die einen enormen Zeitaufwand bei deren Anwendung voraussetzten. Diese Systeme stellten oftmals nur Insellösungen mit proprietären Formaten dar. Das hat sich als hemmend erwiesen. Eine Integration unternehmensweiter Anwendungen in Form von Daten-, Aufgaben- und Kapazitätsverteilung (EAI = Enterprise Application Integration), d. h. die Verteilung von Daten und Funktionen auf verschiedene Prozesse bzw. Applikationen war aus zeitlichen und ökonomischen Gründen unumgänglich.

Als Basis dazu mussten die Prinzipien für eine unternehmensweite Integration verschiedener Anwendungen mit einer Daten-, Aufgaben- und Kapazitätsverteilung erarbeitet werden. Es wurden Anwendungsarchitekturen für verteilte Anwendungen entwickelt und Technologien auf Performance mit realen Daten getestet (Abbildung 144). Der Zugriff auf Informationsbasen im Internet (u. a. Geodatendienste, Informationssysteme des vor- und nachgelagerten Bereiches) kann dazu einerseits über XML-Schnittstellen erfolgen, **online** oder **offline** (WebServices, agroXML).

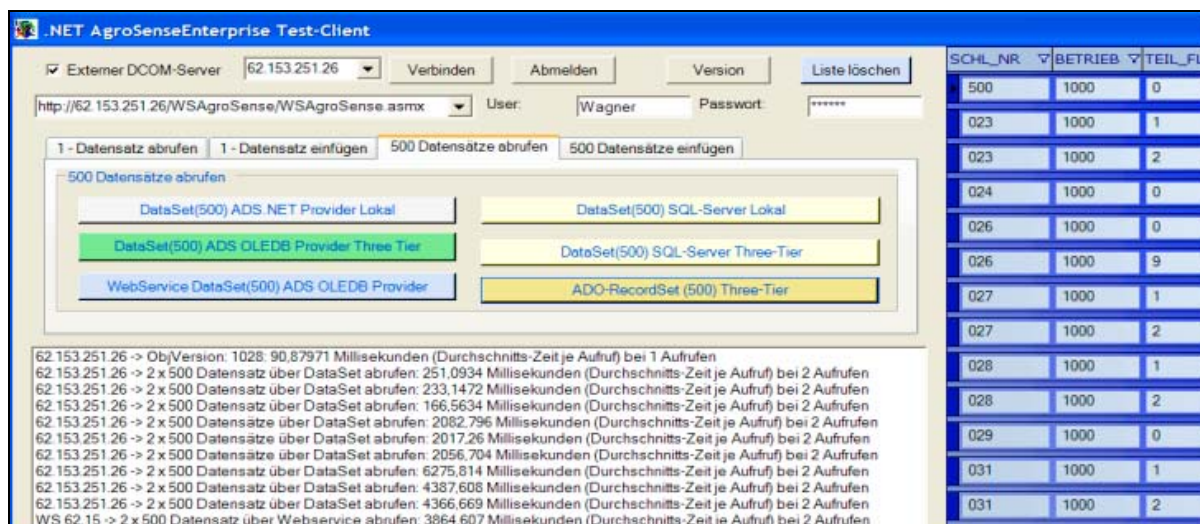


Abbildung 144: Performancetest: Datenbankabfragen

Figure 144: Test of performance: data base queries

Es erfolgten die Prüfung der in Frage kommenden Standards und Systemlösungen bezüglich der Anwendungsarchitektur und Verwertbarkeit, Sondierung der Entwicklungsplattformen und Werkzeuge, Auswahl und Abstimmung von UML (UNIFIED Modeling Language)-Werkzeugen zur Dokumentation und Weitergabemöglichkeit von Architekturen und Schnittstellen, Sammlung von Erfahrungen mit agroXML-Schemata und Prüfung der in Frage kommenden Tools und Erstellung von Vorschlägen zur Ergänzung und Änderung von agroXML. Für verteilte Anwendungen wurden verschiedene Anwendungsarchitekturen geprüft: klassische Desktoparchitekturen, B2B (Business to Business), EAI (Enterprise Application Integration) und Kopplung von Webseiten (Abbildung 145).

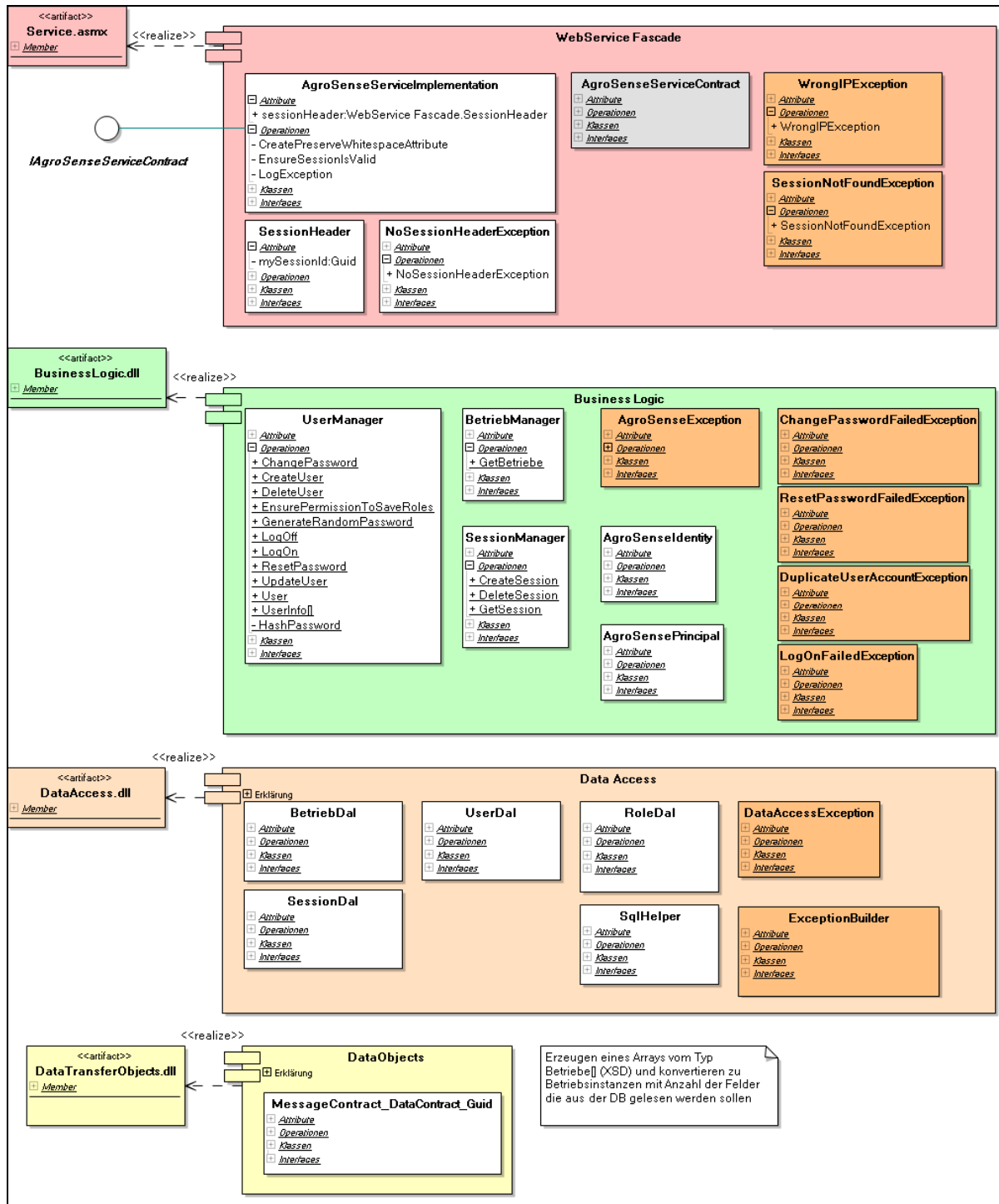


Abbildung 145: Darstellung neuer Programm-Architekturen

Figure 145: diagram of new application architecture

Für den dazu erforderlichen Informationsaustausch gibt es vielfältige standardisierte Zugriffe (nicht nur in lokalen Netzen, sondern auch auf Prozesse entfernterer Rechner) auszutauschen (XML Extensible Markup Language). XML-Lösungen ermöglichen es, Daten aus unterschiedlichen Bereichen mittels einer XML-Serialisierung/Deserialisierung auszutauschen. Definiert sind von W3C (Web Service Description Working Group) API (Application Programming Interfaces), die das Parsen von XML-Daten ermöglichen:

- API: SAX ermöglicht auf einfachste Art XML-Streams zu analysieren (Eventmodell),
- API:DOM Umsetzung einer Objektstruktur nach erfolgtem Einlesen des gesamten XML-Streams (Baumstruktur, aber rechenintensiv),
- API:SAXDOMIX Mischung aus beiden Technologien,
- API o. Tool: XSL (Extended Stylesheet Language): Die Sprache dient zur Umwandlung in andere Formate und zur Konvertierung verschiedener XML Formate.

Die zeitnahe Nutzung entfernterer Funktionen erfordert den online-Zugriff. Dabei ermöglicht der Webservice über standardisierte Aufrufe (SOAP Simple Object Access Protocol) eine direkte Kommunikation zwischen Software-Anwendungen durch das Austauschen von als XML vorliegenden Daten auf der Basis internetbasierender Protokolle. Die Entwicklung des Internetprotokolls wurde abgeschlossen. Bei klassischen Desktoparchitekturen kommen sowohl Parser als auch Webservices in Betracht, um den internen wie externen Datenaustausch zu ermöglichen und die Funktionskomplexität so gering wie möglich zu halten. In Enterprisesystemen (EAI) muss vor den auf Interoperationalität getrimmten Webservices entschieden werden, ob aus Performancegründen nicht die klassischen Middle-Tier Architekturen, wie Corba, DCOM, RMI den Vorzug bei zeitkritischen Anwendungen erhalten. Da der XML-Dialekt, respektive SOAP (XML over HTTP), wenig performant ist, muss im Einzelfall entschieden werden. Der allgemeine Trend in anderen Branchen und Bereichen geht zu Enterprise Systemen. Denn mittels EAI können Daten und Geschäftsprozesse auf Basis netzwerkbasierter Applikationen oder Datenquellen unternehmensweit genutzt werden. Die Implementierung von EAI hat folgende Vorteile: Integration heterogener Systemwelten, Vermeidung von redundanten Daten und Funktionalitäten, Minimierung der Systemkomplexität, Steigerung der Änderbarkeit, Erweiterbarkeit und Skalierbarkeit des Systems, Automatisierung und Dynamisierung von Geschäftsprozessen, Optimierung der GP-Performance (time to market), Vereinfachung der Anbindung an Zulieferer, Partner und Kunden (B2B, B2C).

Wesentliche Vorteile des Webservices sind: offene Standards (SOAP, HTTP, UUDI), Flexibilität (Migration mit bestehenden Lösungen), Umfang (Scope) und Dynamik (dynamische Interfaces). Ein weiterer Schwerpunkt des Projektes liegt auf dem strukturierten Austausch von Geschäftsdaten im so genannten B2B (Business to Business) Verhältnis (Wertschöpfungskette Lebensmittelproduktion). ebXML (electronic business XML) könnte zu dem globalen, offenen Standard für das E-Business werden. Mit ebXML können insbesondere KMU am „weltweiten“ Business partizipieren und Kosten durch den effizienten Austausch von Geschäftsdokumenten einsparen. BizTalk ist als Alternative zu ebXML bei der Vereinfachung und Standardisierung des E-Business zu sehen. Es war zu prüfen, welche dieser Technologien mittelfristig schneller zu Erfolgen führt. Die Problematik bei der Nutzung von Webservices liegt in der Erreichung einer uniformen Dokumentenstruktur, d. h. die ausgelesenen Tags einer WSDL-Definition für eine Schlagnummer nennen sich z. B. S_NR, Schlagnummer, Nummer. Somit kann die fachliche Zuordnung nicht durch die Maschine erfolgen.

Bei der Erarbeitung der Datenhaltkonzepte im Bereich der lagebezogenen Daten wirkte sich die langjährige Zusammenarbeit und enge Vernetzung von AGRO-SAT Consulting GmbH mit den Betrieben von WIMEX positiv aus. Das bisherige Datenhaltungskonzept für Daten aus den Anbauprozessen sowie der Betriebswirtschaft ist nach dem sachlichen Bezug auf Anbaujahr und Betrieb und Schlag ausgerichtet. Diese Zuordnung war bei einer ganzheitlichen Bearbeitung der Schläge weitestgehend ausreichend. Eventuell vorhandene grafische Informationen wurden entsprechend diesem Prinzip den Schlägen zugeordnet.

Der zunehmende Übergang zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung erfordert mehr raumbezogene Daten. Für die aktuelle Datenhaltung wurden die Strukturen in der Datenbank dahingehend erweitert, dass auch die Informationen zu den einzelnen Zonen separat gespeichert werden können. Das spiegelt sich in der Ackerschlagkartei durch den Zusatz ‚Schlaginformationen precision farming‘ sowie der Speichermöglichkeit der unterschiedlichen Aussaatmengen bzw. Düngerausbringung und Pflanzenschutzmitteleinsatz wider.

Derzeit wird die Umstellung des vorhandenen Farm-Management-Systems auf eine neue Softwaregeneration realisiert, um den Anforderungen an Datenaustausch bzw. -integration sowie der Einbeziehung vielfältiger grafischer Informationen zu gewährleisten. Ziel ist die Erweiterung des bestehenden Systems mit vorwiegenden Aufgaben der reinen Dokumentation realisierter Maßnahmen zu einem Instrument zur Bestandesführung und zur ökonomischen Bewertung zu machen.

Grundvoraussetzung für die Effizienz aller im TP geleisteten Arbeiten war die Vernetzung inhaltlicher Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Forschungsverbund. Dadurch konnten bedeutende Synergieeffekte erschlossen werden. Unser Teilprojekt hat bei der Vervollständigung des agroXML-Schemas und der Erstellung der entsprechenden Profile mitgewirkt. Zudem entwickelte das TP Methoden, Schnittstellen und Konzepte, um den externen Datenimport bzw. die Weitergabe von Daten aus dem Betrieb in die Wertschöpfungskette über agroXML oder andere Techniken zu ermöglichen. Die Schnittstellenentwicklungen erwiesen sich als kompliziert. Unter Praxisbedingungen wurden Softwareprozeduren für das Retrieval von Daten aus heterogenen betriebsinternen und betriebsexternen Datenbanken erprobt und optimiert.

Zusammenarbeit mit TP 1:

Nach Übergabe der Parameter zur Bewertung der Nachhaltigkeit durch TP 1 wurde von unserer Seite eine Übersicht erarbeitet, welche der genannten Kenngrößen in unseren Betrieben vorliegen. Während eine Vielzahl von Angaben bereits fester Bestandteil innerhalb der Anbaudokumentation ist, werden andere in unterschiedlichen Bereichen des Betriebes erhoben bzw. verwendet. Dem TP wurde für das Programm Repro die Anbaudaten der AG Wulfen der letzten 5 Jahre zur Auswertung übergeben. Die benötigten Angaben wurden als Ergebnis von Datenbankabfragen in Excel-Tabellen zusammengestellt.

Für die Übergabe der Daten von einer Schlagkartei an Repro zur Bewertung der Nachhaltigkeit wurde innerhalb der Projektzeit ein Profil in agroXML definiert (TP 19). Auf diese Weise kann die Übergabe durch einfache Exportfunktionen aus einer Schlagkartei vereinfacht werden.

Zusammenarbeit mit TP 3:

Es erfolgte die Datenanbindung Wirtschaftlichkeitsbetrachtung: Vereinbarung der jeweils notwendigen Datenstrukturen für den einzelnen Export-Import.

Zusammenarbeit mit TP 7:

Mitarbeit bei der Erarbeitung der use-cases als Grundlage für die Modellierung der Prozessabläufe. Darüber hinaus erfolgte eine Übergabe der Übersicht vorhandener Strukturen und Datentypen einschließlich Aufruf der Daten für die Schlagkartei an die Uni Rostock (TP 7) als Hilfe für die Modellierung von Prozessen in der Landwirtschaft. Andererseits wurden die vorhandenen Datenbankstrukturen

im FMS im Hinblick auf die notwendige Erweiterung für die möglichst reibungslose Arbeit mit agroXML analysiert und entsprechend erweitert oder umgestellt.

Zusammenarbeit mit TP 8:

Voraussetzungen für die automatische Verarbeitung von aufgezeichneten Maschinendaten und Zuordnung der Daten zu den einzelnen Schlägen wurden geschaffen. Realisierung Struktur extern-interner Datenaustausch. Mitarbeit am Telemetrieprojekt für TP 8 (Installation, Konfiguration, Inbetriebnahme).

In den Betrieben von WIMEX wurden 10 Schlepper und 2 Mähdrescher mit einem modularen Datenerfassungssystem (MoDaSys) ausgestattet. Dieses System besteht aus einer onboard-Unit, der die CANBus-Daten der Maschinen aufzeichnet und einer Kombi-Antenne (mit GPS/GSM-Funktion). Auf diese Weise können später die erfassten Daten zeitgenau und geokodiert Schlägen zugeordnet werden. Vom Nutzer kann entschieden werden, welche CANBus-Daten (Dieselverbrauch, Geschwindigkeit, GPS-Position, Ertrag, Feuchte ...) erfasst werden sollen. Die Speicherkapazität der onboard-Unit reicht je nach Datenanfall an der Maschine für ca. 2 Wochen. Erfolgt kein Abruf der Daten, werden die ältesten Datensätze überschrieben. Die Maschinendaten werden kontinuierlich aufgezeichnet. Da es 3 mögliche Abrufwege gab, die innerhalb der Saison gleichberechtigt zum Einsatz kamen, wurden Routinen erstellt, um die Daten zusammenzuführen und einheitlich abzulegen. Eine Lösung zur zeitnahen Übergabe der Daten an das TP 8 ist erfolgt (Abbildung 146).

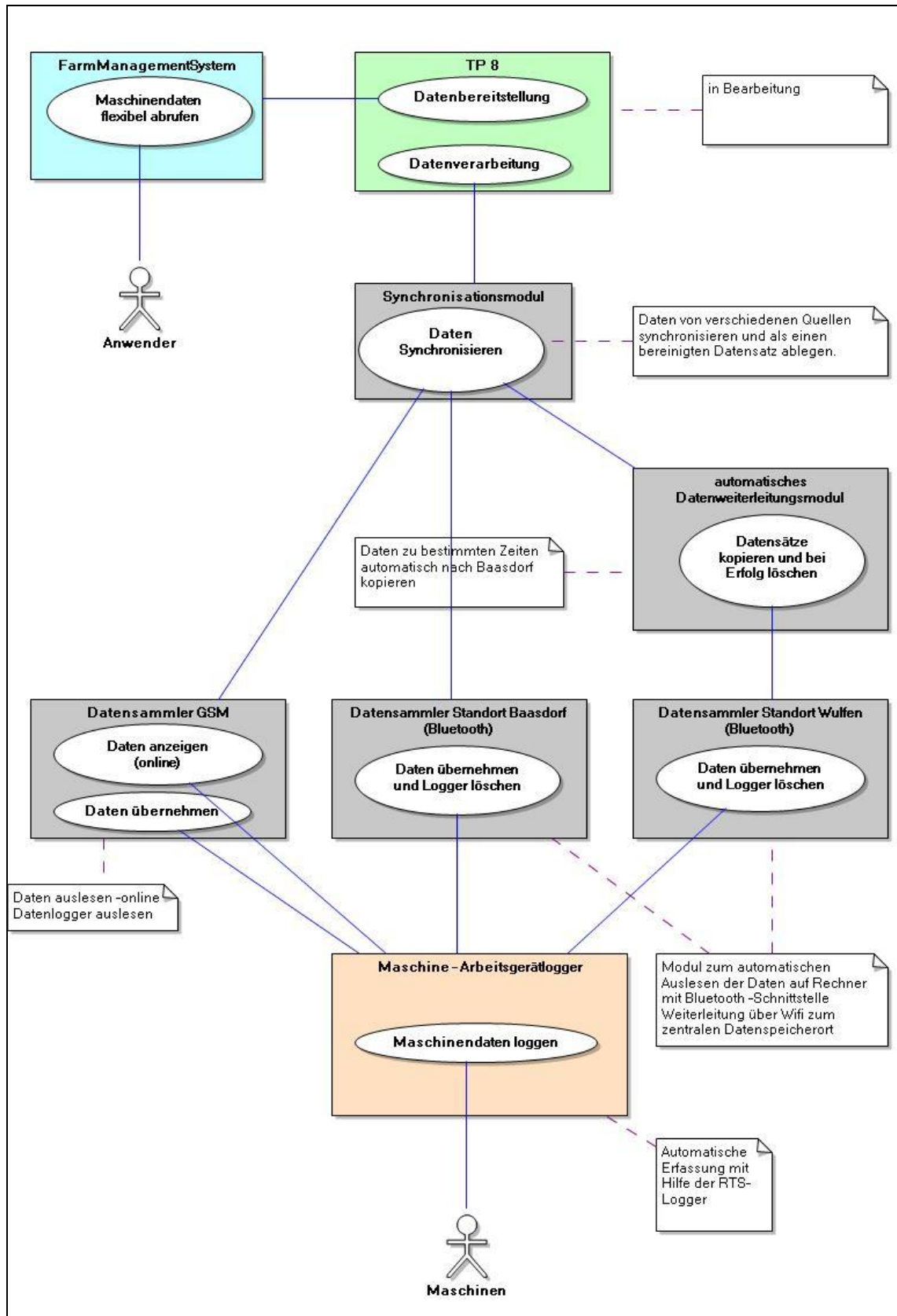


Abbildung 146: Schema zur Erfassung und Verarbeitung der Maschinendaten in Wulfen

Figure 146: pattern of collection and processing of machine data in Wulfen

Der Abruf der Daten kann über GSM oder Bluetooth erfolgen. Für diese Maschinen wurden die technischen Voraussetzungen geschaffen, die Übertragung mittels Bluetooth vollautomatisch beim Tanken der Fahrzeuge in Baasdorf bzw. Wulfen zu realisieren. Die Speicherung auf dem Server erfolgt tagesweise in entsprechende Ordner. Die onboard-Unit ist ein ESX-C2C Modul der Firma STW. Die Schnittstellen des Gerätes sind frei programmierbar, dies kann auch über Fernwartung über GSM/Bluetooth geschehen. Mit dem Gerät sollen in Zukunft auch die Daten der zugehörigen Geräte über ISOBUS erfasst werden, um perspektivisch direkt eine Istwertkarte (z. B. Aussaatmenge/ ausgebrachte Düngermenge, Ertrag usw.) für den gesamten Schlag bzw. teilflächenspezifische Aktivitäten zu erstellen.

Die erste Zusammenfassung der aufgezeichneten Datensätze wurde von AGRO-SAT Consulting realisiert. Die eigentliche Verarbeitung der Maschinendaten einschließlich der Zuordnung zu den einzelnen Schlägen wurde von TP 8 übernommen, während die Einbindung der Auswertungsergebnisse wiederum in unserem TP lag. Die Maschinendaten, die an den verschiedenen Stellen ausgelesen wurden, hat man mittels entsprechender kleiner Programme zusammengefügt. Die Übergabe zur TU München erfolgte bis zum Schluss nicht automatisch. Die TU München (TP 8) hat die Daten verarbeitet, über die bekannten Schlaggrenzen (Shapes) eine Zuordnung der Maschinenleistung zu den einzelnen Schlägen realisiert und auf einer Internetplattform in geordneter Form zur Verfügung gestellt. Dort lagen sie als agroXML-Dokument vor und können herunter geladen werden und über die definierte Schnittstelle, z. B. in die Schlagkartei, importiert werden.

Zusammenarbeit mit TP 19:

Während beim Datenaustausch zwischen Programmen innerhalb des eigenen Arbeitsbereiches die Definition von internen Formaten für den Datenimport und -export akzeptabel erscheint, sind für den Austausch mit externen Einrichtungen klare Abstimmungen notwendig.

TP 19 erarbeitete dazu das standardisierte XML-basierte Format agroXML. Mit dessen Hilfe können später sämtliche Prozesse und anfallende Daten beschrieben und unabhängig von Betriebssystemen und verwendeter Software ausgetauscht werden. Auf Grundlage der Erfahrungen im Umgang mit dem Datenaufkommen in der landwirtschaftlichen Produktion, den Anforderungen der aufnehmenden Hand bzw. dem Datenbedarf einer Reihe von Programmen, die Entscheidungshilfen bzw. Anweisungen für die Produktion liefern, brachten wir unsere Erkenntnisse ein.

5.4.3 Ergebnisse

5.4.3.1 Wichtigste wissenschaftlich-technische Ergebnisse, die erreicht wurden

5.4.3.1.1 Schaffung der Voraussetzungen für einen WeBServices

Bei AGRO-SAT (Rolle eines Dienstleisters) wurden die Voraussetzungen geschaffen, über WeBServices die Landwirte in die Lage zu versetzen, Daten/Informationen von den Diensteanbietern zu nutzen. Der Zugriff auf Informationsbasen im Internet (u. a. Geodatendienste, Informationssysteme des vor- und nachgelagerten Bereiches) ist erfolgt. Zielstellung für den Dienstleister ist: Einstellen aller verfügbaren Daten der Kunden zum Abruf, Absicherung der Zugriffsrechte, geringer Aufwand zur Pflege und Erweiterung der Inhalte.

Dazu ist auf unserem Server eine Datenbank (MySQL-Datenbank) eingerichtet worden, in der entsprechende Geoinformationsdaten, wie zum Beispiel Schlaggrenzen, gespeichert werden. Zu dieser

Datenbank gehören auch Tabellen u. a. um die Nutzer mit ihren Zugriffsrechten zu verwalten. Des Weiteren ist die gesamte Bildschirmgestaltung für die lokale Seite/ Nutzung/ Ansicht der Inhalte der Datenbank/Administration des Systems hinterlegt und Tabellen, die die geplanten Inhalte, wie z. B. Polygone, Layer aufnehmen. Mapfiles geben bei einer Anfrage nach den Inhalten (Capability), die ein Dienst zu bieten hat, einen Überblick über vorhandenes Material. Nach jeder Änderung der Datenbank müssen die Mapfiles diesen neuen Inhalten angepasst werden. Die Aktualisierung dieser Mapfiles wird automatisiert.

5.4.3.1.2 Entwicklung eines Agro-Sense .NET-Tools

Agro-Sense® .NET Tool ist die neue Generation des vorhandenen Farmmanagementsystems. Die Übertragung der bewährten Inhalte in eine Anwendung mit leistungsfähigerer Software und neuen Verbindungsmöglichkeiten bei den Client-Server-Lösungen wurde notwendig, um den höheren Anforderungen an die Inhalte (z. B. Verwendung XML) gerecht zu werden. Die Weiterentwicklung besteht darin, dass das agroXML-Schema eingearbeitet, die Zuordnung der einzelnen Elemente des Schemas zu den lokalen Variablen unter .Net in C# definiert wurde.

Es wurde dabei weitestgehend der von den Kunden bekannte Programmaufbau beibehalten. Für die Gestaltung der Programmoberfläche von Agro-Sense .NET wurden u. a. neue Infragistic-Komponenten eingesetzt.

Die wesentliche Weiterentwicklung besteht darin, dass der Datenexport und -import unter Verwendung der mit agroXML definierten Dokumente erfolgen kann.

Dazu wurde das agroXML-Schema in das Programm eingebunden. Die dort vereinbarten Elemente und Typen wurden in eine Klassenstruktur unter C# .NET vereinbart (siehe Anhang, Kapitel 5.4.5.1: agroXML: Umsetzung eines komplexen Datentypes). Die bestehenden Contentlisten vom KTBL können zum Abgleich bzw. zur Erweiterung der eigenen Datenbank genutzt werden. Der Export der Basisdokumentation als erstes Austauschdokument ist möglich (siehe Anhang, Kapitel 5.4.5, 5.4.5.1: agroXML: Umsetzung eines komplexen Datentypes).

Dazu wurde ein entsprechendes Modul programmiert, das die Bildschirmoberfläche sowie die für die Erstellung der Basisdokumentation notwendigen Datenaufrufe realisiert.

5.4.3.1.3 Entwicklung eines frei verfügbaren Tools Agro-Sense® OpenViewer

Abgeschlossen wurde die Entwicklung eines frei verfügbaren Tools Agro-Sense OpenViewer. **Der Agro-Sense® OpenViewer** ist ein Tool zur Darstellung von geografischen Daten. Der Viewer bietet neben der Anzeige vorhandener lokaler Daten die Möglichkeit der Nutzung von WebServices (WMS, WFS), um auf diesem Weg zusätzliche, neue Informationen für den Betrieb einzusehen bzw. auch auf dem Rechner zu speichern und in den lokalen Datenbestand aufzunehmen:

- Nutzung von OGC-Services (WMS, WFS) für die Darstellung von vorhandenen Geofachdaten (Schlaggrenzen, Applikationskarten, Luftbilder usw.) sowohl innerhalb der vorhandenen Software (FarmManagementSystem) als auch für *pre agro* bzw. in Kombination mit anderen Anbietern/Projekten. Realisierung lokaler Aufruf / Anzeige geografischer Informationen verschiedener Quellen, wie z. B. Shapes und GML-Files.

- Nutzung von WebServices wie Yahoo-Maps und Microsoft Virtual Earth ebenso wie die Darstellung der verfügbaren geografischen Daten als OGC-Daten, die sowohl von fremden wie von eigenen Systemen kommen können.

Mit diesem Viewer ist es möglich, lokal gespeicherte Geoinformationen in unterschiedlichen Formaten (z. B. Shapes, *.tiff) anzuzeigen. Es können Informationen in mehreren Ebenen aufgerufen werden. Wahlweise lassen sich für die aktuelle Anzeige Ebenen ein- oder ausblenden. Das Abspeichern einmal ausgewählter Daten als Sessions ermöglicht einen schnellen und effizienten erneuten Zugriff, eine sachbezogene Organisation der Informationen ist leicht möglich. Ein Ordnungsprinzip kann beispielsweise Geltungsdauer von Informationen sein:

- allgemeingültig: (z. B. TK),
- längerfristig: Management-Unit-Karten,
- jahresbezogen (z. B. Schlaggrenzen, Ertragskarten),
- saisonal / fachlich (Bodenuntersuchungspunkte, Satellitenbilder, Karten von applizierten Düngermengen).

Funktionen wie beispielsweise zoomen, track sowie Session speichern gehören zu den Grundfunktionen. Der Viewer bietet die Nutzungsmöglichkeit von WebServices (WMS, WFS), um auf diesem Weg zusätzliche, neue Informationen zu seinem Betrieb abzurufen/ einzusehen bzw. auch auf dem Rechner zu speichern und in den lokalen Datenbestand aufzunehmen. Der Agro-Sense OpenViewer ist einsatzbereit. Eine Beschreibung liegt dem Bericht bei (siehe Anhang, Kapitel 5.4.5.2: AGRO-SENSE® OpenViewer: Kurzanleitung zur Bedienung).

5.4.4 Diskussion

Für die Informationsgeleitete Pflanzenproduktion mit Precision Farming wurde im Rahmen des TP Lösungen für Teile eines praxisrelevanten **Informationsmanagements** entwickelt.

Es wurden die Voraussetzungen für einen WebServices auf Seiten des Dienstleisters entwickelt, der den Landwirt in die Lage versetzt, Daten/Informationen von Diensteanbietern zu nutzen. Einstellen aller verfügbaren Daten der Kunden zum Abruf, Absicherung der Zugriffsrechte, geringer Aufwand, um Inhalte zu erweitern. Nutzung der Webservices, um selbst Daten für laufende Arbeiten von anderen Anbietern anzufordern.

Abgeschlossen wurde die Umgestaltung der neuen Schlagkartei Agro-Sense .NET. Dazu wurde der Einsatz u. a. neuer Infragistic-Komponenten unter .NET für die Gestaltung der Programmoberfläche von AgroSense.NET verwendet. Die wesentliche Weiterentwicklung besteht darin, dass das AgroXML-Schema eingearbeitet, die einzelnen Elemente des Schemas unter .Net definiert und die Möglichkeit geschaffen wurde, die ersten Contentlisten vom KTBL zum Abgleich oder Erweiterung der eigenen Datenbank zu nutzen sowie agroXML-Dokumente zu exportieren.

Im Rahmen dieses TP wurde als wesentliches Ergebnis für das Informationsmanagement des landwirtschaftlichen Betriebes die Entwicklung eines frei verfügbaren Tools Agro-Sense® OpenViewer abgeschlossen. Der Viewer bietet die Nutzungsmöglichkeit von WebServices (WMS, WFS), um auf diesem Weg zusätzliche, neue Informationen für den Betrieb abzurufen/einzusehen bzw. auch auf dem Rechner zu speichern und in den lokalen Datenbestand aufzunehmen.

Weiterführende Literatur

- DEMMELE, M. & H. AUERNHAMMER (1998): Automatisierte Prozessdatenerfassung. Landtechnik, Heft 3, S. 144 – 145.
- FIGURA, J., B. BÄRK & G. ZEPPENFELD (1997): Die unabhängige Geodatenbank als Datenbasis in einer heterogenen unternehmensweiten GIS-Landschaft. GIS. Heft 3, S. 18 – 23
- FRISCH, J. et al. (2007): Geodateninfrastrukturen und Geodienste für die Landwirtschaft. KTBL-Heft 66, S. 7 – 58.
- GRAFF, M., T. ENGEL & L. REINER (1995): Umweltverträgliche Pflanzenproduktion durch überbetriebliche Nutzung rechnergestützter Planungs- und Arbeitsverfahren. Abschlussbericht der technischen Universität München-Weihenstephan, Lehrinheit für Ackerbau und Informatik im Pflanzenbau. FuE-Vorhaben BML.
- HELLEBRAND, H. J., D. EHLERT & H. BEUCHE (1996): Informationsgewinnung für die ortsspezifische Landbewirtschaftung. Landtechnik, Heft 4, S. 194 – 195.
- HELLEBRAND, H.J. (1995): Informationsgewinnung für die teilflächenspezifische Feldbewirtschaftung. Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim, Forschungsbericht 1995/4.
- HOPPE, B. & V. KIEP (2003): Schlagkartei online. Sachsen-Anhaltinische Bauernzeitung. 26. Woche vom 27.06.2003, S. 20 – 21.
- JÜRSCHIK, P. (1998): Erfassen und Verarbeiten von Informationen für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung. Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim, S. 1 – 8.
- KLEINER, M. (2003): Der Entwickler. Ausgabe 2. Vorgehensweisen UML- und Agile Softwareentwicklung, S. 66 – 73.
- KNUTH M. (2003): WebServices. Einführung und Übersicht, Kap 1; S. 15 – 26, Kap 2; S. 29 – 72. Kap 3; S. 75 – 114, Kap. 5; S. 167 – 212, Kap 6; S. 215 – 271, Kap. 9; S. 333 – 363, Kap 10; S. 377 – 425, Kap. 12; S. 443 – 458.
- KOSCH, A. (2003): Crashkurs. NET für Borland C#Builder, Kap. 12, Web Services, S. 543 – 589.
- KOSCH, A. (2003): Der Entwickler. Ausgabe 6. Der universelle Transformer XML Data Binding Wizard, S. 62 – 63.
- KTBL [Hrsg.] (2007): agroXML – Informationstechnik für die zukunftsorientierte Landwirtschaft. Tagungsband der KTBL-Tagung München 17. und 18. April 2007, ISBN 978-3-939371-24-3.
- KÜHBAUCH, W. & K. DOCKTER (1997): Nutzen flächenorientierter Geodaten in der Landwirtschaft. GIS, Heft 3, S. 5 – 9.
- KUNISCH, M. (2007): agroXML statt Kauderwelsch. DLZ, Heft 7, S. 142 – 144.
- KUNISCH, M., S. BÖTTINGER, H.-C. RODRIAN & J. FRISCH (2007): Daten mit einem Klick übertragen. Neue Landwirtschaft, Nr. 2, S. 86 – 89.
- LENTZ, S. (2003): XML Magazin & WebServices. Ausgabe 4. Sturm der Lemminge B2B WebServices, S. 20 – 22.
- LÜTTICKEN, R. (1996): Realisierung des Raum-Zeit-Bezugs von Daten zur Umsetzung teilflächenspezifischer Bewirtschaftungsmaßnahmen im Pflanzenbau. Universität Hohenheim, Dissertation.

- SAMASCHKE, K. (2003): Der Entwickler XML. Extra Ausgabe 3. XML everywhere, XML und das .NET Framework, S. 86 – 93.
- WEITZEL, S. (2003): XML Magazin & WeBServices. Ausgabe 4. Die Messlatte Electronic Business XML Framework für B2B-Commerce, S. 23 – 28.
- WILD, K. & H. AUERNHAMMER (1996): Ansätze zur automatisierten Arbeitszeitermittlung bei Feldarbeiten. Landtechnik, Heft 52, S. 198 – 199.
- WOLFF, E. & A. SCHMIDT (2003): S. XML Magazin & Web Services. Ausgabe 4. Schritt in die Vergangenheit, die Evolution zu XML, S. 58 – 62.

Anschrift der Autoren:**Betriebswirt Ulrich Wagner**

Agro Sat Consulting GmbH
Schulstraße 3
06388 Baasdorf
Telefon: (03496) 550929
Telefax: (03496) 550929
E-Mail: mail@agro-sat.de

Dr. Karin Zieger

Agro Sat Consulting GmbH
Schulstraße 3
06388 Baasdorf
Telefon: (03496) 550929
Telefax: (03496) 550929
E-Mail: mail@agro-sat.de

5.4.5 Anhang

5.4.5.1 agroXML: Umsetzung eines komplexen Datentypes

(CommonAggregateComponents) auf Grundlage der enthaltenen CommonBasicComponents und CoreComponentTypes am Beispiel „PflanzenschutzType“

appendix 1: agroXML: transfer of then complex data type „PflanzenschutzType“ on basis of CommonBasicComponents and CoreComponentTypes

Beispiel einer komplexen Datenstruktur

```
<xsd:complexType name="PflanzenschutzType">
<xsd:sequence>
  <xsd:element ref="Id" minOccurs="0" />
  <xsd:element ref="ExternId" minOccurs="0" />
  <xsd:element ref="MaschineArbeit" minOccurs="0"
    maxOccurs="unbounded" />
  <xsd:element ref="RefTeilschlag" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded" />
  <xsd:element ref="RefSchlag" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded" />
  <xsd:element ref="PersonArbeit" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded" />
  <xsd:element ref="Pflanzenschutzmittel" minOccurs="0"
    maxOccurs="unbounded" />
  <xsd:element ref="Begrueundung" minOccurs="0" />
  <xsd:element ref="Wassermenge" minOccurs="0" />
  <xsd:element ref="Verfahren" minOccurs="0" />
  <xsd:element ref="Bekaempfungsrichtwertueberschritten"
    minOccurs="0" />
  <xsd:element ref="Behandlungserfolg" minOccurs="0" />
</xsd:sequence>
</xsd:complexType>
```

Auszug darin enthaltener Elemente

```
<xsd:element name="MaschineArbeit" type="MaschineArbeitType" />
```

```
<xsd:element name="Begrueundung" type="TextType" />
```

Definiert in: AGROXML-CoreComponentTypes-1.2.xsd TextType

Vereinbarung der verwendeten Typen

Definiert in AGROXML-CoreComponentTypes-1.2.xsd

```
<xsd:complexType name="TextType">
  <xsd:simpleContent>
    <xsd:extension base="xsd:string">
      <xsd:attribute name="languageID" type="xsd:language"
        use="optional" />
      <xsd:attribute name="languageLocaleID"
        type="xsd:normalizedString" use="optional" />
    </xsd:extension>
  </xsd:simpleContent>
</xsd:complexType>
```

Definiert in AGROXML-CommonAggregateComponents-1.2.xsd

```
<xsd:complexType name="MaschineArbeitType">
<xsd:sequence>
  <xsd:element ref="Maschine" minOccurs="0" />
  <xsd:element ref="StartDateTime" minOccurs="0" />
  <xsd:element ref="Dauer" minOccurs="0" />
```

```

        <xsd:element ref="Ausfallzeit" minOccurs="0" />
        <xsd:element ref="Bearbeitungsflaeche" minOccurs="0" />
</xsd:sequence>
</xsd:complexType>

```

Umsetzung in die Klassenstruktur in C#.NET

```

[Serializable()]
public class PflanzenschutzType
{
    [XmlElement("ID")]
    public cbcID ID;

    [XmlElement("ExternID")]
    public cbcExternID ExternID;

    [XmlElement("MaschineArbeit")]
    public cacMaschineArbeitType MaschineArbeit;

    [XmlElement("RefTeilschlag")]
    public cbcRefTeilschlag RefTeilSchlag;

    [XmlElement("RefSchlag")]
    public cbcRefSchlag RefSchlag;

    [XmlElement("PersonArbeit")]
    public cacPersonArbeitType PersonArbeit;

    [XmlElement("Begrueundung")]
    public cbcBegrueundung Begrueundung;

    [XmlElement("Wassermenge")]
    public cbcWassermenge Wassermenge;

    [XmlElement("Verfahren")]
    public cbcVerfahren Verfahren;

    [XmlElement("Bekaempfungsrichtwertueberschritten")]
    public cbcBekaempfungsrichtwertueberschritten
        Bekaempfungsrichtwertueberschritten;

    [XmlElement("Behandlungserfolg")]
    public cbcBehandlungserfolg Behandlungserfolg;
}

```

Für MaschineArbeit ist vereinbart

```

[Serializable()]
public class cacMaschineArbeitType
{
    [XmlElement("Maschine")]
    public cacMaschineType Maschine;

    [XmlElement("StartDateTime")]
    public DateTime StartDateTime;

    [XmlElement("Dauer")]
    public TimeSpan Dauer;

    [XmlElement("Ausfallzeit")]
    public TimeSpan Ausfallzeit;
}

```

```
        [XmlElement("Bearbeitungsflaeche")]
        public cctAreaType Bearbeitungsflaech;
    }
```

Die Elemente sind einzeln vereinbart, wie das am ausführlichen Beispiel von „Begründung“ zu sehen ist.

Begründung

```
[Serializable()]
[XmlElement("Begründung")]
    public cbcBegründung Begründung;
```

der Typ cbcBegründung ist von TextTyp abgeleitet

```
[Serializable()]
    public class cbcBegründung : cctTextType { }
```

Definition von TextType

```
[Serializable()]
    public class cctTextType
    {
        [XmlText()]
        public string text ;

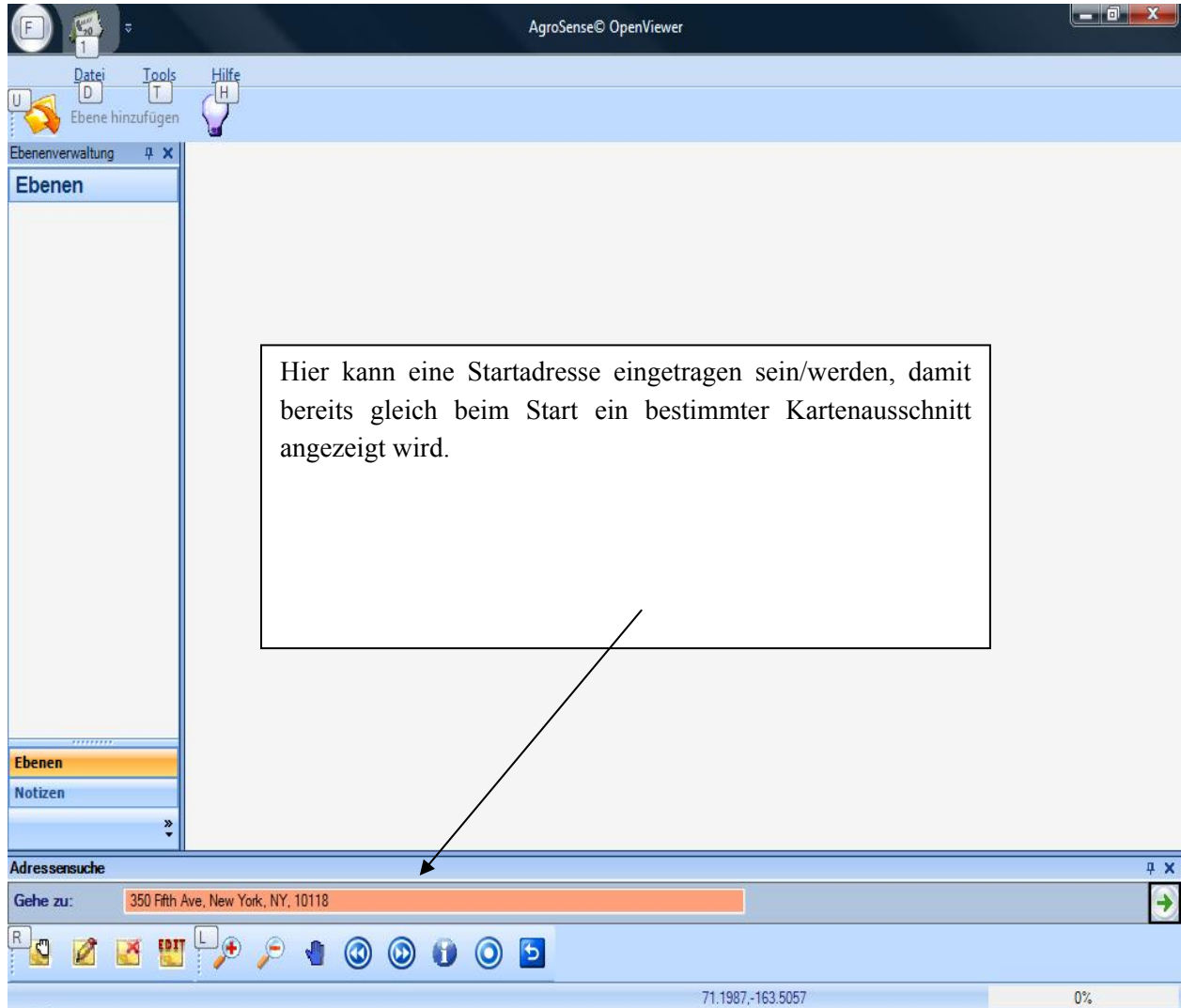
        [XmlAttribute("languageID")]
        public string languageID;

        [XmlAttribute("languageLocaleID")]
        public string languageLocaleID;
    }
```

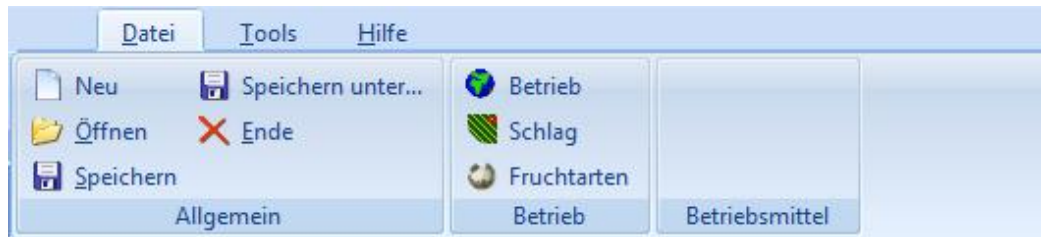
5.4.5.2 AGRO-SENSE® OpenViewer: Kurzanleitung zur Bedienung

appendix 2: tutorial for the handling

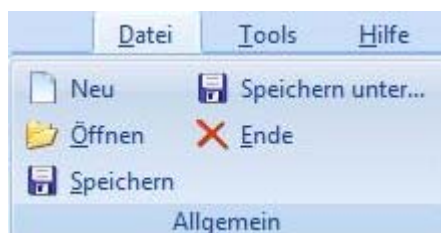
Eröffnungsbild



Klickt man mit der Maus auf die Menü-Punkte **Datei**, **Tools** bzw. **Hilfe** werden die darunter liegenden Untermenüs aufgeklappt und angezeigt.



Programmtechnisch kann man Einträge innerhalb eines Menüpunktes relativ beliebig gruppieren, z. B. sind unterhalb **Datei** die Gruppen **Betrieb** und **Betriebsmittel** exemplarisch eingefügt. Mit den Menüpunkten Betrieb, Schlag und Fruchtart wird die Möglichkeit der Erweiterung des Viewers demonstriert, konkrete Inhalte können derzeit damit nicht aufgerufen werden.



Menü **Datei**

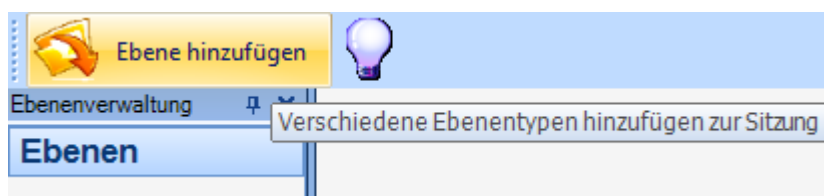
Neu: eine neue Session anlegen (das bedeutet auch, dass geöffnete Ebenen geschlossen werden)

Öffnen: öffnen vorhandener Sessiondaten und Anzeigen der darin enthaltenen Ebenen

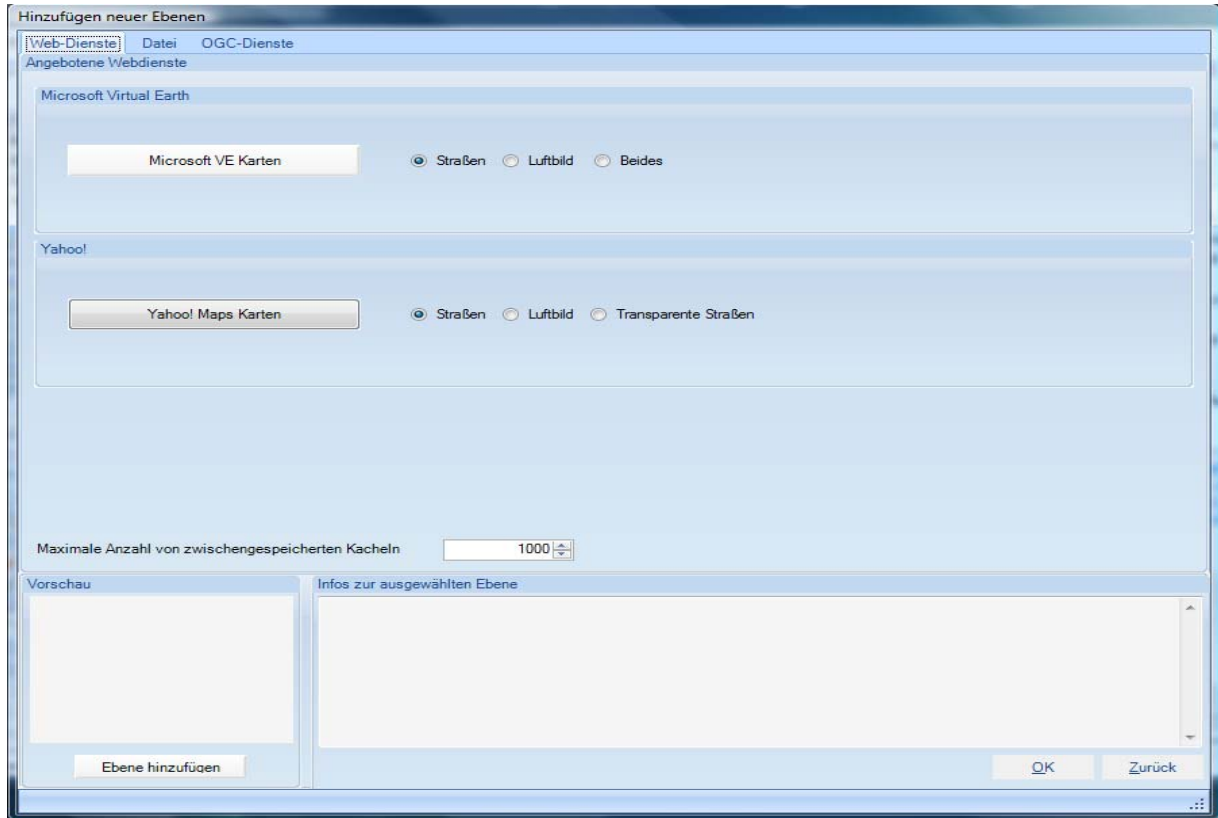
Speichern: .. der Sessiondatei

Format für Session: Geospatial Session files (*.gsf)

Einer vorhandener oder neu geöffneten Session können Ebenen hinzugefügt werden.



Es öffnet sich folgendes Fenster

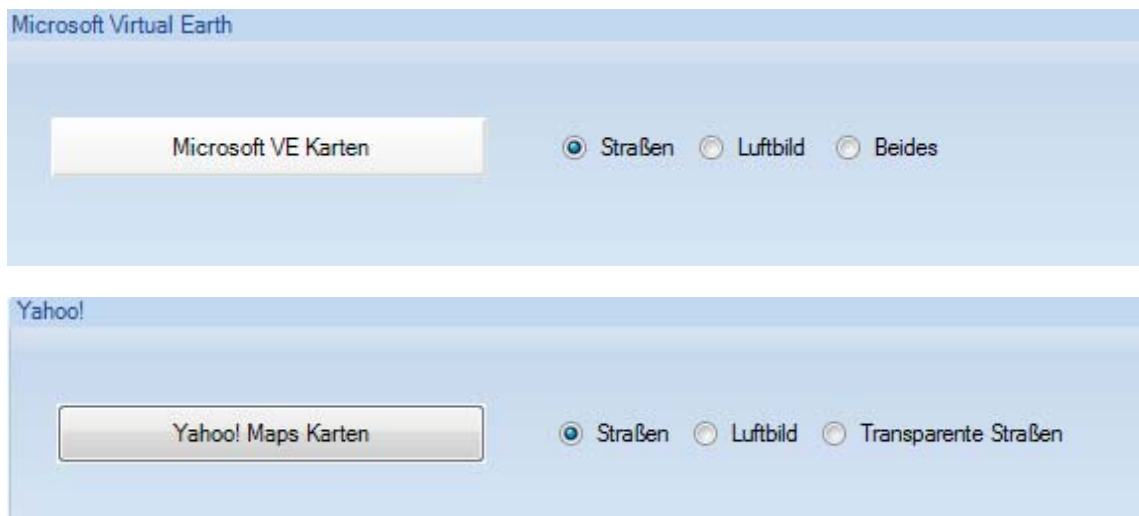


Man hat also folgende Möglichkeiten

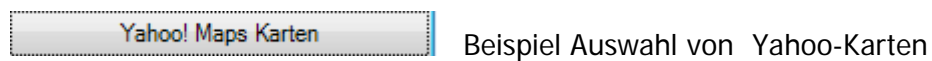


Webdienste auszuwählen, Dateien aufzurufen oder OGC-Dienste in Anspruch zu nehmen.

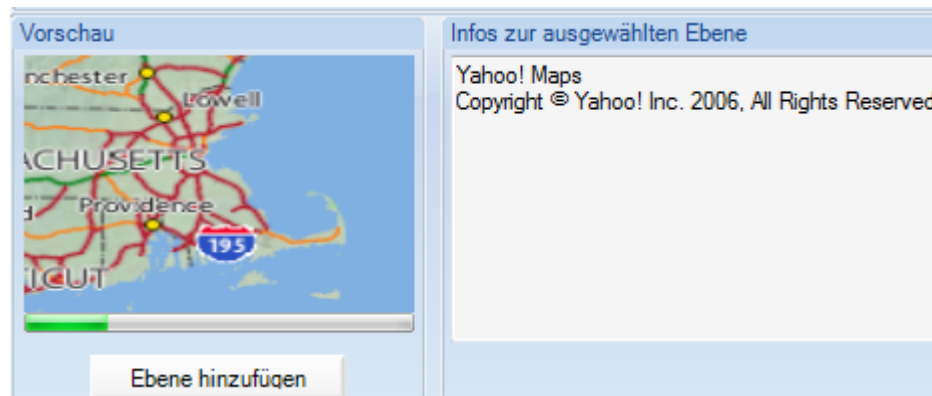
1. Webdienste auswählen



Diese zwei Webdienste sind leicht zu implementieren. Für die Anzeige werden die Komponenten von CarbonTools verwendet. Diese Komponenten bieten dann auch die Funktionalitäten im GIS-Bereich wie Zoom in, zoom out.

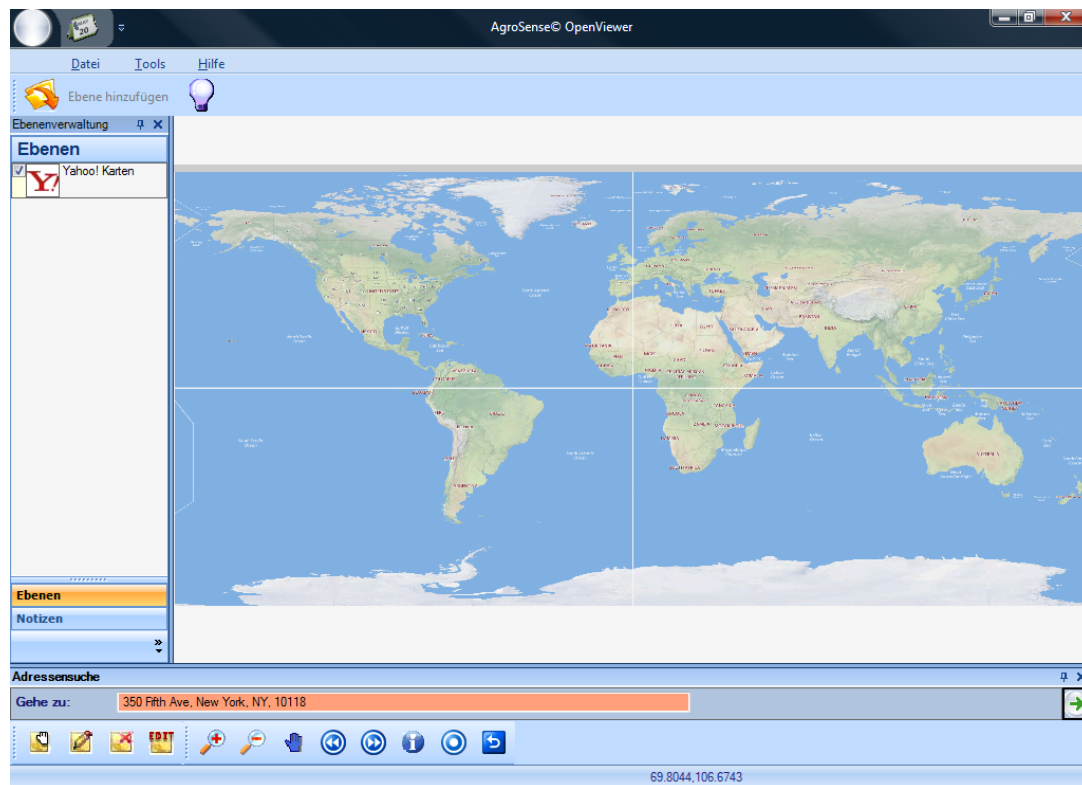


Es erscheint in der linken unteren Ecke eine Vorschau



Über **Ebene hinzufügen** kann entschieden werden, ob die Auswahl der aktuellen Session tatsächlich hinzugefügt wird.

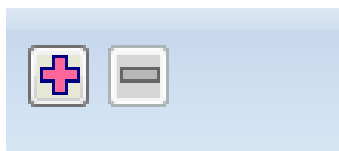
Ergebnis:



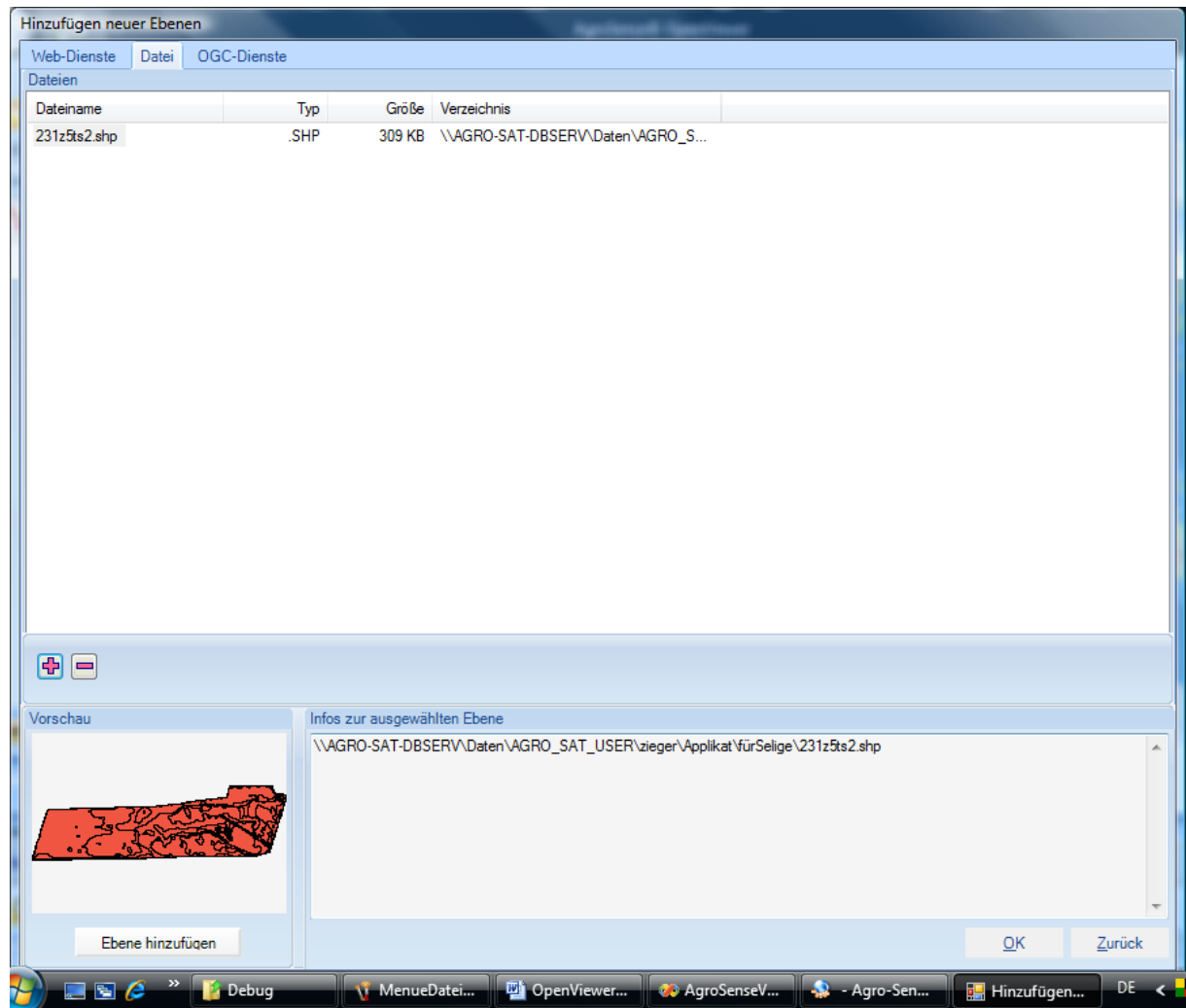
2. Datei hinzufügen

Web-Dienste		Datei	OGC-Dienste	
Dateien				
Dateiname	Typ	Größe	Verzeichnis	

In der Tabelle werden die zuletzt ausgewählten Dateien für einen schnellen erneuten Zugriff aufgelistet.

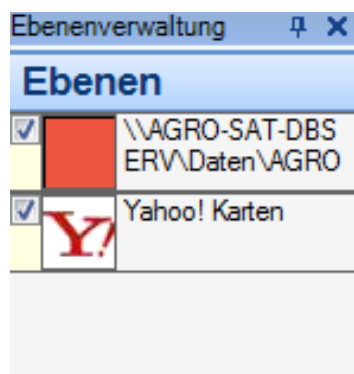


Mittels der zwei Button unterhalb der Tabelle kann man Dateien aus der Tabelle entfernen (**Minus**) oder bei **Plus** über einen geöffneten Dateidialog eine Datei aus einem beliebigen Verzeichnis auswählen.



Die neu ausgewählte Datei wird in die Tabelle eingetragen, unten links erscheint wieder eine Vorschau.

Im Hauptfenster werden alle ausgewählten Ebenen angezeigt.



Über das Häkchen vor der jeweiligen Ebene kann man wählen, ob diese aktuell angezeigt werden soll oder nicht erscheint (Ebene bleibt geladen, ist dann aber sozusagen „unsichtbar“).

Hauptfenster : Navigationsleiste



Bedeutung der Zeichen (von links nach rechts)

Zoom vergrößern

Zoom verkleinern

Ansicht verschieben

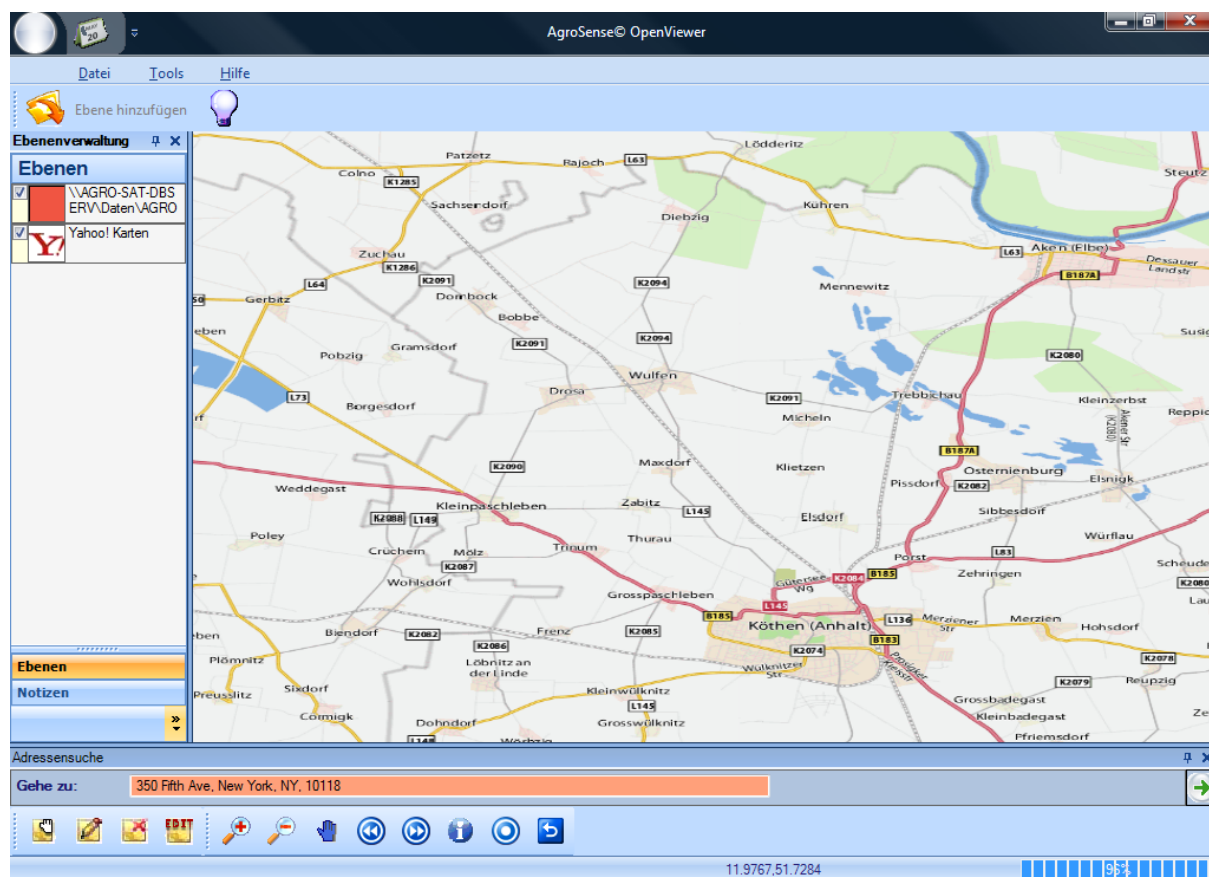
Zur vorherigen Ansicht wechseln

Weitergehen zur nächsten Ansicht

Information zur ausgewählten Ansicht

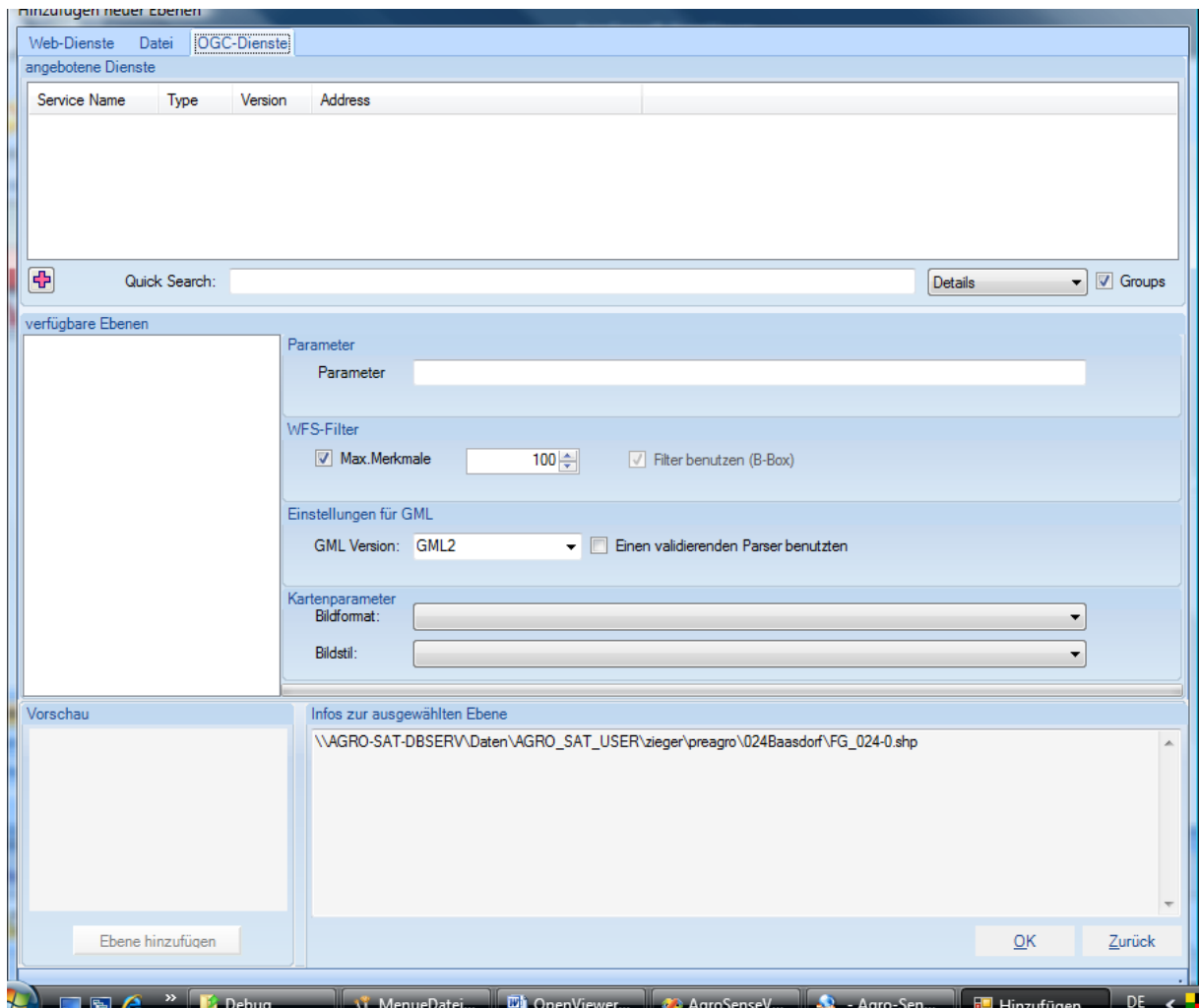
Auf alle Ebenengrenzen vergrößern

Ausschnitt neu zeichnen



Beispiel der Yahoo-Karte: Hier über mehrere Schritte reingezoomt, die Kartenausschnitte werden dann automatisch angepasst, detaillierter gezeigt.

3. Möglichkeit für Ebenen hinzufügen sind (OGC- Dienste) Webservices



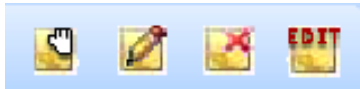
über den **PLUS** - Button ist das Hinzufügen von Diensten möglich

Eingabe folgender Details ist notwendig

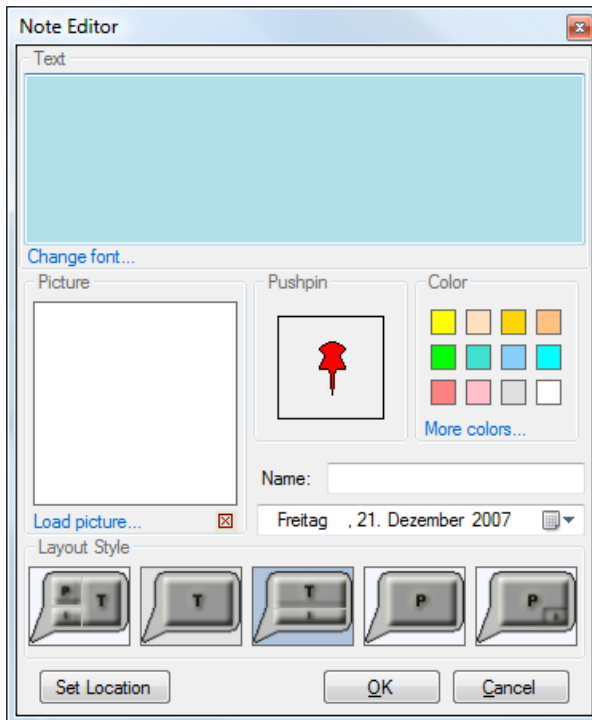
Verschiedene Arten von Diensten sind wählbar
WMS, WCS ...

Bei einer Weiterentwicklung kann man beispielsweise (für eigene Kunden) die Adressen für Dienste vorgeben, die der jeweilige Kunde direkt abrufen kann wie z. B. Schlaggrenzen, ausgewertete Bilder etc.

Zur Erklärung oder Illustration der Sessions kann man mittels Notizen zusätzliche Informationen einfügen.



- Notizen verschieben
- Notizen hinzufügen
- Notizen löschen
- Notizen bearbeiten

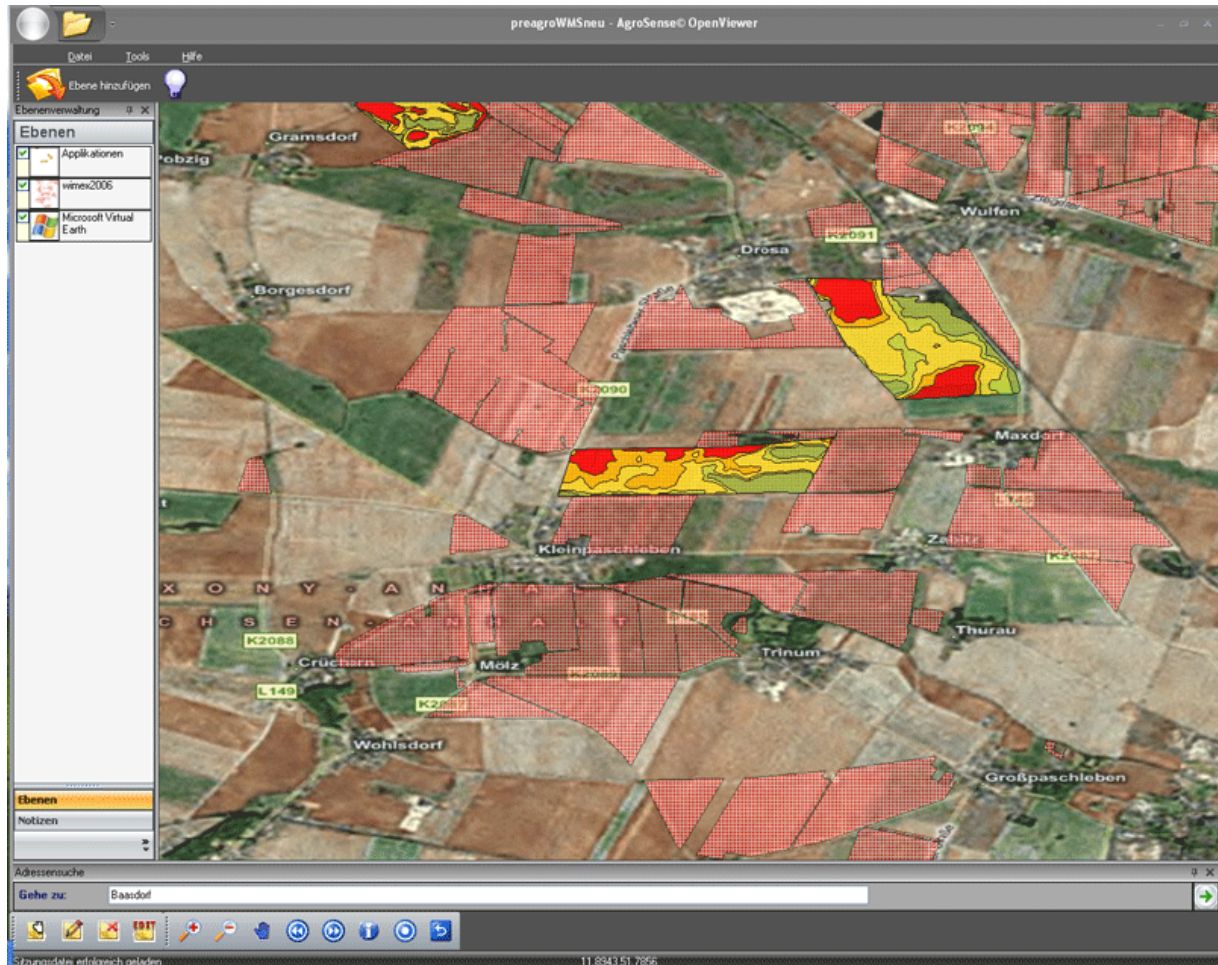


Beispiel: **Notizen neu**

reichliche Auswahl an Farben, Bildchen (Pins), auch das Einfügen eigener Pins ist möglich



Beispiel einer Notiz



Beispiel: verschiedene Informationen der einzelnen Ebenen werden in einer Session gemeinsam angezeigt

5.5 Konzepte und Schnittstellen bei der Standardisierung von Office-Software zur Integration von Prozessdokumentationen bei Precision Farming

Concepts and interfaces with the standardization of office software to integrate process documentation with precision farming.

Kai Oetzel

Zusammenfassung

In der informationsgeleiteten Landwirtschaft sind die Vernetzung der unterschiedlichen Akteure und die Übertragung von Informationen zwischen diesen Akteuren von zentraler Bedeutung.

Dem Landwirt als Erzeuger der Basisprodukte für Lebensmittel kommt dabei die Rolle einer Schaltzentrale für Informationsflüsse in die Wertschöpfungskette zu.

Unter dem Gesichtspunkt der Vernetzung müssen dem Landwirt daher Instrumente zur Verfügung stehen, die einerseits die Informationsgewinnung in möglichst automatisierter Form ermöglichen und andererseits deren Weiterleitung an den gewünschten Empfänger.

Beides muss in einer Form erfolgen, die beim Landwirt ein Minimum an Kenntnissen über Datenformate und Datenübertragungsverfahren voraussetzen.

Summary

The subproject 18 of the research project *pre agro* has developed concepts and interfaces for office software systems on farms as part of an extensive information system which provides information for a sustainable agricultural land use.

One activity of this module was to design the agroXML scheme together with the other modules in the project domain 2 “information management”. Based on existing standards like ebXML and GML, documents for each context of data transfer were designed with a special respect of spatial data for precision farming

The main work was invested to develop and to implement import interfaces in the field record keeping software AGRO-NET for several types of agroXML documents like “Arbeitsdokumentation” (job documentation) and “Maßnahmentransportdokument” (activity transport document) which can be used as an first example to transfer data from the server based automated ISO 11783 process data documentation of subproject 8.

This type of interface consists of two parts, where one part is the interfacing between agroXML scheme and internal proprietary data structures of the farm management software and the other part is the data acquisition technology between farm management software (client) and the process data server.

For the first part automated source code generators for Microsoft Visual Studio .net were evaluated, which were found to not being able to cope with complexity of the agroXML scheme. For the second part (the data acquisition) WFS (web feature service) technology was introduced.

One task for subproject 18 was the integration and optimisation of spatial data in different levels of agroXML documents and the connection to existing spatial data in farm management systems.

Another step was to evaluate and integrate other OGC conform web service technologies like web mapping services (WMS) and transactional web feature services (WFST) in the agricultural office software.

The main result of WP 18 was a software library with classes to serialize and deserialize agroXML elements as well as to read and write agroXML documents. It can be integrated in any software which is able to utilize Microsoft .NET assemblies.

As another result this library was successfully used to set up different show cases within the WP 18:

- Show case REPRO-Determination of indicators for ecological sustainability (in cooperation with WP 1)
- Show case field registration at an hail insurance
- Show case creation of application map
- Show case job definition and documentation.

5.5.1 Einleitung und Problemstellung

5.5.1.1 Aus fachwissenschaftlicher Sicht

In Daten verarbeitenden Systemen besteht grundsätzlich die Notwendigkeit Informationen zwischen unterschiedlichen Prozessen auszutauschen. Diese allgemeine Anforderung lässt sich insbesondere in komplexen Prozessketten wie der Erzeugung von Basisprodukten für die Lebensmittelproduktion auf landwirtschaftlichen Betrieben erkennen. Jeder Teilprozess für sich betrachtet ist in sich komplex und aus Sicht der begleitenden Informationsverarbeitung anspruchsvoll zu modellieren.

In der Terminologie der Informationstechnologie spricht man von Geschäftsprozessen und deren Vernetzung.

In der Landwirtschaft werden seit vielen Jahren unterschiedliche Geschäftsprozesse modelliert und in Form von Softwareprodukten gekapselt. Die Verfügbarkeit moderner Softwareentwicklungs- und -modellierungswerkzeuge ermöglichen die Abbildung einer wachsenden Zahl immer komplexerer Geschäftsprozesse.

Wurden zu Beginn der Nutzung von Informationstechnologien in der Landwirtschaft nur einfach strukturierte Prozesse wie die Buchführung abgebildet, modelliert man heute auch komplexe biologische Prozesse, wie die Ermittlung des Düngedarfs von Kulturpflanzen unter Berücksichtigung aller relevanten Parameter.

Darüber hinaus wurde zunächst die Modellierung pflanzenbaulicher und ökonomischer Geschäftsprozesse lediglich auf Ebene ganzer Schläge vorgenommen. Die Verfügbarkeit der GPS-Technologie ermöglichte dann die Betrachtung auch kleinräumigster Teilflächen. Durch die Einführung der räumlichen Komponente steigt jedoch die Menge der zu verarbeitenden Informationen sowie die Komplexität der Geschäftsprozesse rasant an. Unter anderem ein Grund dafür, dass der Begriff der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung zwar seit mehr als zehn Jahren bekannt ist, die Verbreitung in der Praxis aber immer noch vergleichsweise gering ist.

Aus Anwendersicht sind die Hauptanforderungen an die Umsetzung von Geschäftsprozessen die einfache Handhabbarkeit, sowie die transparente Vernetzung und Orchestrierung dieser Prozesse. Die hohe innere Komplexität der Geschäftsprozesse und deren Verbindung untereinander müssen dem Anwender verborgen bleiben.

Die wachsende Komplexität der modellierten Geschäftsprozesse resultiert in feinerer Granularität und höherer Anzahl der Teilprozesse. Dies fordert höhere Spezialisierung bei gleichzeitig steigendem Grad an Expertise bei den umsetzenden Personen, Organisationen und Firmen. Tauschen Teilprozesse zudem intensiv Informationen untereinander aus, ist die Standardisierung und Durchgängigkeit der zu konzipierenden Austauschformate und -mechanismen von zentraler Bedeutung. Je intensiver an der Standardisierung von Schnittstellen gearbeitet wird, umso effizienter können Prozesse und ganze Softwaresysteme Daten miteinander austauschen.

Auf dem landwirtschaftlichen Ackerbaubetrieb werden seit nunmehr zwei Jahrzehnten Softwaresysteme als Managementinstrumente zur Organisation und zum Controlling betrieblicher Abläufe eingesetzt.

Seit rund einem Jahrzehnt sind Softwaresysteme für die Landwirtschaft verfügbar, die das betriebliche Management räumlicher Informationen ermöglichen, welche die Grundlage für das Precision Farming darstellen.

Der Nutzen solcher Softwaresysteme für den Landwirt als Entscheidungsgrundlage für die ökonomische und pflanzenbauliche Optimierung seines Betriebes ist heute weitestgehend akzeptiert.

Die wachsenden Anforderungen an den Landwirt hinsichtlich der Dokumentation des Produktionsprozesses lassen seit einigen Jahren betriebliche Softwaresysteme nun auch unter dem Aspekt der Nachweisführung gegenüber dem Gesetzgeber (z. B. Stichwort Cross-Compliance), sowie gegenüber den weiterverarbeitenden Instanzen der Wertschöpfungskette als unentbehrlich erscheinen.

Informationen deren Erhebung und Nutzung ursprünglich rein auf den Betrieb fokussiert waren, sehen sich unter dem Aspekt über- und außerbetrieblicher Informationsbedürfnisse einer steigenden Notwendigkeit nach Informationsvernetzung ausgesetzt.

Bedingt durch dezentrale Datenhaltungsstrukturen und heterogene Softwaresysteme auf den landwirtschaftlichen Betrieben zieht die Forderung nach betriebsübergreifender Vernetzung von Informationen gleichzeitig die Notwendigkeit standardisierter Datenaustauschszenerarien, sowie standardisierter Datenformate nach sich.

Der Landwirtschaftliche Betrieb rückt immer stärker in den Mittelpunkt zwischen der Prozessdokumentation auf dem Feld und der Weitergabe der daraus aggregierten Informationen hinein in die nachgelagerten Bereiche wie der Wertschöpfungskette, der Agrarverwaltung u. a.

Die Anforderungen an standardisierte Datenaustauschformate und -konzepte, die sich aus den vielfältigen Anwendungsbereichen für die im Betrieb aggregierten Prozessdaten ergeben, erfordern insbesondere unter dem Aspekt von räumlichen Informationen des Precision Farming die umfangreiche Konzeptionsarbeit innerhalb eines Forschungsprojektes.

Unter rein kommerziellen Aspekten betrachtet wäre lediglich eine isolierte produktbezogene Betrachtung eines bestimmten Datenaustauschszenerarios möglich. Erst die gezielte Förderung dieser Arbeit erlaubt eine ganzheitliche exemplarische Konzeption verschiedener Datenaustauschszenerarios betrachtet aus Sicht des Management-Systems auf dem Betrieb.

Dazu ist es notwendig die wichtigsten existierenden Standards und Werkzeuge zur Gestaltung von Datenaustauschkonzepten in die Arbeit des Teilprojektes zu integrieren. Dies sind neben automatischen Klassengeneratoren für kommerzielle Entwicklungssysteme wie Microsoft Visual Studio .net auch Standards zur Geodatenmodellierung wie GML (Geographic markup language, ISO 19136) und natürlich XML, sowie Tools zur Modellierung von XML-Schemata.

Für die Vernetzung von Systemen über das Internet müssen schließlich Standards zur Gestaltung von Web-Service Schnittstellen berücksichtigt werden, wie z. B. WFS (Web Feature Service, ISO 19142).

Unter Verwendung existierender Standardwerkzeuge zur Modellierung und Entwicklung lassen sich exemplarische Lösungen schaffen, die nach Beendigung des Forschungsvorhabens schnell und einfach auch in anderen kommerziellen Office-Softwaresystemen umsetzbar sind.

5.5.1.2 Aus Sicht des Gesamtprojektes

Das Leitbild der Informationsgeleiteten Landwirtschaft mit Precision Farming und den daraus resultierenden Problemstellungen manifestieren sich am augenscheinlichsten in den Arbeiten der Teilprojekte des Projektbereichs 2 „Informationsmanagement“.

Das dort zu gestaltende Informationssystem stellt primär die Infrastruktur für die Erfassung von Daten aus der Urproduktion landwirtschaftlicher Güter über die Speicherung und Auswertung bis hin zur Weitergabe dieser und abgeleiteter Informationen hinein in die Wertschöpfungskette dar (Projektbereich 1, Integrationsebene Wertschöpfungskette).

Die Menge und Vielfältigkeit der Daten aus den Prozessen in der Pflanzenproduktion erfordert neue Technologien und Konzepte für Datenschnittstellen und ein hohes Maß an Standardisierung. Dazu muss auf der einen Seite bereits bei der Erfassung auf dem Feld ein Standard wie die ISO11783 (ISOBUS) eingesetzt werden und auf der anderen Seite bei der Übertragung in die Office-Software auf dem Betrieb wiederum ein Standard bzgl. Struktur und Inhalt der Daten.

Schließlich bildet ein großer Teil der auf dem Betrieb vorliegenden Daten die Grundlage für die Bestimmung der Nachhaltigkeitsindikatoren innerhalb der Wertschöpfungskette. Durch die explizite Einbeziehung der teilflächenspezifischen Betrachtung wird hier bereits das Fundament für eine Rückverfolgbarkeit bis auf Teilschlagebene gelegt.

Daneben ist die Office-Software auf dem Betrieb zentraler Teil des Gesamtinformationssystems. Es werden dort Daten der Standortcharakterisierung (Projektbereich 3) im Bereich räumlicher Informationen, wie z. B. Bodenleitfähigkeitsdaten und Informationen aus der Bestandescharakterisierung (Projektbereich 4) wie Sensordaten (z. B. Crop-Meter) gehalten.

Auf Ebene der Dateninhalte stellt die Arbeit am Datenformat agroXML den zentralen Verknüpfungspunkt des Teilprojektes 18 im Projektbereich 2 mit den Teilprojekten 8 (automatisierte Prozessdokumentation), 7 (Konzept zur Geodateninfrastruktur und Workflow bei Precision Farming im Gesamtbetrieb), 17 (Bereitstellung von externen und internen Informationen im Betriebsablauf) dar. Unter Führung des Teilprojektes 19 agroXML werden in dieser gemeinsamen Arbeit sowohl die Dateninhalte analysiert und strukturiert, als auch Datenströme erfasst und in reproduzierbarer Form modelliert.

Aus Sicht des Gesamtprojektes kommt dem TP 18 die zentrale Aufgabe zu, eine Office-Software auf dem Landwirtschaftlichen Betrieb zur Informationsdrehscheibe auszubauen, die Anforderungen aus den anderen Projektbereichen bzgl. Bereitstellung und Weitergabe betrieblicher, pflanzenbaulicher und standortspezifischer Prozessdaten genügt, die größtenteils räumlich strukturiert sind. Unter Beach-

tung dieser Anforderungen werden Schnittstellen konzipiert, die einen Großteil der aus dem Projekt bekannten betrieblichen Informationen abbilden können und gleichzeitig so universell sind, dass auch heute noch nicht bekannte Informationsbedürfnisse der unmittelbar an den landwirtschaftlichen Betrieb angrenzenden Bereiche erfüllt werden können.

5.5.2 Vorgehensweise

Die Teilprojekte im Projektbereich 2 haben das gemeinsame Ziel, ein Informationssystem entlang der Wertschöpfungskette für Lebensmittel aufzubauen. Auf Ebene der einzelnen Akteure der Kette befinden sich heterogene, dezentrale Strukturen, die Informationen vorhalten, erzeugen und weiterreichen.

Zentraler Bestandteil ist dabei die gemeinsame Arbeit an dem Datenaustauschformat agroXML um den durchgängigen Datenaustausch zwischen den einzelnen Akteuren zu ermöglichen.

Gemäß der Struktur von agroXML, die sich an den von OASIS und UN/CEFACT unterstützten und in der ISO 15000 normierten ebXML-Standard (ebXML =electronic business using XML) anlehnt, werden zunächst alle Datenstrukturen aller Austauschszenarios in kleinste Komponenten, s.g. core components zerlegt und anschließend in komplexeren Strukturen zu s.g. aggregate core components zusammengefasst.

Für den Datenaustausch in einem konkreten Kontext werden die komplexeren Strukturen zu Dokumenten zusammengefasst, die sich exakt an den Anforderungen des jeweiligen Kontexts orientieren. Es ist sinnvoll für jeden Kontext ein eigenes Dokument zu entwerfen, um die Eindeutigkeit der Datenelemente und deren Verständnis beim Empfänger zu gewährleisten.

Vor dem eigentlichen Datenaustausch steht jedoch eine Technik zur Kopplung der standardisierten Datenstrukturen und Dokumente von agroXML mit den internen proprietären Strukturen einer Office-Software (z. B. Schlagkartei, hier AGRO-NET aus dem Hause agrocom).

5.5.2.1 Entwicklung einer universellen agroXML Schnittstelle für Farm-Management-Systeme

Da die Zielstellung des TP 18 die Erstellung einer allgemeinen nutzbaren Schnittstellenbibliothek war, musste die im Rahmen von *pre agro* entwickelte Bibliothek in zwei Teile gegliedert werden, von denen ein Teil universell und unabhängig vom Management-System nutzbar ist:

agroXML BaseLib

Dies ist die Basisbibliothek mit Klassen zum Serialisieren und Deserialisieren von agroXML Instanzen oder anders ausgedrückt zum Lesen und Schreiben von agroXML Dokumenten entwickelt unter Microsoft Visual Studio .net, universell und unabhängig vom Management System nutzbar. Technisch wurde zunächst versucht Codegeneratoren zur Erzeugung von Basisklassen aus XML Schemata (XSDs) einzusetzen, um möglichst automatisiert und sicher die Basisklassen aus dem agroXML Schema erzeugen zu können. Damit sollte es möglich sein, sehr schnell die Basisbibliothek auf eine neue oder geänderte agroXML Schema Version anzupassen.

Dazu wurden die beiden Werkzeuge CodeXS und „XML Schema Definition Tool“ (Xsd.exe) von Microsoft erprobt. Bei der Erprobung stellte sich jedoch heraus, dass beide Werkzeuge zumindest während der Laufzeit von *pre agro* nicht in der Lage waren aus dem agroXML Schema Klassen zu

erzeugen, da die Anzahl von Verschachtelungen und Hierarchieebenen in agroXML von diesen Werkzeugen nicht verarbeitet werden konnten.

Somit mussten die Klassen zur Serialisierung und Deserialisierung manuell erstellt werden. Derzeit sind Werkzeuge unter der Programmiersprache Java verfügbar, die heute bereits dazu in der Lage sind, Codes aus dem komplexen agroXML Schema zu erzeugen. Für die Weiterpflege der BaseLib nach der Laufzeit von *pre agro* ist daher davon auszugehen, dass Code Generatoren für Microsoft VisualStudio .net weiterentwickelt werden und zukünftig ebenfalls in der Lage sein werden, Klassen aus dem agroXML Schema zu erzeugen. Ein wichtiger Aspekt für die Fortentwicklung der BaseLib aufgrund Erweiterungen am agroXML Schema.

Aufgrund der gewählten Architektur konnte mit der BaseLib das Ziel erreicht werden, eine allgemein nutzbare Schnittstellenbibliothek verfügbar zu machen, die in jedes beliebige Farm-Management-System eingebunden werden kann, das in der Lage ist, .net Assemblies anzubinden.

agroXML Modul Bibliothek

Diese Bibliothek hat drei Hauptfunktionen die im Kern die Kopplung der Datenbank des Farm-Management-Systems AGRO-NET an die agroXML Basisklassen der BaseLib ermöglichen

- a) Kopplung der agroXML Dokumente mit der AGRO-NET Datenbank. Inhalte für agroXML Dokumente aus der AGRO-NET Daten abrufen und umgekehrt aus agroXML Dokumente in die Datenbank einschreiben.
- b) Abgleich der agroXML Contentlisten mit den Stammdaten der AGRO-NET Datenbank. Dadurch wird sichergestellt, dass Inhalte in agroXML Dokumenten nach agroXML normiert sind. Zum Beispiel kann je nach Anwender die Schreibweise für „Winterweizen“ sehr unterschiedlich sein: W.-Weizen, Weizen, WW, Winterweizen, etc. Durch die Abgleichfunktionen wird jeder individuelle Begriff mit einem normierten Begriff gekoppelt und kann so unabhängig vom empfangenden System verstanden werden.
- c) Formatierung und Entschlüsselung agroXML Dokumenten. agroXML Daten werden je nach Anwendungsfall in Dokumenten strukturiert. Die Zusammenhänge der Datenelemente innerhalb eines agroXML Dokumentes werden in diesem Bibliotheksteil an die Zusammenhänge der entsprechenden Daten aus der AGRO-NET Datenbank gekoppelt.

5.5.2.2 Entwicklung und Erprobung einer OGC konformen WFS-Schnittstelle

Die Vernetzung zwischen der Office-Software und einer Datenquelle, wie z. B. den automatisch erfassten und zentral gespeicherten ISO 11783 Prozessdaten im APDS des TP 8 erfordert zusätzlich eine Technik zur Web-gestützten Datenabfrage und Datenübertragung. Dazu wird vom TP 8 auf der serverbasierten Datenbank APDS ein Web-Service gemäß dem von der OGC (Open Geospatial Consortium) normierten WFS (Web Feature Service) implementiert und in der Office Software ein zugehöriger WFS Client. Der WFS ermöglicht einerseits die Abfrage, welche Daten und Datenstrukturen (s.g. Features) auf dem Server vorhanden sind und andererseits die Abfrage der Daten selber. Es handelt sich somit um eine generische Lösung, die auf andere Datenaustauschscenarios direkt übertragbar ist.

In Form eines neuen agroXML Dokumentes wird eine spezielle Datenaustauschstruktur geschaffen, welche die Übertragung von ISO 11783-spezifischer Datensätze ermöglicht.

Um Daten aus dem APDS oder anderen beliebigen Servern mit OGC konformen Web-Services abzufragen wurde in die universelle Bibliothek „BaseLib“ ein OGC konformer WFS Client implementiert der eine kombinierte räumliche und zeitliche Abfrage von Daten ermöglicht.

In der Datenabfrage des Client an das APDS wird dazu der entsprechende Web-Service mit einem Schlagumring und einem Zeitraum in GML formatiert aufgerufen.

Die zurück gelieferten Daten werden im zweiten Schritt den internen Strukturen der Office-Software zugeordnet. In diesem Fall werden automatisiert dokumentierte Arbeitsgänge innerhalb des angefragten Schlagumringes und innerhalb des angefragten Zeitraumes mit ihren räumlichen Informationen (z. B. Fahrspuren mit Applikationswerten der Düngung) schlagspezifischen Buchungssätzen zugeordnet. Dabei entstehen auch bereits einige Basisdaten zur Bestimmung der Nachhaltigkeitsindikatoren in der Office-Software.

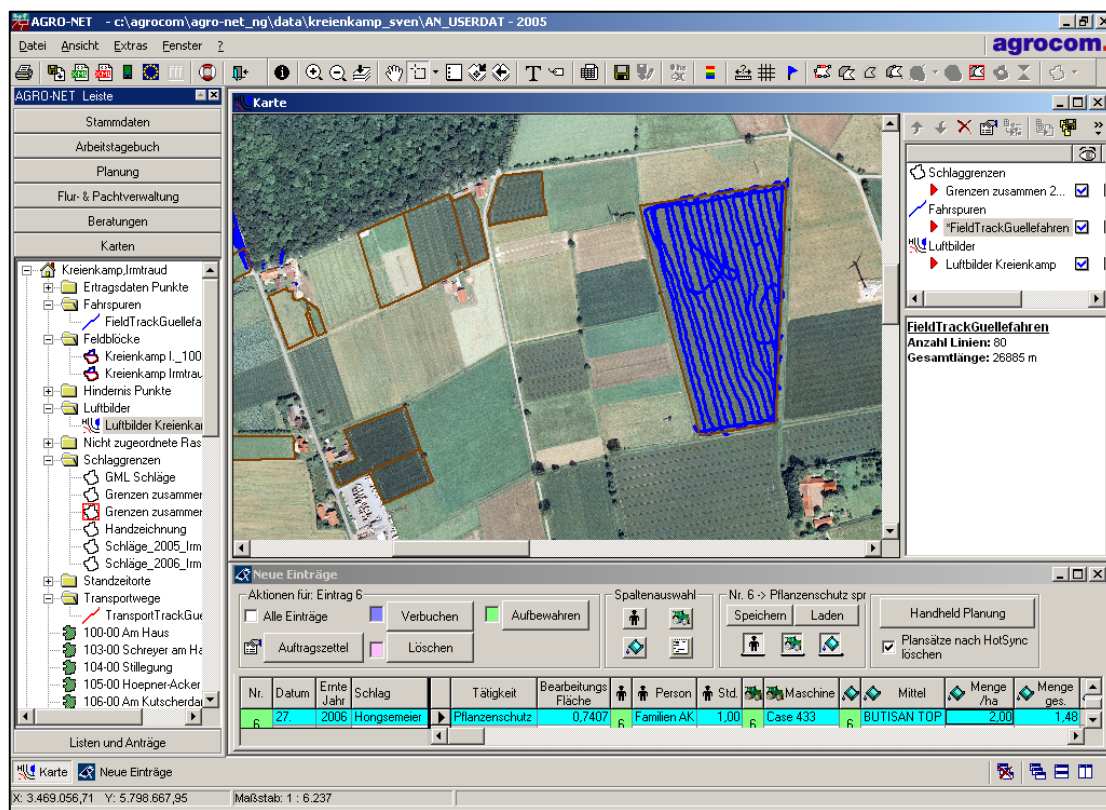


Abbildung 147: AGRO-NET mit Prozessdaten vom APDS des TP 8

Figure 147: AGRO-NET with process data from the APDS of WP 8

Die Einführung von Web Feature Services zum Datentransfer bedingt die Einführung von Elementen der GML (Geographic Markup Language) in agroXML. GML beinhaltet Regeln für die Strukturierung von Daten, über die ein WFS die Abfragbarkeit von Daten erst ermöglichen kann.

GML wird zusätzlich auch für die Abbildung von räumlichen Informationen benötigt, die in agroXML OGC konform übertragen werden sollen.

5.5.2.3 Mitarbeit bei der Weiterentwicklung von agroXML

Der agroXML Standard wird durch das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) innerhalb einer eigenen Arbeitsgruppe agroXML gepflegt.

Im Rahmen des *pre agro* TP 19 agroXML wurde ein spezieller Versionszweig des agroXML Standards ins Leben gerufen, in dem neue Konzepte und Technologien erprobt werden sollten.

Sowohl bei der Weiterentwicklung und Normierung des kommerziellen Entwicklungszweiges von agroXML (derzeit Version 1.2), als auch bei der Entwicklung des Forschungszweiges von agroXML (Version 2.0) haben sich die Projektmitarbeiter des TP 18 engagiert beteiligt. Dabei waren die langjährige Erfahrung der Firma agrocom bei der Erstellung und Vermarktung von Farm-Management-Systemen sehr hilfreich.

Neue Konzepte und Schemadefinitionen in agroXML wurden mit Hilfe des TP 18 und den darin entwickelten Schnittstellen-Prototypen immer zeitnah auf Praxistauglichkeit getestet. In vielen Fällen wurden konstruktive Vorschläge für Änderungen und Verbesserungen im Sinne einer besseren praktischen Nutzbarkeit von agroXML erarbeitet und vom KTBL und speziell vom TP 19 in agroXML umgesetzt.

Es zeigte sich über die gesamte Laufzeit von *pre agro*, dass trotz sorgfältigstem Vorgehen bei der Weiterentwicklung des agroXML Schemas, die praktische Erprobung in realer Software und realen Anwendungsfällen weitere Aspekte aufdecken konnte, die zuvor nicht bedacht wurden und nicht bedacht werden konnten.

Die aktuell erreichte Qualität und Praxistauglichkeit beider agroXML Versionsstränge ist daher nicht zuletzt durch die intensive Normierungs- und Testarbeit des TP 18 erreicht worden.

5.5.2.4 Erprobung von Schnittstellen für unterschiedliche Anwendungsfälle

Für die Nutzung der beiden agroXML Bibliotheken BaseLib und Modul Bibliothek in konkreten Anwendungsfällen ist derzeit die Interaktion mit Anwendern notwendig. Der Anwender muss je nach Anwendungsfall bestimmte Aktionen auslösen.

Für diese Anwenderinteraktion wurde das spezielle Rahmenprogramm AGRO-NET2agroXML entwickelt, das folgende Hauptfunktionen besitzt:

Updatemechanismen für

- Die Bibliotheken BaseLib und Modul Bibliothek selber
- agroXML Dokumente
- agroXML Contentlisten

Aufruf der agroXML Exportfunktionen für Daten aus AGRO-NET

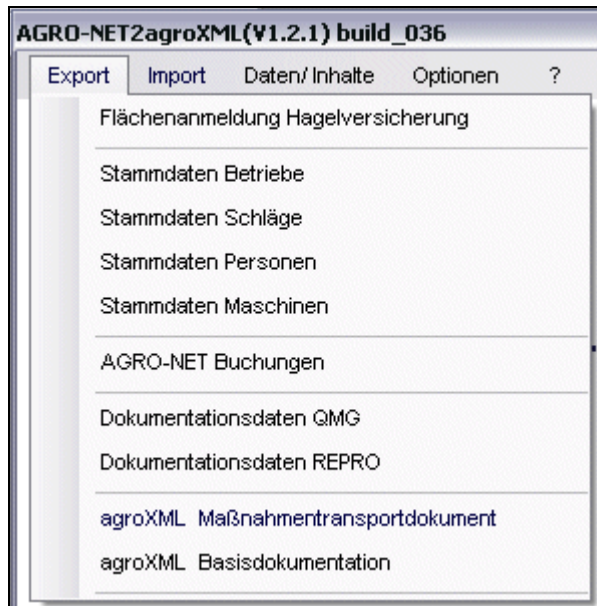


Abbildung 148: Export Menü in AGRO-NET2agroXML

Figure 148: Export menu in AGRO-NET2agroXML

Aufruf der agroXML Importfunktionen für Daten nach AGRO-NET

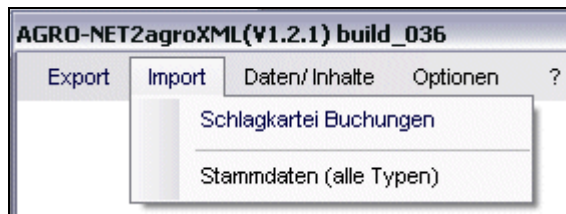


Abbildung 149: Import Menü in AGRO-NET2agroXML

Figure 149: Import menu in AGRO-NET2agroXML

Mapping-Funktion zum Abgleich von individuell erfassten Stammdaten in AGRO-NET mit normierten agroXML Stammdaten (=Contentlisten)

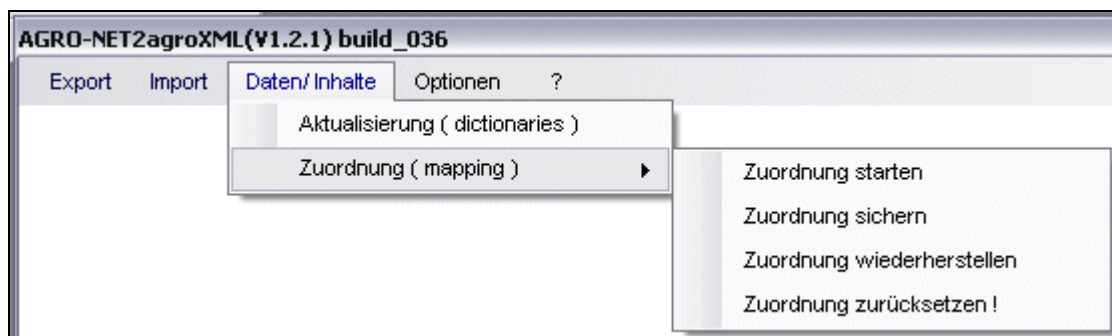


Abbildung 150: agroXML Aktualisierung und Zuordnungsmenü in AGRO-NET2agroXML

Figure 150: agroXML update and mapping menu in AGRO-NET2agroXML

Hilfe Funktion für die Programmbedienung



Abbildung 151: Hilfemenü in AGRO-NET2agroXML

Figure 151: Help menu in AGRO-NET2agroXML

5.5.2.4.1 Anwendungsfall REPRO-Bestimmung ökologischer Nachhaltigkeitsindikatoren

Zur Bestimmung von ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeitsindikatoren für landwirtschaftliche Betriebe im Rahmen der Arbeiten des TP 1 wird das System REPRO eingesetzt, das im Institut für nachhaltige Landnutzung (INL) in Halle/Saale entwickelt und gepflegt wird.

Notwendige Parameter für die Bestimmung dieser Indikatoren stammen aus den Produktionsdaten des landwirtschaftlichen Betriebes selber. Als Beispiel für einen projektbereichübergreifenden Anwendungsfall hat das TP 18 in Zusammenarbeit mit dem TP 1 einen Datenaustausch zwischen dem Farm-Management-System AGRO-NET und dem System REPRO zu konzipieren und prototypisch zu implementieren. Für den Anwendungsfall wurden exemplarisch die beiden ökologischen Indikatoren N und Humus ausgewählt.

Im ersten Schritt wurde dann in Zusammenarbeit mit den TP 1 und 19 agroXML ein neues agroXML Dokument konzipiert, mit dem die für die Bestimmung der beiden Indikatoren notwendigen Daten übertragen werden können – insbesondere alle organischen und mineralischen Düngemaßnahmen, sowie ggf. verbleibender Ernterückstände.

Im zweiten Schritt wurde die agroXML Modul Bibliothek (vgl. Kapitel 5.5.2.1 Entwicklung einer universellen agroXML Schnittstelle für Farm-Management-Systeme) erweitert, um die Dokument-Elemente mit den korrespondierenden Datenfeldern der AGRO-NET Datenbank koppeln zu können.

Im dritten Schritt wurde das System beim INL so erweitert, dass es die agroXML Dokumente mit den Parametern für die Bestimmung des N und Humus Indikators verarbeiten kann.

5.5.2.4.2 Anwendungsfall Erstellung Applikationskarte

In dem projektbereich 2 übergreifenden Anwendungsfall „Erstellung Applikationskarte“ sollten exemplarisch mehrere verteilte Prozesse realisiert werden, die über SOAP-Web-Services miteinander kommunizieren und dabei Daten in einem Standardformat austauschen.

Ergebnis der Berechnungen innerhalb der verteilten Prozesskette war die für Precision Farming zentrale Applikationskarte.

Die Rolle des TP 18 und des Farm-Management-Systems war die Realisierung einer Client-Funktionalität, welche die Anfrage nach einer Applikationskarte für einen Schlag absetzt und als einen Eingangsparameter zur Berechnung die Ertragskarte des Schlags übergibt.

5.5.2.4.3 Anwendungsfall Auftragsplanung und -dokumentation

Um beim überbetrieblichen Maschineneinsatz und der Einbindung externer Dienstleister die Dokumentation beim Landwirt lückenlos zu halten, wird in diesem Anwendungsfall exemplarisch aufgezeigt, wie die Auftragserteilung sowie die anschließende Rückübermittlung der Dokumentationsdaten vom ausführenden Landwirt oder Dienstleister erfolgt. Kommunikationspartner sind dabei das Farm-Management-System des Landwirtes und auf der anderen Seite das System des beauftragten Dienstleisters.

Sowohl für die Beauftragung der durchzuführenden Dienstleistung, als auch für die anschließende Dokumentation wurden vom TP 18 eigene agroXML Dokumente entwickelt und in der Modulbibliothek an die Datenbank des Farm-Management-Systems gekoppelt.

Durch die Verwendung von agroXML und den darin normierten Inhalten wird eine system- und datenbestandsübergreifende Durchgängigkeit von Aufträgen und Dokumentationsdaten erreicht.

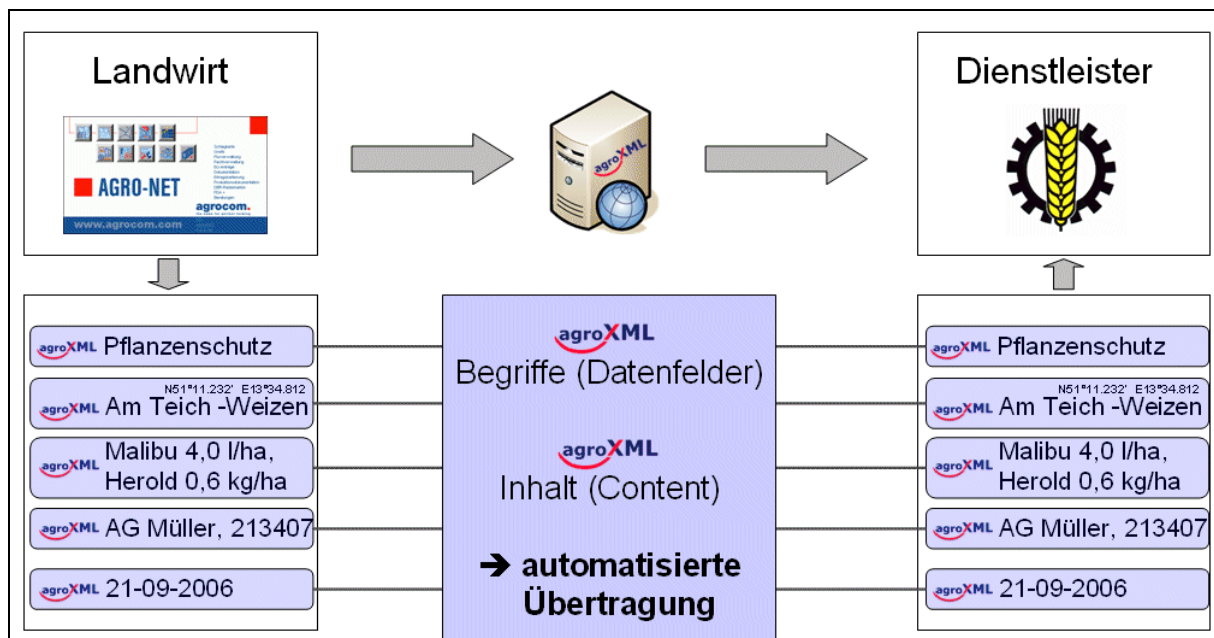


Abbildung 152: Übertragungsschema und Datenfelder für einen landwirtschaftlichen Dienstleistungsauftrag

Figure 152: Transfer scheme and data fields of a job for an agricultural contractor

5.5.2.4.4 Anwendungsfall Flächenanmeldung Hagelversicherung

In dem zuletzt umgesetzten Anwendungsfall wurde die elektronische Übertragung von zu versichernden Kulturen aus dem Farm-Management-System an die Hagelversicherung konzipiert und umgesetzt. Kommunikationspartner des Farm-Management-Systems ist in diesem Fall das zentrale System einer Hagelversicherung (hier die Vereinigte Hagelversicherung VVaG, Gießen), dem über eine in Abstimmung mit der Hagelversicherung entwickelten Webservice-Schnittstelle die zu versichernden Kulturen übertragen werden.

Der besondere Datensicherheitsaspekt bei dieser Anwendung wurde durch einen Authentifizierungsmechanismus berücksichtigt. Zudem wurden die übermittelten Flächendaten über eine Internetseite zur Kontrolle angezeigt und können dort ggf. nachbearbeitet werden.

Mittwoch, 07.11.2007 (1) **Achtung, dies ist die Testversion!!!**

Zugeordnete Positionen des Jahres (Angezeigt werden die für heute maßgeblichen Daten)

Die Liste der zugeordneten Positionen können Sie zusätzlich in einer [für den Ausdruck optimierten Form \(im PDF-Format\) anzeigen](#).

Hinweis: Erst nach Drücken der Schaltfläche "Eingabe bestätigen, Daten abschicken" gelangen die Daten zu uns.
Bitte überprüfen Sie vor dem Abschicken den Inhalt der folgenden Liste!

	↓ Feldmark ↓	Feldstück ↓	Fruchtart ↓	Sorte / Pflanzjahr ↓	KW ↓	Art ↓	Fläche in ha ↓	Hektarwert ↓	ha-Summe pro Fruchtart ↓	Vers.-Wert pro Fruchtart ↓
<input type="checkbox"/>	* Berlin	888-00, TEST888VHV	Sommerraps				8,89	1100	8,89	9800
<input type="checkbox"/>	* Berlin	777-00, TEST777VHV	Sommertriticale				7,78	2100	7,78	16400
<input type="checkbox"/>	* Berlin	666-00, TEST666VHV	Speisekartoffeln				6,67	6700	6,67	44700

Summe der Versicherungswerte: 70900 Euro
Fläche der zugeordneten Positionen: 23,34 ha

neuer Hektarwert: (Der von Ihnen eingegebene Hektarwert wird automatisch auf 100er gerundet!)

Um Versicherungsschutz in der gewünschten Form für die mit * markierten Positionen zu erhalten, bitte die Schaltfläche "Eingabe bestätigen, Daten abschicken" betätigen.

Fertig 10.1.5.5

Abbildung 153: Per agroXML angemeldete Flächen bei der Hagelversicherung

Figure 153: Fields registered for hail insurance using agroXML

Auf Seiten der Hagelversicherung ist zukünftig geplant auch Schlaggrenzen bei der Flächenanmeldung mit zu verarbeiten. Im Versicherungsfall soll damit eine genauere Vorprüfung ermöglicht werden. Durch Integration räumlicher Daten in agroXML ist diese Anforderung auf Ebene des Datenformates damit bereits berücksichtigt.

5.5.3 Ergebnisse

5.5.3.1 Normierungsstand und Grad der Praxistauglichkeit von agroXML

Über die gesamte Laufzeit des *pre agro* Projektes wurden beide Versionsstränge des agroXML Schemas konsequent weiterentwickelt. Sowohl der kommerzielle Versionsstrang in der aktuellen Version 1.3, als auch der *pre agro* Forschungsstrang in der aktuellen Version 2.0.

Die langjährige Erfahrung der Mitarbeiter im TP 18 bei der Erstellung kommerzieller Endanwendersoftware und der Mitwirkung in anderen Normierungsprozessen (z. B. ISO 11783 – ISOBus) konnte zielführend eingebracht werden.

Insbesondere wurde der Bereich der Contentlisten immer wieder auf Praxisrelevanz geprüft und in Zusammenarbeit mit dem KTBL (TP 19 agroXML) in zahlreichen Iterationsstufen verbessert, so dass mit der kommerziellen agroXML Version ein Stand erreicht wurde, der für Pflanzenbauliche Prozesse nachgewiesen praxistauglich ist. Konkret bedeutet dies, dass durch die aktuelle Form und Inhalt der Contentlisten der vollständige Grunddatenbereich eines Farm-Management-Systems aufbaubar ist. Dies sind im Kern:

- Maschinentypen
- Einheiten
- Früchte
- Sorten
- Düngemitteltypen
- Düngemittelnamen
- Pflanzenschutzmittel mit Zulassungsinformationen
- Wirkstoffe.

Ein konkretes Resultat daraus, das sich aktuell in der praktischen Erprobung befindet, ist der agroXML Stammdatenabgleich in der Anwendung AGRO-NET2agroXML. Der Anwender kann dialoggeführt seine individuell in der Farm-Management-Software AGRO-NET geführten Stammdaten mit den normierten agroXML Contentlisten abgleichen. Folgende Abbildung 154 zeigt exemplarisch den Abgleichdialog für Düngemittelarten.

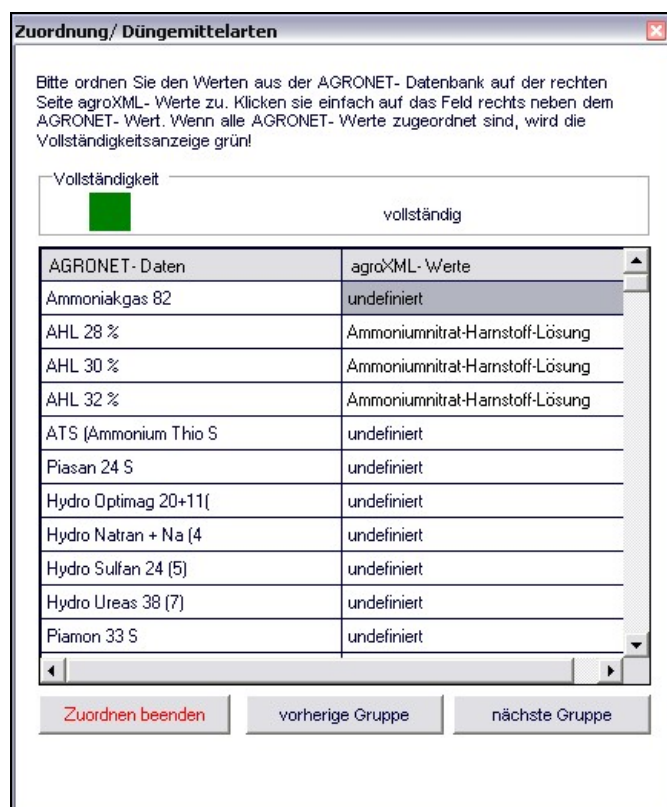


Abbildung 154: Abgleichdialog für Düngemittelarten

Figure 154: Assignment dialog for fertilizer types

In einer weiteren Ausbaustufe wird in Verlauf des Jahres 2008 eine Funktion in die Erprobungsphase kommen um Pflanzenschutzmittel in AGRO-NET automatisiert über die entsprechende agroXML Contentliste kontinuierlich fortzupflegen. Dabei wird beim Start von AGRO-NET über einen Web-

Service auf eine Aktualisierung der Contentliste mit Pflanzenschutzmittellisten geprüft und dem Anwender angeboten Ergänzungen an den Mitteln und Zulassungsdaten in den eigenen AGRO-NET Datenbestand zu übernehmen.

5.5.3.2 Entwicklungsstand der realisierten Schnittstellen und Anwendungsfälle

Das TP 18 hat wie unter Abschnitt 5.5.2.1 „Entwicklung einer universellen agroXML Schnittstelle für Farm-Management-Systeme“ beschrieben, eine allgemein verwendbare Bibliothek mit Serialisierungsklassen für Elemente in agroXML Dokumenten konzipiert und implementiert.

Die grundlegende Funktion ist die Abbildung der agroXML Komponenten in serialisierbaren Klassen, sowie Methoden zum Lesen und Erzeugen von agroXML Dokumenten.

Die Funktionsweise der Bibliothek kann exemplarisch am Beispiel der Umsetzung des agroXML StammdatenTransportDokument gezeigt werden. Das Stammdatentransportdokument dient der agroXML konformen Übertragung der betrieblichen Stammdaten: Betriebe, Schläge, Personen und Maschinen.

Nachfolgend sind dazu die beiden Quellen agroXML XSD-Schema und VisualBasic-Code aus der BaseLib gegenübergestellt. Damit soll eine mögliche und auch erprobte Art der Implementierung der Dokumentenklassen im Schnittstellen-Modul gezeigt werden.

Die agroXML-konforme Schemadatei zum StammdatenTransportDokument sieht wie folgt aus:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<xsd:schema
targetNamespace="urn:fhbingen:names:specification:agroxml:schema:xsd:Stammdatentransportdokument-1.2"
xmlns="urn:fhbingen:names:specification:agroxml:schema:xsd:Stammdatentransportdokument-1.2"
xmlns:agroxml="http://www.agroxml.de/schema/agroxml1.2"
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
elementFormDefault="qualified"
attributeFormDefault="unqualified"
version="1.2">
<xsd:import namespace="http://www.agroxml.de/schema/agroxml1.2"
schemaLocation="http://www.agroxml.de/schema/agroxml_1_2/common/AGROXML-CommonAggregateComponents-1.2.xsd"/>
<xsd:element name="Stammdatentransportdokument" type="StammdatentransportdokumentType">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>This element MUST be conveyed as the root element in any instance document based on this Schema expression
  </xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:element>
<xsd:complexType name="StammdatentransportdokumentType">
  <xsd:sequence>
    <xsd:element ref="agroxml:Betrieb" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
    <xsd:element ref="agroxml:Schlag" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
    <xsd:element ref="agroxml:Person" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
    <xsd:element ref="agroxml:Maschine" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>
</xsd:schema>
```

Besondere Beachtung liegt auf den Kardinalitäten der verschiedenen Elemente, wie z. B. Betrieb. Sie können n-mal erscheinen. Dieser Umstand wird auf VB-Codeseite mit einem Array abgebildet. Da in diesem Array Stammdaten() aller 4 Typen von Objekten (Betrieb, Person, Schlag, Maschine) zur

Laufzeit vorkommen können und dies erst zur Laufzeit feststeht, ist dies als Array vom Typ Object implementiert. In der Modulimplementierung muss das Array durchlaufen werden, wobei jedes Objekt auf seinen Typ abzufragen ist und dann gecastet wird. Für Namespaceangaben bietet es sich an, die in AgroXMLBasics implementierten Konstanten zu verwenden.

Der korrespondierende Visual Basic Code unter der Verwendung der BaseLib lautet dann wie folgt:

```
Imports System.Xml
Imports System.Xml.Serialization
Imports agroXMLV1_2_Base_LIB
Imports agroXMLV1_2_Base_LIB.AgroXMLBasics <Serializable(), XmlRoot("Stammdatentransportdokument", Namespace:=NS_STAMMDATENTRANSPORTDOKUMENT)> _

Public Class StammdatentransportDokument

<XmlAttribute("schemaLocation", Namespace:=System.Xml.Schema.XmlSchema.InstanceNamespace)> Public xsiSchemaLocation As String = AgroXMLBasics.SCHEMAWEBURI_CONTRIB & _
AgroXMLBasics.XSD_ORDNER_MAINDOC & _
AgroXMLBasics.XSD_STAMMDATENTRANSPORTDOKUMENT

<XmlElement("Betrieb", GetType(cacBetrieb), Namespace:=agroXMLV1_2_Base_LIB.AgroXMLBasics.AGROXML), _
XmlElement("Schlag", GetType(cacSchlag), Namespace:=agroXMLV1_2_Base_LIB.AgroXMLBasics.AGROXML), _
XmlElement("Person", GetType(cacPerson), Namespace:=agroXMLV1_2_Base_LIB.AgroXMLBasics.AGROXML), _
XmlElement("Maschine", GetType(cacMaschine), Namespace:=agroXMLV1_2_Base_LIB.AgroXMLBasics.AGROXML)> Public
Stammdaten() As Object

End Class
```

Die Stabilität und Praxistauglichkeit der BaseLib konnte in den unter Punkt 5.5.2.4 „Erprobung von Schnittstellen für unterschiedliche Anwendungsfälle“ aufgezählten Anwendungsfällen unter Beweis gestellt werden.

Eine kommerzielle Verwertung dieses Projektergebnisses bei dem Unternehmen agrocom ist bereits fest geplant. Die Nutzung durch andere Unternehmen ist ebenfalls problemlos möglich. Ein Handbuch zur Verwendung der BaseLib mit Codebeispielen zur Einbindung in beliebige Softwareprodukte wurde gemäß der Vorgaben aus dem Projektantrag dazu erstellt. Folgende Bereiche werden mit dem Handbuch abgedeckt:

- Allgemeine Anmerkungen zum Inhalt/Technologie
- Zugrunde liegende agroXML Version
- Verwendete Entwicklungsumgebung (IDE)
- Verwendetes Entwicklungsframework
- Sprache der Implementierung
- System-/Komponentenübersicht (Einbindung der Library)
- agroXML Struktur (Kurzeinführung)
- Verwendungsbeschreibung
- Contentlisten (WSDL und Dictionaries)
- Beispiel Dokumentenklassenimplementierung
- Beschreibung der Funktionen (AgroXMLBasics.vb)

- Beispiel für die Umsetzung der Vererbungsstruktur aus agroXML in VB.Net
- Besonderheiten der Implementierungen
- UML-Diagramme.

5.5.3.3 Schnittstellen für Precision Farming Anwendungen

Insbesondere durch die enge Zusammenarbeit mit dem TP 8 hat sich gezeigt, dass eine Datenübertragung von Inhalten des Precision Farming grundsätzlich über zwei Wege erfolgen kann, die beide im Rahmen der Arbeiten des TP 18 teilweise umgesetzt wurden.

5.5.3.3.1 Generischer Ansatz über GML und Web-Feature-Services

Bei diesem Ansatz werden Daten des Precision Farming als allgemeine Geoinformationen ohne normierte Metadaten angesehen. Die Abfrage von Daten im GML Format kann dann über einen OGC konformen Web Feature Service (WFS) erfolgen. Dies konnte erfolgreich im Rahmen des Statusseminars präsentiert werden, bei dem das Farm-Management-System AGRO-NET des TP 18 geokodierte Prozessdaten von Feldarbeiten vom Prozessdaten-Server (APDS) des TP 8 abgefragt und in Form eines Buchungssatzes mit Geodaten angezeigt hat. Vgl. auch die detaillierte Beschreibung dieses Szenarios unter Abschnitt 5.5.2.2 „Entwicklung und Erprobung einer OGC konformen WFS-Schnittstelle“.

Der Vorteil dieses Ansatzes liegt in seiner Allgemeingültigkeit. Jedes Farm-Management-System oder allgemeines geografisches Informationssystem mit einem WFS Client kann Daten abfragen und verarbeiten. Nachteil dieses Ansatzes ist, dass bei der Beschreibung von Geodaten keine normierten Metadaten verwendet werden. Es müssen zwischen den Kommunikationspartnern also immer Konventionen für die Definition verwendeter Begriffe in Metadaten geschlossen werden.

5.5.3.3.2 Spezialisierter Ansatz über Geo-Daten in agroXML

Für diesen Ansatz wurde in Absprache mit dem TP 19 agroXML Elemente um Geodaten ergänzt, die entweder Dokumentationsdaten oder Sollwerte für konkrete Tätigkeiten wie Düngung, Saat, Bodenbearbeitung, Ernte oder Pflanzenschutz enthalten. Bei der Definition von Geodaten wurden dabei Konstrukte aus GML verwendet (z. B. die Datenstruktur für ein Polygon).

In einem Arbeitsgangelement für eine Düngungsmaßnahme kann dann in agroXML entweder ein einheitlicher Behandlungsplan für das gesamte Feld hinterlegt werden (einfacher Sollwert) oder eine Applikationskarte mit Sollwertzonen.

Der Vorteil dieses Ansatzes ist die Verwendung normierter Begriffe und Daten für die Beschreibung von Precision Farming Inhalten. Der Nachteil ist, dass die Einführung neuer Datenebenen nur über eine Erweiterung des agroXML Standards möglich ist und dass die Anfrage und Übertragung von Inhalten bei agroXML über WebServices derzeit noch nicht standardisiert ist.

5.5.3.4 Integration von agroXML in kommerzielle Anwendungen

Aufgrund der über die Arbeit von *pre agro* erreichten Praxistauglichkeit von agroXML beginnen jetzt auch andere Hersteller von Agrar-Management-Systemen und Dienstleistungsunternehmen agroXML konforme Schnittstellen zu implementieren:

Beispiele dazu sind:

- Helm-Software mit dem Produkt Farmbox
- ISIP e.V. mit Abfrage von Behandlungsempfehlungen zu konkreten Kulturen
- Vereinigte Hagelversicherung mit der Übergabe von zu versichernden Flächen
- HSC Software mit einer elektronischen Rechnungsanlage in der Lohnunternehmer Software AGRO-LU
- agrocom GmbH im Rahmen der Nachweisführung für Kulturen zur Beschickung von Biogas-Anlagen.

Mit Verfügbarkeit der allgemein nutzbaren BaseLib wird die Anzahl agroXML basierter Anwendungen zukünftig weiter zunehmen. Systembedingt können dies zunächst jedoch nur Anwendungen sein, deren Entwicklungsumgebung die Einbindung von .net Assemblies erlaubt.

5.5.4 Diskussion

Die im Projektbereich 2 und insbesondere vom TP 18 umgesetzten Anwendungsbeispiele auf Basis einer allgemeinen agroXML Schnittstelle haben die großen Vorzüge der Verwendung von Standardformaten gezeigt:

- Ein- und Ausgaberroutinen werden einmalig und zentral für alle Anwendungen realisiert. Die Wartung ist daher nur an einer Stelle notwendig.
- Versionsanpassungen sind größtenteils auch nur an einer Stelle vorzunehmen.
- Konsistenz, Logik, Vollständigkeit des Datenformates werden durch die Arbeit einer unabhängigen Institution sichergestellt, durch welche auch Anwendungen zertifiziert werden können.
- Anforderungen kleinerer Unternehmen und Institutionen, die nicht in der Lage sind, eigene Branchenstandards zu etablieren, sind gewahrt.

Die in den Datenaustauschszenarios des TP 18 berücksichtigten Akteure spiegeln sicher nicht alle potentiellen Bereiche wieder, in denen ein Datenaustausch in der Landwirtschaft denkbar ist.

Das universelle Konzept von agroXML und der von agrocom entwickelten universellen Schnittstellenbibliothek BaseLib ist aber von vornherein darauf ausgelegt, auch die Informationsbedürfnisse von Akteuren in der Landwirtschaft zu befriedigen, die heute noch nicht in der erforderlichen Detaillierung formuliert sind.

Die Akzeptanz und auch die Verbreitung von agroXML hängen nicht zuletzt von den sichtbaren Anwendungen ab, die mit agroXML ermöglicht werden.

Bei dem Ziel möglichst viele Geschäftsprozesse in agroXML abbilden zu können, muss jedoch immer Ausgewogenheit zwischen dem Innovationsgrad in agroXML und der tatsächlich in Management-Systemen umgesetzten und umsetzbaren Innovationen sichergestellt sein. Dies ist eine grundlegende Herausforderung, da Überarbeitung und Ergänzung des agroXML Schemas immer deutlich einfacher und schneller ist, als die anschließende Umsetzung im Programmcode des jeweiligen Softwaresystems.

Zukünftige Entwicklungen werden sich neben der Integration von agroXML in weitere Geschäftsprozesse auch mit der Abbildung übergeordneter Workflows beschäftigen. Beim Weiterreichen von agroXML Dokumenten müssen zusätzlich zu der standardisierten Information auch Berechtigungen (Datenschutz, individuelle Sicherheitsbedürfnisse) berücksichtigt werden, Datenverdichtungen durchgeführt werden und asynchrone Übertragungen ermöglicht werden.

Dies sind Schwerpunkte des Themenfeldes Dateninfrastruktur, die neben informations-technischen Aspekten auch neue Möglichkeiten für innovative Geschäftsmodelle beinhalten werden.

Eine zentrale Aufgabe für die Arbeit nach *pre agro* wird auch die Einordnung des in Deutschland entwickelten Formates agroXML in den internationalen zumindest aber europäischen Kontext sein. Eine isolierte Betrachtung von Szenarien innerhalb Deutschlands wird mittelfristig sicher nicht dem grenzüberschreitenden Warenverkehr und dem europäischen Grundgedanken gerecht.

Am Beispiel des Anwendungsfalles „Erstellung einer Applikationskarte“ mit verschiedenen TPs des Projektbereiches 2 wurden auf technisch anspruchsvolle Weise Geschäftsprozesse miteinander verknüpft, die aus Sicht des Endanwenders – hier repräsentiert durch eine entsprechende Client-Anwendung des TP 18 – als eine Anwendung erscheinen. Damit wurde der technische Trend zur Verteilung komplexer Geschäftsprozesse in hoch spezialisierte Teilprozesse für die Landwirtschaft exemplarisch umgesetzt. Der Leitgedanke komplexe Geschäftsprozesse in einfachere Teilprozesse aufzuspalten und je nach Anwendungsfall neu zu orchestrieren ist ein eigener neuer Forschungsgegenstand, der u. a. durch diese Arbeit im Projektbereich 2 angestoßen wurde.

Neue Projekte wie beispielsweise das Verbundvorhaben "Robot to Business: Informationstechnische Integration teilautonomer Prozesse und mobiler Maschinen in Geschäfts- und Dienstleistungsmodelle (R2B)" im Rahmen des Förderprogramms SimoBIT des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie greifen dieses Thema nun auf und machen es zu einem zentralen Forschungsgegenstand.

Weiterführende Literatur/Internet-Verweise

Zu ISO 11783 – Teil 10 (XML-Taskcontroller Schnittstelle):

ISO/DIS 11783-10, *Tractors and machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network – Part 10: Task controller and management information system data interchange*

Zu ISO 19136 (GML):

http://de.wikipedia.org/wiki/ISO_19136, Aufruf: 2.7.08

Zu ISO 19142 (Web Feature Service):

http://eden.ign.fr/std/iso_19142?set_language=en&cl=en, Aufruf: 2.07.08

Zu ISO 15000 (ebXML):

http://en.wikipedia.org/wiki/E-Business_XML, Aufruf 2.07.08

Zu GML (Geography Markup Language):

<http://www.opengeospatial.org/standards/gml>, Aufruf: 20.1.2008

Zu WFS (Web Feature Service):

<http://www.opengeospatial.org/standards/wfs>, Aufruf: 20.1.2008

Zum Thema automatische Klassengenerierung mit CodeXS: CodeXS – Features:

<http://www.bware.biz/DotNet/Tools/CodeXS/WebClient/Features.aspx>, Aufruf: 20.1.2008

Zum Thema XML Schema Definition Tool (XSD.exe) aus Microsoft .NET Framework Developer Center:

[http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/x6c1kb0s\(vs.71\).aspx](http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/x6c1kb0s(vs.71).aspx), Aufruf: 20.1.2008

Zum Thema agroXML:

<http://www.agroxml.de/>, Aufruf: 20.1.2008

Produktbeschreibungen zur Office-Software AGRO-NET:

<http://www.agrocom.com/index.php?a=15>, Aufruf: 18.1.2008

Zum Verbundprojekt "Robot to Business: Informationstechnische Integration teilautonomer Prozesse und mobiler Maschinen in Geschäfts- und Dienstleistungsmodelle (R2B)" - Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Fö.Kz: 01MR06007A:

www.r2b-online.de/, Aufruf: 21.1.2008

Anschrift des Autors:

Dipl. Ing. Kai Oetzel

Agrocom GmbH & Co. Agrarsystem KG

Potsdamer Straße 211

33719 Bielefeld

Telefon: (0521) 2079333

Telefax: (0521) 2079500

E-Mail: oetzel@agrocom.com

Kapitel 6

Beurteilung der ökonomischen, volkswirtschaftlichen und ökologischen Wirkungen

6.1 Ökonomische Effekte der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung auf betrieblicher Ebene

Economic evaluation of Precision Farming in a farm wide context

Martin Schneider & Peter Wagner

Zusammenfassung

Unter dem Begriff des Precision Farming wird eine an Teilflächenpotenziale angepasste Feldbewirtschaftung verstanden. Daher umfasst dieser Begriff ein ganzes Bündel an Technologien, beispielsweise zu differenzierter Aussaat, Düngung und Pflanzenschutz. Wie bei allen anderen Technologien gilt auch hier: es wird nur in der Praxis eingesetzt, wenn es sich rechnet. Dieser Beitrag diskutiert die Potenziale, die derzeit mit dem Precision Farming aus ökonomischer Sichtweise erschlossen werden können. Dazu wird innerhalb einer Literaturübersicht der aktuelle Stand der Entwicklung für die einzelnen Technologien erfasst. Anschließend werden mithilfe der Methoden des „On-Farm-Research“ zu den Technologien der differenzierten Aussaat sowie Grund- und Stickstoffdüngung die direkt ermittelbaren monetären technologiekostenfreien Leistungen bestimmt. Für die differenzierte Stickstoffdüngung wird weiterhin der Einfluss verschiedener Witterungen während der Vegetationsperiode mithilfe von Risikoanalysen diskutiert.

Break-Even Analysen zu den verschiedenen Technologien bei Unterstellung unterschiedlicher jährlicher Auslastungsgrade der Technik zeigen die möglichen Effekte.

Zusätzlich werden die Ergebnisse von zwei Umfragen unter Precision Farming Praktikern präsentiert, um die Effekte der nur indirekt bewertbaren monetären Leistungen der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung zu charakterisieren.

Aus der Literaturübersicht wird deutlich, dass die einzelnen Technologien des Precision Farming teilweise noch in frühen Entwicklungsstadien sind. Andere befinden sich schon in der breiten Praxisanwendung (beispielsweise Grund- und Stickstoffdüngung).

Die Umfragen zeigen, dass die indirekt bewertbaren Leistungen der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung durchaus mit zu berücksichtigen sind. Teilweise wurde ihnen von den Anwendern der größere positive Effekt gegenüber den monetär direkt bewertbaren Leistungen zugeordnet.

Die Kosten des Precision ergeben sich aus dem genutzten Ansatz sowie der jährlichen Flächenauslastung. Dabei gilt, dass je mehr teilschlagspezifische Technologien in einem Betrieb Anwendung finden, die Kosten für die einzelne Technologie durch die gemeinsame Nutzung von beispielsweise räumlich hoch aufgelösten Informationen sinken.

Aus den Feldversuchen wird deutlich, dass nicht alle differenzierenden Strategien automatisch zu positiven Ergebnissen führen. Es muss hier auf die große Bedeutung des Vorhandenseins angepasster Entscheidungsregeln hingewiesen werden. Es kann also nicht generell gesagt werden, dass alle Precision Farming Strategien immer besser sind als eine flächeneinheitliche Bewirtschaftung. Es bedarf auf den Standort abgestimmter Entscheidungsregeln hoher räumlicher Auflösung.

Summary

The term Precision Farming refers to a farm management system that is adapted to the sub-field's yield potential. Thus, Precision Farming contains a whole bundle of different technologies for site-specific seeding, fertilization and crop protection. Just as with every technology, it will only be taken into practice if any additional potential can be developed. This paper discusses the economic potentials that can be developed with site-specific field management. Therefore, the status of Precision Farming will first be determined with a literature overview. Second, using the methods of "On-Farm-Research" for the technologies' seeding, base nutrients and nitrogen fertilization, the directly ascertainable benefits of Precision Farming will be determined. Furthermore, for site-specific nitrogen fertilization, risk analyses are carried out to take into account different weather conditions during the vegetation periods. Break-Even analyses, which assume different annual operational areas, are carried out to check the potential additional effects.

Furthermore, the results of two different surveys under Precision Farming users, which characterizes the indirect quantifiable effects of site-specific management, are discussed.

On the one hand, the literature overview shows the early developmental stage of various site-specific management technologies. On the other hand, further technologies are currently ready for wide introduction into practical farm management (e.g. site-specific fertilization).

The surveys show the great importance of taking the indirect quantifiable effects of site-specific management into account. According to the farmers' statements, these benefits carry a higher weight than the direct quantifiable effects.

The costs of site-specific management are determined by both the employed approach and the annual operational area. It has to be assumed that the more individual site-specific technologies are used at a farm, the more the costs per technology will decline. This will be caused by the shared utilization of site-specific information for different technologies coevally.

The field trial results show that a positive result is not automatic with every site-specific strategy under all circumstances. Here, the focus has to be moved to the development of location-specific decision rules.

6.1.1 Einleitung und Problemstellung

6.1.1.1 Problemstellung

Aus Sicht der Betriebswirtschaft ist Precision Farming von allem der entscheidende Schritt zum besseren Management in landwirtschaftlichen Unternehmen. Unabhängig von allen Möglichkeiten, die eine neue Technik bietet: sie wird nicht eingesetzt, wenn sie sich nicht rechnet.

Precision Farming umfasst dabei ein ganzes Bündel verschiedenster Technologien, wobei beispielsweise eine an kleinräumige Ertragsziele angepasste Aussaat oder Düngung durchgeführt wird. Der Aufbau dieser räumlich differenzierenden Technologien ist dabei immer gleich: einerseits umfassen sie den Einsatz von Sensoren zur Erfassung der Teilflächencharakteristika und andererseits die Durchführung einer differenzierten Applikation. Zusätzlich sind Entscheidungsregeln notwendig, die die erfassten Informationen in für den Landwirt notwendige Bewirtschaftungsempfehlungen „übersetzen“. Diese Regeln beinhalten das Know-how des Precision Farming. In ihnen ist das Wissen über die ertragsbeeinflussenden Eigenschaften der genutzten teilflächenspezifischen Informationen enthalten. Dabei sollten diese prozessorientierten Entscheidungsregeln zu den „globalen“ Entscheidungsregeln

des Anwenders passen, welcher das Ziel verfolgt, den Nutzen zu maximieren. Sicherlich ist dieser abstrakte Begriff der Maximierung des Nutzens meistens mit der Maximierung des Gewinnes synonym. Durch die Komplexität bei der Erstellung dieser Entscheidungsregeln, kann zwischen zwei verschiedenen Generationen dieser Regeln unterschieden werden. Dabei gilt, dass, je weiter entwickelt diese Regeln sind, sie umso besser zu den „globalen“ Entscheidungsregeln des Anwenders passen. In diesem Zusammenhang maximieren Entscheidungsregeln der ersten Generation den naturalen Ertrag. Beispielsweise sind Entscheidungsregeln der ersten Generation von der flächeneinheitlichen Bewirtschaftung übertragene Regeln auf Teilflächenbasis, wo nach Nährstoffentzug gedüngt wird. Mithilfe von Entscheidungsregeln der zweiten Generation wird die Maximierung des ökonomischen Outputs verfolgt, wobei aktuelle Faktorpreis/Produktpreisrelationen Berücksichtigung finden.

Viele unterschiedliche Beiträge sind in der Literatur zu finden, die sich mit Aspekten der Wirtschaftlichkeit beschäftigen. Beispielsweise geben LAMBERT & LOWENBERG-DEBOER (2000) einen Überblick über verschiedene Studien. Es muss jedoch festgestellt werden, dass nur sehr selten direkte Aussagen zum praxisverfügbaren Potenzial des Precision Farming gemacht werden. Oftmals werden Ergebnisse aus Faktorsteigerungsversuchen (beispielsweise siehe GANDORFER 2006 oder HURLEY et al. 2002) oder Feldversuchsergebnisse zugrunde gelegt, worin verschiedene Strategien miteinander verglichen werden, aus einem oder zwei Jahren isoliert betrachtet. Damit kann einer möglichen Variabilität der Feldversuchsergebnisse über die Zeit, verursacht beispielsweise durch unterschiedliche Witterungseinflüsse, nicht ausreichend Rechnung getragen werden. Weiterhin erfolgt oftmals eine isolierte Betrachtung von einzelnen Technologien. Jedoch stellt sich die Situation im landwirtschaftlichen Betrieb kostenseitig anders dar, wenn zwei oder mehr Technologien eingesetzt werden und dadurch Degressionseffekte eintreten.

6.1.1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieses Beitrages ist es: a) eine grobe Literaturübersicht zur Praxisverfügbarkeit und der derzeitigen Entwicklung der einzelnen Technologien unter den Gesichtspunkten der notwendigen Hardware und den Entscheidungsregeln zu geben; b) aus Umfrageergebnissen unter Praktikern die direkten und indirekten Leistungen des Precision Farming zu charakterisieren; c) eine Methodik zur Ermittlung der direkten Leistungen und Kosten auf Grundlage von Feldversuchen vorzustellen und verschiedene Ergebnisse daraus zu präsentieren; d) auf Grundlage der Feldversuchsergebnisse Aussagen zur Wirtschaftlichkeit der einzelnen Technologien bei zusätzlicher Berücksichtigung von Risikogesichtspunkten auf Betriebsebene zu treffen.

6.1.1.3 Literaturübersicht zu einzelnen Technologien des Precision Farming

Folgend soll ein Einblick in den derzeitigen Entwicklungsstand der einzelnen Technologien des Precision Farming aus der Literatur gegeben werden. Wenn verfügbar, werden dazu vorrangig Erkenntnisse aus Produktionssystemen mit intensiver Pflanzenproduktion, wie es typisch für deutsche Standorte ist, aufgeführt.

Teilflächenspezifische Aussaat

Zur Herangehensweise an eine ortsdifferenzierte Aussaat sei beispielsweise auf ROTH et al. (2004) oder JÄGER & MERKEL (2003) verwiesen. Darin werden verschiedene Heterogenitätsindikatoren zur Steuerung der Aussaat erwähnt (beispielsweise Karten der Bodenart oder der Reichsbodenschätzung,

Höheninformationen), sowie Entscheidungsregeln der ersten Generation (Maximierung des pflanzenbaulichen Ertrages) erarbeitet (ROTH et al. 2004, S. 561 – 564).

Zu den Effekten einer teilflächenspezifischen Aussaat gibt es derzeit relativ wenige Erfahrungen in der Literatur zu finden. OSTHEIM (2000, S. 176 – 178) führt *ex post* Bewertungen nach einer Variation der Saatstärke zu Winterweizen durch. Er beachtet dabei verschiedene Bodenarten innerhalb eines Feldes. Auf Grundlage seiner Deckungsbeitragsrechnung werden positive Effekte für die differenzierte Aussaat gegenüber einer flächeneinheitlichen Behandlung ausgewiesen. Von ähnlichen Effekten, ermittelt unter Praxisbedingungen in einem Anbaujahr, berichtet JÄGER (2003).

Faktorsteigerungsversuche zur Ermittlung der optimalen speziellen Intensität hinsichtlich der Saatstärke führten im nordamerikanischen Raum beispielsweise BAUER et al. (2000) oder EBELHAAR et al. (2002) über mehrere Jahre durch. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass die optimale Saatstärke von Jahr zu Jahr auf dem gleichen Standort schwankt. Eine allgemeingültige Empfehlung zur Aussaat *ex ante* kann somit nicht gegeben werden.

Zum Zeitpunkt der Entscheidungsfindung der Saatstärke auf Teilschlagsbasis sind keine Informationen über den Witterungsverlauf der folgenden Vegetationsperiode bekannt. Jedoch hat der Witterungsverlauf einen bedeutenden Einfluss auf die optimale Saatstärke. So berichtet WIESEHOFF (2005, S. 114) von keinem oder nur einem minimalen Einfluss von variiertem Saatstärke, Bodenart und Relief auf den Ertrag in Jahren mit durchschnittlicher Witterung. Anders ist das in überdurchschnittlich trockenen Jahren, wo sich die erwähnten Einflussfaktoren auch auf den Ertrag auswirken. Aufgrund der gefundenen Ergebnisse, kann für diese differenzierende Technologie noch keine große Relevanz für den derzeitigen Einsatz in der Praxis ermittelt werden.

Teilflächenspezifische Grunddüngung

Zur Bestimmung der teilflächenspezifischen Versorgung mit Grundnährstoffen (P, K, Mg, pH-Wert) sind Bodenprobennahmen mit anschließenden Laboranalysen notwendig, die die kleinräumige Nährstoffvariabilität erfassen. Im europäischen Raum sind derzeit keine den Autoren bekannten Sensoren praxisverfügbar, die eine „online“ Bestimmung der Versorgung zulassen. In unterschiedlichen Veröffentlichungen wird die Mindestgröße des Probenahmerasters diskutiert, welches zur Bodenprobennahme eingesetzt werden soll (BRONSON et al. 2000, FRANZEN & PRECK 1993, MALLARINO & WITTRY 2000, McBRATHEY & PRINGLE 1999, WOLLENHAUPT et al. 1997). Dabei wird oftmals auf die Notwendigkeit der Nutzung von Teilflächengrößen unter einem Hektar verwiesen. Aus einer Befragung unter Landwirten, welche die differenzierte Grundnährstoffbeprobung derzeit schon durchführen, ist bekannt, dass die genutzten Probennahmeraster mit Größen zwischen fünf und einem Hektar gewählt werden (SCHNEIDER & WAGNER 2007). Das zeigt, dass hier wahrscheinlich noch weitere Potenziale erschlossen werden könnten, wenn die Erfassung der Nährstoffverfügbarkeit in noch höher aufgelösten Beprobungen erfolgen und damit genauer werden würde.

WENKEL et al. (2004) entwickelten Entscheidungsregeln für diese teilflächenspezifische Technologie. Dabei überführten sie die Entscheidungsregeln der flächeneinheitlichen Bewirtschaftung auf die Teilschlagebene. Hier kann von Entscheidungsregeln der ersten Generation gesprochen werden, da nach dem Entzug und der aktuellen Versorgung gedüngt wird und keine ökonomischen Parameter einfließen. Dass es andererseits sinnvoll sein kann, diese ökonomischen Parameter mit in die Entscheidungsregeln zu integrieren, zeigt ein Beispiel aus Nordamerika, wo Ergebnisse aus verschiedenen Faktorsteigerungsversuchen zu Phosphor, Kalium und Kalk mit in die Entscheidungsregeln aufgenommen wurden (GROVE & PENA-YEWTHUKHIW 2007).

Aufgrund der langfristigen Wirkung der Grundnährstoffe ist es schwierig, innerhalb eines kurzen Zeitraumes (beispielsweise Feldversuche über ein oder zwei Jahre) Aussagen zur Wirkung dieser differenzierenden Technologie zu erhalten. Trotz der genannten Einschränkungen in der erreichbaren Genauigkeit, kann für diese Technologie von einer derzeit schon breiten Praxisrelevanz gesprochen werden.

Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung

Dieser teilschlagspezifischen Technologie kam in der Vergangenheit im europäischen Raum die verglichen mit anderen Technologien wahrscheinlich größte Relevanz in Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zuteil. Das beweisen zahlreiche Publikationen auf diesem Gebiet. Unter anderem kann das sicherlich durch die große Bedeutung der Stickstoffdüngung hinsichtlich der Bestandesführung innerhalb der Vegetationsperiode begründet werden. Daher überrascht es nicht, dass REICHARDT & JÜRGENS (2007, siehe auch Kapitel 8.1, Abbildung 194) bei einer Umfrage unter deutschen Landwirten die weiteste Praxiseinführung der teilflächenspezifischen Technologien bei der Stickstoffdüngung fanden.

Als Heterogenitätsindikatoren werden viele verschiedene Parameter in den Entscheidungsregeln genutzt, die im Zusammenhang zum kleinräumigen Ertragspotenzial stehen. Diese können je nach Verfügbarkeit in zwei unterschiedliche Gruppen unterteilt werden. Dabei sind einerseits die Informationen verfügbar, die schon zu Beginn der Vegetationszeit vorhanden sind („off-season“). Das können beispielsweise historische Ertragskarten oder Karten physikalischer Bodeneigenschaften sein. Andererseits gibt es Informationen, die erst innerhalb des Vegetationszeitraumes anfallen und die bisherige Bestandesentwicklung charakterisieren („in-season“).

Die für den praktischen Einsatz derzeit verfügbaren Ansätze zur differenzierten Stickstoffdüngung nutzen entweder ausschließlich „off-season“ (beispielsweise DOHMEN et al. 2004, BOBERT et al. 2006) oder „in-season“ (beispielsweise EHLERT & DAMMER 2006, LINK et al. 2002) Informationen. Oftmals basieren diese angesprochenen Ansätze auf Entscheidungsregeln der ersten Generation. Beispielsweise wird zu den Ansätzen, basierend auf „off-season“ Informationen, ein Ertragspotenzial auf Teilschlagenebene zu Beginn der Vegetationszeit festgelegt. Anschließend muss der Anwender sich oftmals selbst Gedanken über die Aufteilung der Gesamtstickstoffmenge über drei Einzelgaben machen. Hier fehlen eindeutige Regeln. LINK et al. (2002) berichten von der Aufnahme ökonomischer Kriterien in ihre Entscheidungsregeln. Jedoch ist es nach Kenntnis der Autoren nicht möglich, veränderte Faktorpreis/Produktpreisrelationen während der Vegetationszeit in diesem Sensoransatz zu berücksichtigen.

WEIGERT (2006) entwickelte eine Methodik zur Erstellung von Entscheidungsregeln der zweiten Generation auf Basis einer Kombination von „off- und in-season“ Informationen. Dazu nutzte er künstliche neuronale Netze um Muster in Datenbankbeständen aufzudecken, die Aussagen über die ertragsbeeinflussenden Faktoren enthalten.

Teilflächenspezifischer Pflanzenschutz

Für eine teilschlagspezifische Fungizid- und Wachstumsreglerapplikation sind seit kurzer Zeit Entscheidungsregeln für Sensorsysteme, basierend auf „in-season“ Informationen, vorhanden. Dabei wird die Aufwandmenge an Spritzbrühe nach der vorhandenen Biomasse bestimmt (beispielsweise siehe DAMMER & EHLERT 2006). Darauf aufbauend entwickeln WOLLNY et al. (2007) Entscheidungsregeln, die neben der vorhandenen Biomasse zusätzlich variierende Ertragspotenziale mit berücksichtigen. Damit ist ein wichtiger Schritt für die Aufnahme von ökonomischen Parametern in die Entscheidungs-

regeln gemacht. Weiterhin befinden sich derzeit verschiedene Ansätze in der Forschung um den tatsächlichen Befall von Pflanzen mit Pilzerregern zu detektieren (beispielsweise siehe HEMKE et al. 2007, HUANG et al. 2007, KUCKENBERG et al. 2007). Sicherlich sind diese Entwicklungen derzeit noch nicht praxisrelevant. Auch stellt sich die Frage, inwieweit der Zeitpunkt der Erfassung der Pilzkrankheiten an Kulturpflanzen ausreichend ist, um eine wirksame Behandlung sicherzustellen. Jedoch könnte die Kenntnis über das Auftreten dieser Krankheiten auf Teilschlagebene mit dazugehörigen Parametern, wie beispielsweise Bestandesdichte, Witterungsverlauf etc., dazu genutzt werden, um innerhalb von Simulations- und Prognosemodellen die Auftrittswahrscheinlichkeit *ex ante* zu prognostizieren um anschließend die Bewirtschaftungsmaßnahmen auf Teilschlagebene daraus abzuleiten. Solch ein Ansatz wird beispielsweise bei GRAEFF et al. (2005) diskutiert.

Für die teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung sind Sensoren notwendig, die eine differenzierte Unkrauterkenntnis ermöglichen. Diese sind derzeit noch nicht praxisverfügbar, befinden sich jedoch in der Entwicklung (OEBEL 2006). Aufgrund des hohen Aufwandes ist eine manuelle Unkrautdichtenbestimmung nicht zu empfehlen (BACKES et al. 2005). Um (ökonomisch) optimierte Entscheidungsregeln zu erstellen sollten neben der Kenntnis über die räumliche Verteilung noch zusätzliche Faktoren, wie beispielsweise die Auftrittsynamik der Unkrautarten, der Wirkungsgrad der angewandten Herbizide, die genutzten Bodenbearbeitungsverfahren und die Fruchtfolgegestaltung mit berücksichtigt werden (TOEWS 2005). Es ist zu erwarten, dass die Entwicklungen der Entscheidungsregeln erst nach der Entwicklung eines Unkrautsensors richtig einsetzen werden.

Sicherlich sind die Möglichkeiten des Precision Farming mit den bisher vorgestellten Technologien noch nicht vollständig aufgeführt. Weiterhin ist beispielsweise in den Bereichen der Bodenbearbeitung (Tiefenregulierung des Arbeitswerkzeugs) und der Bewässerung (Berücksichtigung der Wasserspeicherfähigkeit des Bodens) der Einsatz von diesen differenzierenden Technologien denkbar. Jedoch ist die Entwicklung hier noch nicht sehr weit fortgeschritten. Daher finden sie an dieser Stelle keine weitere Erwähnung.

6.1.2 Material und Methoden

Folgend soll die Vorgehensweise vorgestellt werden, welche genutzt wurde um Aussagen zu den ökonomischen Effekten des Precision Farming auf Betriebsebene zu machen. Im Wesentlichen gliedert sie sich in Feldversuche zur Bestimmung der direkten ökonomischen Effekte, Befragungen zur Identifikation von nicht bewertbaren Leistungen und Kosten des Precision Farming, sowie Break-Even- und Risikobetrachtungen um anschließend Aussagen zu verschiedenen betrieblichen Bedingungen zu treffen.

6.1.2.1 Feldversuche

Während der Projektlaufzeit wurden auf den zwei beteiligten Landwirtschaftsbetrieben in Sachsen-Anhalt (WIMEX) und Niedersachsen (Groß-Twülpstedt) Feldversuche zum Vergleich von unterschiedlichen teilflächenspezifischen Bewirtschaftungsstrategien mit der flächeneinheitlichen Feldbewirtschaftung durchgeführt. Dabei wurden praxisübliche Flächen virtuell in verschiedene Streifen unterteilt, worin die geplanten Maßnahmen mit wiederum praxisüblicher Technik durchgeführt wurden. Diese Vorgehensweise wird auch unter dem Begriff des On Farm Research (OFR) zusammengefasst. Mit den Methoden des OFR können (Anbau-)Strategien untereinander verglichen werden. Dafür werden diese Strategien innerhalb eines Feldversuches, wozu ein praxisübliches Feld virtuell in verschiedene Streifen unterteilt wird, parallel nebeneinander angewendet. Ein bedeutender Vorteil dieser

Methodik ist, dass neben der Untersuchung der Strategie auch die Durchführungsgenauigkeit, beispielsweise der Düngerapplikation beim Einsatz von praxisüblicher Technik, mit bewertet aber leider nicht isoliert betrachtet werden kann (siehe auch Kapitel 4.1. und 4.2).

Versuchsstandorte

Der Standort des Betriebes WIMEX liegt in der Region Köthen, Sachsen-Anhalt, in einer Randlage des Lößgebietes und gehört zum Magdeburg-Halleschen Schwarzerdegebiet. In dieser Region sind Lößauflagen von einer Mächtigkeit bis maximal 100 cm anzutreffen. Darunter folgt Kies. Die Mächtigkeit der Lößauflageschicht ist aufgrund ihres Wasserspeichervermögens entscheidend für das Ertragspotenzial verantwortlich. Die Region gehört mit 480 mm Jahresniederschlag im langjährigen Mittel zu den niederschlagsärmsten Regionen Deutschlands (DÖRING 2004).

Die Feldgröße der Versuchsschläge in dieser Region liegt zwischen 40 und 120 ha. Die Applikationstechnik hat dabei eine Arbeitsbreite von 24 und 36 Metern.

Der zweite Versuchsstandort Groß-Twülpstedt liegt in der Nähe von Braunschweig, Niedersachsen. Hier liegt das langjährige Mittel der kumulierten Niederschläge eines Jahres mit 570 mm etwas höher im Vergleich zum Standort in Sachsen-Anhalt. Weiterhin ist die Struktur der Schlägeinteilung mit einer durchschnittlichen Feldgröße von 10 ha sehr viel kleiner. Auf diesem Standort betrug die Arbeitsbreite der Applikationstechnik 27 Meter (siehe auch Kapitel 4.1).

Auf Grund der technischen Ausstattung mit der notwendigen Sensor- und Applikationstechnik wurde der größte Teil der Feldversuche auf dem Standort in Sachsen-Anhalt durchgeführt. Zusätzlich können die Ergebnisse des Versuchsbetriebes „Domäne Görzig“ der Universität Halle-Wittenberg zur Verbreiterung der Datengrundlage mit in die ökonomischen Berechnungen einfließen. Da sich die Flächen dieses Betriebes räumlich an die Flächen des Betriebes WIMEX anschließen, kann hier von vergleichbaren Standortbedingungen ausgegangen werden.

Die klimatischen Bedingungen während der dreijährigen Versuchsdurchführungen waren sehr unterschiedlich. Das Erntejahr 2005 kann als gutes durchschnittliches Jahr während der Vegetationsdauer eingeordnet werden. Jedoch führten starke Niederschläge direkt vor der Ernte zu Qualitätseinbußen hauptsächlich bei Winterweizen. Das darauf folgende Erntejahr 2006 war zu Beginn der Vegetationszeit vergleichbar mit 2005. Jedoch stellten sich sehr starke Abweichungen hinsichtlich des Niederschlages ab dem Zeitpunkt der zweiten Stickstoffapplikation ein: es regnete nicht bis kurz vor der dritten Teilgabe. Daher konnten die Nährstoffe nicht zu den Wurzeln der Pflanzen transportiert werden. Erst zum Zeitpunkt der Kornfüllung wurde der Stickstoff wieder pflanzenverfügbar, sodass teilweise extrem hohe Proteingehalte nach der Ernte im Winterweizen nachgewiesen werden konnten. Das letzte Erntejahr 2007 war zu Beginn durch überdurchschnittlich hohe Temperaturen von einer rasanten Jugendentwicklung der Pflanzen bestimmt. Anschließend bekamen die Bestände zwischen der ersten und zweiten Stickstoffgabe zu Winterweizen einen Dämpfer durch eine kurzzeitige Trockenperiode. Der folgende Vegetationsverlauf bis zur Ernte verlief wieder konform zum langjährigen Mittel.

Diese unterschiedlichen Witterungssituationen spiegeln sich auch in den Ergebnissen der Feldversuche wider. Daher finden sie auch anschließend bei der Risikoanalyse Beachtung.

Versuchsdesign und -auswertung

Das Ziel des Versuchsdesigns ist die Sicherstellung der Durchführbarkeit mit praxisüblicher Technik einerseits, und die Gewährleistung der anschließenden statistischen Auswertbarkeit andererseits. PRINGLE et al. (2004) klassifizieren drei unterschiedliche Arten von Designs zur Anlage von Feldver-

suchen: „uniformity trials“, „continuous designs“ und „hard-edge designs“. Zu ersterem werden die zu testenden Strategien auf ganzen Feldern angewendet. Verglichen werden anschließend die Ergebnisse benachbarter Felder, worauf unterschiedliche Strategien zur Anwendung kamen. Bei dem „continuous“ Design wird der zu überprüfende Faktor kontinuierlich während der Applikation variiert. Letzteres, nämlich das „hard-edge“ Design, beinhaltet die weiter oben schon angesprochene Unterteilung des Feldes in einzelne Streifen.

Exemplarisch für alle durchgeführten Feldversuche ist folgend anhand des Designs des Versuches 330_2006 dargestellt, wie die Vorgehensweise war. Die Designs aller Versuche zur differenzierten Aussaat sind als weitere Beispiele im Anhang, Abbildung 1, enthalten.

In Abbildung 155 ist das Versuchsdesign für diesen Versuch dargestellt. Ziel war es, einen Vergleich von drei verschiedenen Stickstoffdüngestrategien zu Winterweizen durchzuführen.

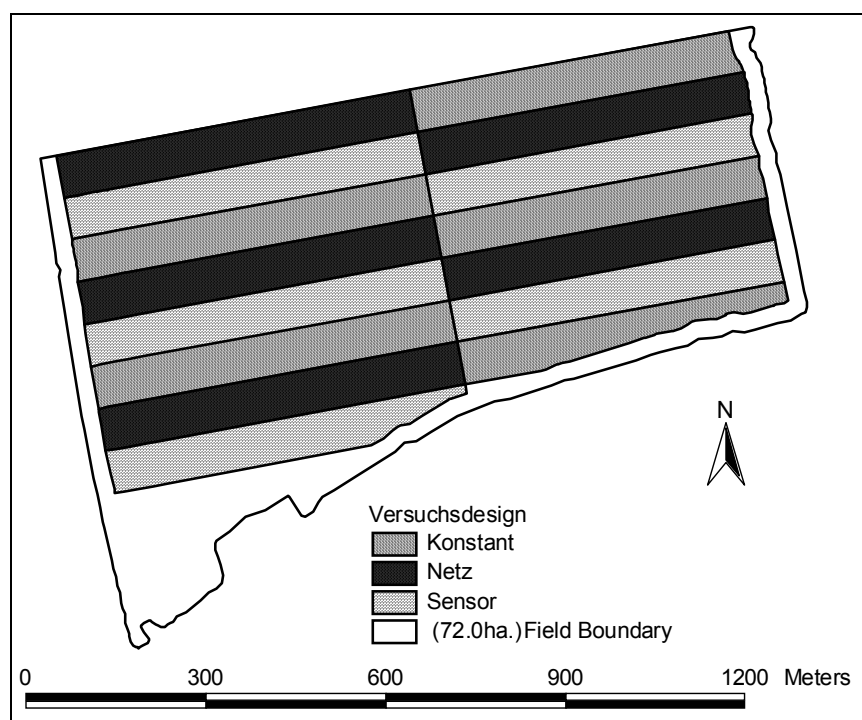


Abbildung 155: Versuchsdesign des Feldversuches 330_2006

Figure 155: Design of the field trial 330_2006

Jeder einzelne Streifen hat dabei eine Breite von drei Arbeitsbreiten (AB) der Düngerstreutechnik (24 m AB). Da das Feld eine Länge von über einem Kilometer hat, wurde es in der Mitte geteilt, um die Anzahl der Wiederholungen zu erhöhen. Das Ziel bei der Verteilung der einzelnen Strategien über die Streifen ist die annähernde Gleichverteilung der ertragswirksamen Heterogenitäten über alle Strategien zu bekommen. Es wird also absichtlich auf eine Randomisierung verzichtet. Heterogenitätsindikatoren, wie die scheinbare elektrische Leitfähigkeit oder historische Ertragskarten können dabei benutzt werden, um die Verteilung der Heterogenitäten innerhalb des Versuchsschlages zu identifizieren. Aufgrund der stark begrenzten Anzahl an Wiederholungen, in diesem Fall sechs, ist diese Herangehensweise lediglich als Annäherung zu verstehen. Jedoch kann es dadurch vermieden werden, dass die Streifen einer einzigen Strategie systematisch hinsichtlich des Ertragspotenziales gegenüber den anderen Strategien überdurchschnittlich bevorzugt werden.

Die Herausforderung bei der Auswertung von Feldversuchsergebnissen liegt in der ausschließlichen Betrachtung der ertragswirksamen Effekte der verschiedenen Strategien, welche vorher von allen weiteren Einflüssen isoliert werden müssen (CASTRIGNANÒ et al. 2005). Diese weiteren Einflüsse können einerseits durch natürliche Heterogenitäten hervorgerufen werden, wie andererseits auch von der Bewirtschaftung verursacht sein (beispielsweise unterschiedlich kalibrierte Ertragserfassungssysteme beim Einsatz von mehreren Mähdreschern auf einem Feldversuch). Das Ziel des Precision Farming ist das Management der Heterogenitäten. Daher ist eine der Voraussetzungen bei der Durchführung von Feldversuchen zum Precision Farming das Vorhandensein ausreichender Heterogenität. Andererseits muss gerade bei der Auswertung dieser Einfluss wieder aus den Ertragsdaten „entfernt“ werden, um eine objektive Beurteilung zuzulassen. Zu unterscheiden ist hierbei zwischen großräumigen Einflüssen, wie beispielsweise einem Ertragstrend von einer Seite des Feldes zur anderen hin und den kleinräumigen Einflüssen, also der Autokorrelation der Ertragsdaten untereinander (ZIMMERMANN & HARVILLE 1991, S. 224). Im Vergleich zum klassischen Ansatz der Blockbildung, Randomisierung und anschließender Varianzanalyse ist gerade bei einer Einteilung von größeren Blöcken, wie von Versuchstreifen mit zwei- oder dreifacher Applikationsarbeitsbreite, die Berücksichtigung der räumlichen Autokorrelation durch ein räumliches Modell vorzuziehen (GRIFFIN et al. 2004, GOTWAY CRAWFORD et al. 1997, LAMBERT et al. 2004).

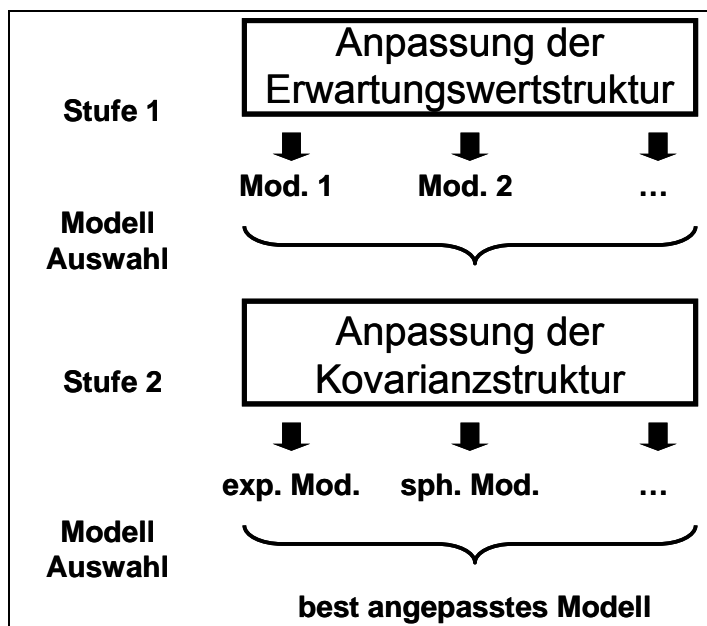


Abbildung 156: Schematische Darstellung der Modellanpassung

Figure 156: Schematic illustration of the model adaptation process

Zur Berücksichtigung der diskutierten Charakteristik von Feldversuchsdaten werden gemischte lineare Modelle aufgestellt, um eine isolierte Betrachtung der Ertragseffekte, basierend auf den unterschiedlichen Bewirtschaftungsstrategien, zu gewährleisten.

Da die Ergebnisse von Feldversuchen aus einem ökologischen System mit vielen unkontrollierten Einflüssen stammen, muss damit gerechnet werden, dass für jede Auswertung diese Modelle erneut angepasst werden müssen. Dabei erfolgte die Modellanpassung in zwei voneinander getrennten Schritten. Dies findet seine Begründung im hohen Rechenaufwand, der mit der Anpassung der räumlichen Modelle verbunden ist (teilweise mehrere Tage). Die Schrittfolge ist in Abbildung 156 schematisch

dargestellt. Im ersten Schritt werden dabei alle zur Verfügung stehenden fixen Effekte aufgenommen, sofern sie zur Verbesserung der Modellanpassung beitragen. Die Güte der Anpassung wird dabei über das Akaike-Information-Criteria (AIC) überwacht (AKAIKE 1973). Kann in dieser ersten Stufe keine weitere Modellverbesserung vorgenommen werden, so wird in der zweiten Stufe die räumliche Kovarianz als zufälliger Effekt aufgenommen. Dabei werden unterschiedliche räumliche Zusammenhänge, wie beispielsweise exponentielle oder sphärische Modelle, unterstellt. Anschließend wird wieder anhand des AIC das best angepasste Modell ausgewählt. Eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise findet sich bei SCHNEIDER et al. (2007). Die Software SAS® mit der Prozedur *mixed* wurde zur Durchführung der Auswertung genutzt. In Tabelle 43 ist das Ergebnis des best angepassten Modells des Feldversuches 330_2006 enthalten. Im Vergleich dazu sind in Tabelle 44 zusätzlich die Eigenschaften der Versuchsstreifen der einzelnen Strategien in Bezug auf den historischen Ertrag 2005 (Körnermais) und elektrische Leitfähigkeit aufgeführt. Es wird deutlich, dass der Ansatz der Gleichverteilung der Heterogenitäten über alle Strategien bei der Anlage des Versuchsdesigns lediglich eine Annäherung ist.

Tabelle 43: Ergebnis des best angepassten Modells des Feldversuches 330_2006

Table 43: Results of the best adapted model of the field trail 330_2006

	„Konstant“	„Sensor“	„Netz“
	Ertrag [t/ha], (SE)		
	5,83 (0,05)	5,67 (0,07)	5,99 (0,05)
	p > t		
„Konstant“		0,02	0,02
„Sensor“			0,001

Tabelle 44: Eigenschaften der Feldversuchsstreifen in Bezug auf den historischen Ertrag und die Leitfähigkeit

Table 44: Characteristics of the field trial strips with regard to historical yields and electrical conductivity

	„Konstant“	„Sensor“	„Netz“
Ertrag 2005	10,636 t/ha	10,483 t/ha	10,738 t/ha
EC25	73,4 mS/m	73,6 mS/m	73,0 mS/m

Dabei wurde für die Strategie „Netz“ ein Ertragsvorteil gegenüber beiden Vergleichsstrategien ermittelt. Der Test auf Signifikanz zeigt, dass bei einem angenommenen Signifikanzniveau von $p < 0,05$ die Ertragsmittelwerte aller Strategien signifikant voneinander verschieden sind.

Für alle folgend vorgestellten Feldversuche wird dieses Signifikanzniveau zugrunde gelegt. Sind die Ertragsmittelwerte nicht signifikant voneinander unterschiedlich, so wird anschließend bei der ökonomischen Bewertung mit den Ertragsmittelwerten der flächeneinheitlichen Vergleichsstrategie weitergerechnet.

Festzuhalten ist, dass die Qualität der Aussage dieser geostatistischen Herangehensweise entscheidend von der Qualität des ausgewählten räumlichen Modells abhängig ist. Es ist keinesfalls auszuschließen, dass die Hinzunahme von weiteren, bisher nicht geprüften, teilflächenspezifischen Informationen zu weiteren Modellverbesserungen geführt hätte. Jedoch muss mit der Anpassung an der Stelle abgeschlossen werden, wo keine weiteren zusätzlichen Informationen verfügbar sind.

durchgeführte Feldversuche

Folgend werden die Feldversuche angeführt, die im Rahmen des *pre agro* Projektes durchgeführt wurden und in weitergehende Überlegungen zur ökonomischen Bewertung dieser Technologien einfließen.

Zur *differenzierten Aussaat* konnten in den Erntejahren 2006 und 2007 vier verschiedene Versuche zu Winterweizen ('06 und '07) und Winterraps (nur '06) durchgeführt werden. Tabelle 45 enthält eine Aufstellung der durchgeführten Feldversuche zur differenzierten Aussaat. Die einzelnen Versuchsdesigns sind im Anhang, Abbildung 1 enthalten. Die Saatstärke der Strategie „Konstant“ wurde jeweils immer vom Pflanzenbauleiter des Betriebes festgelegt. Für die Strategie „Differenziert“ wurde die 3-Zonenkarte genutzt, wonach die Felder in unterschiedliche Ertragspotenzialzonen unterteilt wurden. Die Herangehensweise dazu ist bei DOHMEN et al. (2004) dokumentiert. Die Zuordnung der Saatstärken zu den einzelnen Potenzialzonen wurde von einem Pflanzenbauexperten unternommen. Die Entscheidungsregeln hierfür sind nicht dokumentiert („Bauchentscheidung unter Berücksichtigung langjähriger pflanzenbaulicher Erfahrung“).

Tabelle 45: Aufstellung der durchgeführten Feldversuche zur teilflächenspezifischen Aussaat

Table 45: Listing of the field trials for the site specific seed, carried out

Feldversuch	Größe (ha)	Fruchtart	Strategie	Ø Aussaatmenge (kg/ha)
821_2006	54	Winterweizen	„Konstant“	149
			„Differenziert“	Ø 146 (127, 149, 172)
			„Konstant-niedrig“	127
841_2006	60	Winterweizen	„Konstant“	164
			„Differenziert“	Ø 164 (148, 164, 181)
			„Konstant-niedrig“	148
631_2006	114	Winterraps	„Konstant“	6,73
			„Differenziert“	Ø 5,64 (4,67, 5,70, 6,73)
			„Konstant-niedrig“	4,67
331_2007	62	Winterweizen	„Konstant“	126
			„Differenziert“	Ø 127 (113, 126, 138)
			„Konstant-niedrig“	113

Zusätzlich wurde die Strategie „Konstant-niedrig“ mit aufgenommen, worin die niedrigste Saatstärke der Strategie „Differenziert“ flächeneinheitlich ausgesät wird. Diese Strategie dient der Überprüfung, ob die Kulturpflanzen von sich heraus das Potenzial besitzen, etwaige suboptimale Bestandesdichten aus eigener Kraft zu kompensieren. Zu den Feldversuchen wurde jeweils ausschließlich der Erntertrag untersucht. Bestimmungen der Bestandesdichten während der Vegetationszeit wurden nicht durchgeführt.

Die *teilschlagspezifische Grunddüngung* konnte neben dem Standort WIMEX auch auf dem zweiten *pre agro*-Versuchsbetrieb in Groß-Twülpstedt durchgeführt werden. Dabei ist festzuhalten, dass bisher keine eindeutigen Aussagen über die Wirkungsgeschwindigkeit der differenzierten Nährstoffapplikation in der Literatur vorhanden sind. Beispielsweise berichten WENKEL et al. (2004) von einer nur sehr langsamen dokumentierbaren Wirkung einer differenzierten Düngung im Vergleich zur einheitlichen Düngung, wenn die Bodennährstoffgehalte nicht vorher bis auf ein Minimum zurückgefahren waren. Im Gegensatz dazu berichten WERNER et al. (2004, S. 91 ff.) von Effekten schon im ersten Jahr der Düngung. Daher wurde einerseits eine differenzierte Grundnährstoffapplikation mit anschließender Planung der Applikationen über einen Planungszeitraum von drei Jahren zum Vergleich des Bedarfs

unter einheitlicher und differenzierter Herangehensweise auf insgesamt drei Flächen der beiden Versuchsstandorte durchgeführt. Andererseits wurde ein Ertragsmonitoring (nur WIMEX) über die zwei Ernten nach der Grundnährstoffapplikation durchgeführt. In Tabelle 46 ist für die drei Feldversuche 882_2005 (Schlag „Mittelfleck“, WIMEX), VdB_2005 (Schlag „Vor dem Bruche“, Groß-Twülpstedt) und Krg_2005 (Schlag „Krügarten“, Groß-Twülpstedt) die Fruchtfolge während der Projektlaufzeit aufgeführt.

Tabelle 46: Übersicht der drei Feldversuche zur Bestimmung der differenzierten Grundnährstoffversorgung mit den Fruchtfolgen während der Projektlaufzeit

Table 46: Listing of the three field trials for the determination of the site specific base nutrients supply with the crop rotation during the running time of the project

Jahr	882_2005	VdB_2005	Krg_2005
2005	Winterraps	Winterraps	Winterweizen
2006	Wintergerste	Winterroggen	Winterweizen
2007	Körnermais	Winterroggen	Zuckerrüben
Größe	60 ha	8,7 ha	9 ha

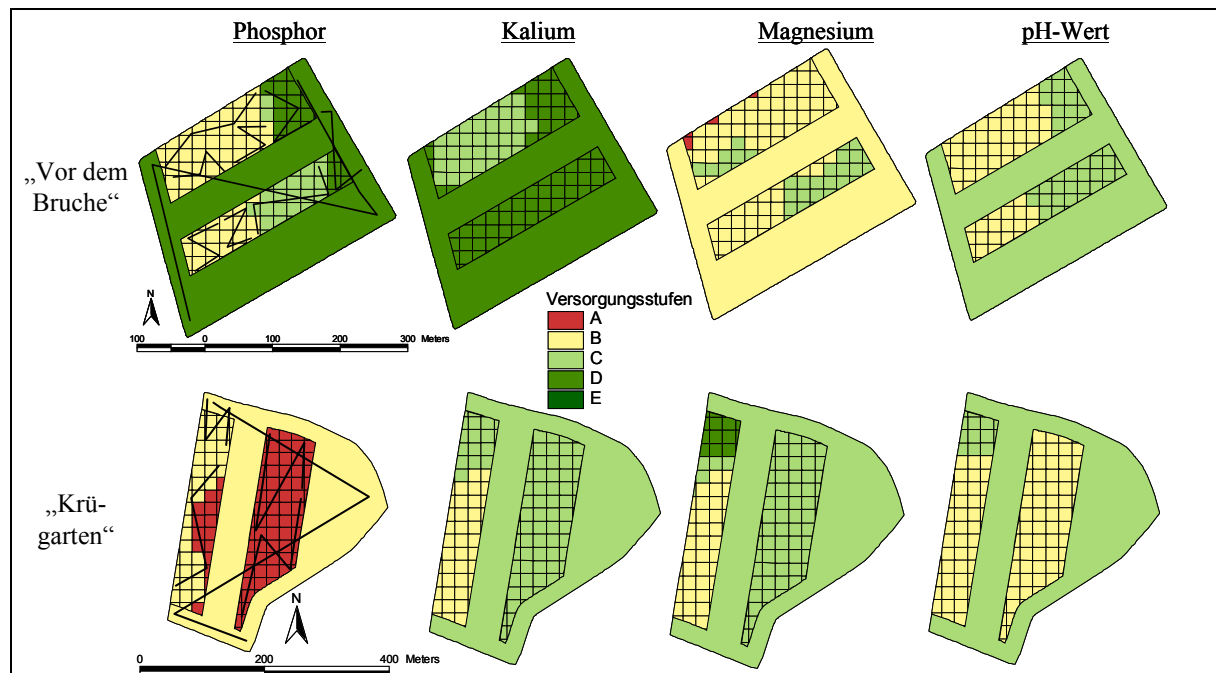


Abbildung 157: Ergebnisse der Bodenbeprobung auf den beiden Schlägen „Vor dem Bruche“ und „Krügarten“ auf dem Betrieb Groß-Twülpstedt mit Begangslinien der Bodenprobennahme

Figure 157: Results of the soil sampling at the two fields „Vor dem Bruche“ and „Krügarten“ at the farm in Groß-Twülpstedt with the sampling route

Die Bodenbeprobungen wurden im Winterhalbjahr 2005/06 durchgeführt. Die Applikationen anschließend im Frühjahr 2006 (WIMEX) bzw. Frühjahr 2007 (Groß-Twülpstedt). In Abbildung 157 ist für den Betrieb Groß-Twülpstedt das Ergebnis der Bodenbeprobung enthalten.

Es wird deutlich, dass die Versorgung mit Grundnährstoffen teilweise extrem zwischen den Versorgungsstufen B bis E (Phosphor, „Vor dem Bruche“) schwankt. Weiterhin sind die Versorgungsniveaus der einzelnen Grundnährstoffe sehr unterschiedlich zueinander, auch im Vergleich zwischen den bei-

den Schlägen. So bewegt sich beispielsweise der Schlag „Krügarten“ im unteren Versorgungsbereich (A und B) bei Phosphor. Anders ist die Versorgung bei Phosphor auf dem Schlag „Vor dem Bruche“. Eine flächeneinheitliche Beprobung hätte hier zur Empfehlung des Verzichts auf die Nährstoffapplikation geführt, während Teilflächen mit sehr niedriger Versorgungsstufe durchaus vorhanden sind. Die Ergebnisse der Beprobung des Schlages „Mittelfleck“ sind im Anhang, Abbildung 2, enthalten.

Die größte Anzahl an Feldversuchen konnte zur *teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung* gemacht werden. Aus technischen Gründen blieben hier die *pre agro* Versuche auf dem Betrieb WIMEX in Sachsen-Anhalt begrenzt. Die größte Anzahl daraus wurde zu Winterweizen durchgeführt (insgesamt 4 Versuche in allen drei Projektjahren). Zwei zusätzliche Feldversuche konnten in den Erntejahren 2006 und 2007 zu Winterraps durchgeführt werden. In Tabelle 47 sind die durchgeführten Versuche zur differenzierten Stickstoffdüngung mit den angewendeten Strategien aufgeführt.

Tabelle 47: Zusammenstellung der während der Projektlaufzeit durchgeführten Feldversuche zur Stickstoffdüngung

Table 47: Listing of the field trials, carried out with site specific nitrogen fertilization

Feldversuch	Feldgröße (ha)	Fruchtart	angewandte Strategien
432_2005	93	Winterweizen	„Konstant“, „Karte“, „Sensor“
411_2006	69	Winterweizen	„Konstant“, „Karte“, „Sensor“
621_2006	65	Winterraps	„Konstant“, „Karte“, „Karte-mod.“
432_2007	93	Winterweizen	„Konstant“, „Karte“, „Sensor“
631_2007	114	Winterweizen	„Konstant“, „Karte“, „Sensor“, „Netz“
741_2007	37	Winterraps	„Konstant“, „Karte“, „Karte-mod.“

Dabei sind die Entscheidungsregeln für die einzelnen Strategien sehr unterschiedlicher Natur. Die Vergleichsstrategie „Konstant“ beinhaltet die flächeneinheitliche Herangehensweise nach den Empfehlungen des Pflanzenbauleiters des Betriebes. Alle anderen Strategien beinhalten differenzierende Herangehensweisen. Tabelle 48 gibt eine Übersicht über die Herkunft der Entscheidungsregeln für die einzelnen Strategien.

Tabelle 48: Aufstellung der genutzten teilflächenspezifischen Stickstoffdüngestrategien

Table 48: Listing of the different applied site specific nitrogen fertilization strategies

Strategie	genutzte Heterogenitäts-indikatoren	Erstellung der Entscheidungsregeln	Quelle
„Karte“	Historische Ertragsdaten, historische Luftbilder vom Zeitpunkt der Abreife der Getreidebestände	Einteilung des Feldes in unterschiedliche Ertragspotenzialzonen (3 oder 5) unter Anwendung von ML Klassifikationen; Entscheidungsregeln fehlen	DOHMEN et al.(2004)
„Sensor“	Messung der Reflektion des einstrahlten Sonnenlichtes durch die Biomasse (rot-/infrarot Spektrum) zur Bestimmung des REIP	Nutzung des REIP-Index um Rückschlüsse auf den Stickstoff-Versorgungszustand und die vorhandene Biomasse zu ziehen; Eichung des Systems über Stickstoffsteigerungspartellen	LINK et al. (2002)
„Netz“	historische Ertragsdaten, Daten der Leitfähigkeitsmessung, historische N-Düngemengen, Bestimmung des REIP-Index	Training von künstlichen neuronalen Netzen (KNN) um Muster und ertragsbeeinflussende Zusammenhänge in Datenbankbeständen aufzudecken Ertragsprognose mit dem KNN um ökonomisch optimierte Bewirtschaftungsempfehlungen abzuleiten	WAGNER et al. (2005)

Zur Strategie „Karte“ wird das Feld in unterschiedliche Ertragspotenzialzonen unterteilt. Anschließend bleibt die Antwort auf die Frage welche Entscheidungsregeln auf die einzelnen Zonen angewendet werden können dem Pflanzenbauleiter überlassen. Durch unterschiedliche Ertragsniveaus in aufeinander-

der folgenden Jahren (Witterungseinfluss) ist es problematisch, ein absolutes Ertragsziel zu Beginn der Vegetationszeit zu definieren und die Düngung anschließend danach durchzuführen. Damit kann auf folgende jahresspezifische Klimabedingungen nicht reagiert werden. Aufgrund der Übernahme der flächeneinheitlichen Entscheidungsregeln auf Teilschlagebene liefert dieser Ansatz also Regeln der ersten Generation. Zum „Sensor“ Ansatz kam der Yara-N-Sensor® zum Einsatz. Dieser ist ab der zweiten Teilgabe einsetzbar. Zu Vegetationsbeginn wird also eine Gabe flächeneinheitlich verabreicht. Ob zu diesem Ansatz Entscheidungsregeln der ersten oder zweiten Generation zum Einsatz kommen bleibt offen (siehe Literaturübersicht).

Basierten die beiden angesprochenen Strategien „Karte“ und „Sensor“ entweder auf „off-season“ oder „in-season“ Informationen, so vereint die Strategie „Netz“ diese beiden Quellen. Hier können eindeutig Entscheidungsregeln der zweiten Generation ausgewiesen werden. Im Gegensatz zu den beiden anderen Strategien befindet sich dieser Ansatz jedoch in einem frühen Entwicklungsstadium und ist daher derzeit nicht praxisverfügbar.

Wie weiter oben schon angesprochen, konnten von einem an den WIMEX Versuchsbetrieb angrenzenden Betrieb der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg weitere Feldversuchsergebnisse aus dem gleichen Zeitraum für die ökonomischen Betrachtungen hinzugezogen werden. Dies sind ausschließlich Versuche zur differenzierten Stickstoffdüngung. Die genutzten Entscheidungsregeln bzw. Bewirtschaftungsstrategien sind im vorhergehenden Abschnitt alle mit aufgeführt. Nähere Informationen zu den Versuchen aus den Jahren 2005 und 2006 sind zu finden bei WAGNER et al. (2005) und WAGNER & SCHNEIDER (2007). Von diesem Versuchsbetrieb konnten insgesamt 5 weitere Ergebnisse aus dem Dreijahreszeitraum für die ökonomische Bewertung genutzt werden. Jeder Feldversuch beinhaltete mindestens die Strategie „Netz“ und „Konstant“, auch wurde teilweise die Strategie „Sensor“ zusätzlich mit angewendet.

6.1.2.2 durchgeführte Umfragen

Neben den direkt monetär bewertbaren Leistungen und Kosten des Precision Farming, die beispielsweise durch die vorgestellte Feldversuchsmethodik für einen Standort und eine bestimmte genutzte Technologie ermittelt werden können, sind zusätzliche nicht direkt messbare Leistungen und Kosten denkbar. Zur Identifikation dieser Positionen wurden zwei verschiedene Umfragen unter Landwirten durchgeführt, die derzeit schon verschiedene Technologien des Precision Farming nutzen. Nicht direkt monetär bewertbar heißt in diesem Fall, dass zwar einerseits die Kosten oder Leistungen nicht direkt gemessen und ausgewiesen werden können. Andererseits wirken sich diese Positionen in jedem Fall mit auf das Ergebnis eines Unternehmens aus und müssen daher zumindest charakterisiert werden.

indirekt bewertbare Leistungen

Bei einer Umfrage unter Landwirten, die von REICHARDT & JÜRGENS (2008) durchgeführt wurde, konnten drei Fragen zur Wirtschaftlichkeit mit aufgenommen werden. Die Umfrage wurde in Form eines offenen persönlichen Interviews durchgeführt. Dabei konnten die befragten Personen frei auf die gestellten Fragen Antworten und waren nicht an Antwortvorgaben gebunden. Nähere Informationen zu diesen Befragungen sind bei REICHARDT & JÜRGENS (2008) zu finden (siehe Kapitel 8.1). Die drei Fragen zur Wirtschaftlichkeit sind:

1. Welche direkt monetär bewertbaren Leistungen verursacht die Nutzung des Precision Farming auf Ihrem Betrieb?

2. Welche nicht direkt quantifizierbaren Leistungen durch Precision Farming beobachten Sie auf Ihrem Betrieb?
3. Wie schätzen Sie das Verhältnis (Verteilung) zwischen direkt monetär bewertbaren Leistungen und nicht direkt bewertbaren Leistungen ein?

Insgesamt 21 befragte Landwirte konnten zu diesen Fragen Antwort geben. Damit ist die Umfrage als nicht repräsentativ zu sehen. Die Ergebnisse haben eher qualitativen als quantitativen Charakter.

indirekt bewertbare Kosten – Arbeitszeitbedarf für Precision Farming

Als indirekte Kosten des Precision Farming wurden vordergründig die Aufwendungen für zusätzlichen Arbeitszeitbedarf bei der Planung und Durchführung von teilflächenspezifischen Maßnahmen identifiziert. Zur Ermittlung eines ungefähren Umfanges dieser Aufwendungen, wurde im Winterhalbjahr 2005/06 unter 28 Landwirtschaftsbetrieben in Mittel-, Ost- und Norddeutschland eine Umfrage zum Arbeitszeitbedarf durchgeführt. Dazu wurden Fragebögen verschickt. Die Betriebsgrößen der beteiligten Unternehmen liegen zwischen 500 und 3.600 ha Flächenumfang. In die Auswertung wurden ausschließlich die Betriebe mit einbezogen, die sich länger als 2 Jahre schon mit der entsprechenden Technologie beschäftigen. Sicherlich wurden die einzelnen Angaben nicht mit der Stoppuhr ermittelt. Vielmehr spielt der subjektive Eindruck der befragten Landwirte eine entsprechende Rolle. Es ist daher denkbar, dass das Über- oder Unterschreiten von persönlichen Erwartungen diese Empfindungen verstärkt oder abgeschwächt haben. Daher sind die Ergebnisse der Umfrage als grobe Richtungsweisung zu verstehen und nicht als genaue Planungszahlen zu nutzen.

6.1.2.3 Ökonomische Betrachtung auf Betriebsebene

Zur Auswertung der Feldversuche wird in einem ersten Schritt die um die Kosten des teilflächenspezifisch variierten Faktors reduzierte Marktleistung berechnet. Beispielsweise ist das die stickstoffkostenfreie Leistung (NKfL). Dadurch ist ein Vergleich der einzelnen Strategien untereinander möglich. Zu diesen Berechnungen wurden jeweils die in den Versuchsjahren aktuellen Faktor- und Produktpreise zugrunde gelegt.

Weiterhin werden für die einzelnen Technologien der Stickstoff- und Grunddüngung jeweils die Precision Farming Kosten pro Hektar in Abhängigkeit des jährlichen Einsatzumfanges bestimmt. Zur Ermittlung der Preise für Precision Farming Hard- und Software sowie Dienstleistungen, wurden Erhebungen unter den entsprechenden Anbietern durchgeführt. Abschließend werden die Kosten für den parallelen Einsatz der drei verschiedenen Technologien Aussaat, Stickstoff- und Grunddüngung in Abhängigkeit unterschiedlicher jährlicher Einsatzumfänge bestimmt und diskutiert.

Aufgrund der Datengrundlage aus durchgeführten Feldversuchen, können ausschließlich für die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung Aussagen zu den Leistungen gemacht werden. Hierzu kann auf insgesamt neun verschiedene Feldversuchsergebnisse aus einem Zeitraum von drei Jahren zurückgegriffen werden.

HARRIS (1997, S. 955) verweist auf die Bedeutung der Berücksichtigung von Risikofaktoren bei der Bewertung von Precision Farming Technologien: "Risk management in precision farming is a matter of whether it works, whether it can save costs and whether it can stand up to the effects of an unpredictable climate." Auf die Bedeutung der Berücksichtigung von unterschiedlichen Witterungsbedin-

gungen bei der Interpretation von Feldversuchsergebnissen wird ebenfalls von COOK et al. (1996) hingewiesen.

Um diesen Hinweisen Rechnung zu tragen werden Monte Carlo Simulationen durchgeführt, um den Einfluss unterschiedlicher Umweltbedingungen auf die Ergebnisse der einzelnen Precision Farming Strategien zu untersuchen. Da ausschließlich Kenntnisse über die Effekte der drei Versuchsjahre vorliegen, wird zugrunde gelegt, dass ausschließlich die Witterungsmuster dieser drei Jahre möglich sind. Aus einer Zeitreihe von Niederschlagsdaten aus dem Zeitraum zwischen 1965 und 2007 (Auflösung: Tageswerte), gemessen an einer Wetterstation in der Region der Versuchsstandorte, wurden die Auftrittswahrscheinlichkeiten der Niederschlagsmuster der einzelnen Versuchsjahre ermittelt (siehe Tabelle 49). Diesen Wahrscheinlichkeiten wurden die Feldversuchsergebnisse der entsprechenden Jahre zugeordnet. Ist in einem Jahr mehr als ein Feldversuchsergebnis pro Strategie verfügbar, so war das arithmetische Mittel der Ergebnisse ausschlaggebend.

Es ist auffällig, dass den extremen Niederschlagsverhältnissen des Jahres 2006 eine relativ hohe Eintrittswahrscheinlichkeit von 30 Prozent zugeordnet werden muss. Es wurde jeweils die Differenz der NKfL zwischen der teilflächenspezifischen Strategie und der flächeneinheitlichen Bewirtschaftung berücksichtigt.

Bei mehreren Feldversuchsergebnissen einer Strategie in einem Jahr wurde der Durchschnitt dieser NKfL Differenz für die Simulationen berücksichtigt.

Tabelle 49: Übersicht der Einstellungen für die Monte Carlo Simulation

Table 49: Overview of the settings for the Monte Carlo Simulation

Auftrittswahrscheinlichkeiten der Niederschlagsmuster der Versuchsjahre	2005	2006	2007
		53,4 %	30,2 %
	Faktorpreis [€/kg N] (Min.; Modus; Max.)	Produktpreis [€/t] (Min.; Modus; Max.)	Verteilungsfunktion
Preisszenario I	0,47; 0,6; 0,8	80; 100; 120	Dreiecksfunktion
Preisszenario II	0,5; 0,7; 0,85	120; 150; 180	Dreiecksfunktion

Weiterhin wurden unterschiedliche Faktor- (Stickstoff) und Produktpreisniveaus in den Simulationen berücksichtigt. Die Getreidepreisniveaus waren sehr unterschiedlich zwischen den Jahren 2005/06 und 2007. Lagen die Weizenpreise in den ersten beiden Jahren bei etwa 100 €/t, so stiegen sie im Jahr 2007 auf über 150 €/t zum Zeitpunkt der Ernte an. Deshalb wurden Simulationen mit zwei unterschiedlichen Preisszenarien durchgeführt (Tabelle 49). Ausgehend von ebenfalls steigenden Faktorpreisen bei steigenden Produktpreisen, wurde eine positive Korrelation von 0,6 zwischen Stickstoff- und Weizenpreisen unterstellt. Das führt dazu, dass hohe Produktpreise innerhalb der Simulation auch hohe Faktorpreise nach sich ziehen und umgekehrt.

Zur Durchführung der Monte Carlo Simulationen wurde das Programm @RISK® (Palisade Corporation) genutzt. Zu jedem Szenario wurden 10.000 Mal die variierten Umweltzustände neu bestimmt. Zu jeder dieser einzelnen Iterationen wurden dabei die Faktor- und Produktpreise, sowie die Witterungsmuster und damit das Ergebnis der einzelnen Strategien für fünf verschiedene Jahre erneut ermittelt. Die Ergebnisse der einzelnen Iterationen folgen dabei den unterstellten Wahrscheinlichkeitsverteilungen in Tabelle 49. Für die Witterung kann also beispielsweise davon ausgegangen werden, dass die Feldversuchsergebnisse des Jahres 2005 in 53,4 % aller Iterationen ausgewählt wurde.

Der Planungszeitraum von fünf Jahren wurde unterstellt, da dies den Abschreibungszeitraum der angeschafften Precision Farming Technik widerspiegelt. Spätestens nach einem solchen Zeitraum ist davon auszugehen, dass durch technischen Fortschritt die Anschaffung neuerer Techniken und Methoden sinnvoller ist, als die alten weiter zu benutzen.

Als Ergebnis der Simulationen kann mithilfe der kumulierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen für jede teilflächenspezifische Düngestrategie die Wahrscheinlichkeit bestimmt werden, im Durchschnitt des fünfjährigen Planungszeitraumes eine bestimmte NKfL Differenz zur flächeneinheitlichen Düngung zu erreichen.

6.1.3 Ergebnisse

6.1.3.1 Ergebnisse der Feldversuche

Teilflächenspezifische Aussaat

In Tabelle 50 sind die Ergebnisse der vier verschiedenen Feldversuche zur Aussaat von Winterweizen und Winterraps aus den beiden Erntejahren 2006 und 2007 zusammengefasst. Für die Sicherstellung der Vergleichbarkeit wurde jeweils die „saatgutkostenfreie Leistung“ (SKfL) berechnet. Dabei wurden die tatsächlichen Saatgut- und Produktpreise der Erntejahre berücksichtigt, wie sie zum Zeitpunkt des Mähdrusches in der Region erzielt werden konnten.

Tabelle 50: Ergebnisse der Feldversuche zur differenzierten Aussaat von Winterweizen und -raps aus zwei Jahren

Table 50: Results of the field trials, carried out with site specific winter wheat and winter rape seeding over two years

Versuch	Strategie	Saatmenge	Ertrag	SKfL ^{a)}	Δ zu „Konstant“
821_2006	„Konstant“	149 kg/ha	5,56 t/ha	623,9 €/ha	
	„Differenziert“	Ø 146 kg/ha	5,37 t/ha ^{b)}	624,8 €/ha	+ 0,9 €/ha
	„Konstant-niedrig“	127 kg/ha	5,38 t/ha ^{b)}	630,3 €/ha	+ 6,4 €/ha
841_2006	„Konstant“	Ø 164 kg/ha	5,90 t/ha	660,4 €/ha	
	„Differenziert“	164 kg/ha	5,66 t/ha ^{b)}	660,4 €/ha	0 €/ha
	„Konstant-niedrig“	148 kg/ha	5,58 t/ha ^{b)}	665,0 €/ha	+ 4,6 €/ha
631_2006	„Konstant“	6,73 kg/ha	3,12 t/ha	792,4 €/ha	
	„Differenziert“	Ø 5,64 kg/ha	3,23 t/ha ^{b)}	815,7 €/ha	+ 23,2 €/ha
	„Konstant-niedrig“	4,67 kg/ha	2,90 t/ha	770,4 €/ha	- 22,0 €/ha
331_2007	„Konstant“	126 kg/ha	4,01 t/ha	564,9 €/ha	
	„Differenziert“	Ø 127 kg/ha	3,77 t/ha	528,7 €/ha	- 36,2 €/ha
	„Konstant-niedrig“	113 kg/ha	4,17 t/ha	592,7 €/ha	+ 27,2 €/ha

^{a)} SKfL: saatgutkostenfreie Leistung, Umsatz abzüglich der Kosten für Saatgut.
^{b)} keine signifikanten Ertragsunterschiede zu „Konstant“ nachweisbar (Signifikanzniveau: p<0,05). Zur Berechnung aller SKfL wurden daher die Ertragsmittelwerte der Strategie „Konstant“ genutzt.

Es fällt auf, dass aus dem Erntejahr 2006 nahezu keine signifikanten Ertragsunterschiede der differenzierten Bewirtschaftung im Vergleich zur normalen konstanten Aussaat ermittelt werden konnten. Lediglich die Aussaat zu Winterraps zeigt einen signifikant unterschiedlichen Ertrag für die Strategie „Konstant-niedrig“, jedoch mit negativem Vorzeichen.

Im Jahr der extremen Vorsommertrockenheit 2006 konnte die teilflächenspezifische Strategie im Vergleich zur „konstant-normalen“ Aussaat zumindest zu einem ausgeglichen Ergebnis auf Basis der

SKfL beitragen. Das gilt nicht für die folgende Ernte im Jahr 2007. Hier ist von einem Verlust zu berichten. Für die Winterweizenaussaat muss auf das regelmäßig (auch im Vergleich zur differenzierten Aussaat) positive Abschneiden der Strategie „Konstant-niedrig“ hingewiesen werden. Das zeigt, dass auf Basis der vorgestellten Feldversuchsergebnisse zumindest, das allgemeine Niveau der Aussaatmenge reduziert werden könnte.

Teilflächenspezifische Grunddüngung

In Tabelle 51 ist für die drei Feldversuche die Differenz der Nährstoffempfehlung zwischen differenzierter und flächeneinheitlicher Beprobungsherangehensweise aufgeführt.

Tabelle 51: Differenz des Nährstoffbedarfs bei teilflächenspezifischer Applikation im Vergleich zur flächeneinheitlichen Beprobung und Applikation

Table 51: Differences in nutrient demand according to the different sampling approaches site specific and uniform field sampling

Nährstoff	882_2005	VdB_2005	Krg_2005
P ₂ O ₅ (kg/ha)	+ 16	+ 107	+ 48
K ₂ O (kg/ha)	+ 8	0	+ 118
MgO (kg/ha)	- 30	- 12	+ 12
Kalk (dt/ha)	- ^{a)}	- ^{a)}	- ^{a)}

^{a)} Hier wurden für Kalk keine Empfehlungen gegeben bzw. die Düngung vom Betrieb ausgesetzt.

Es ist festzustellen, dass teilweise extreme Abweichungen von bis zu über 100 kg Grundnährstoff bei Phosphor und Kalium im Durchschnitt pro Hektar zu wenig gedüngt worden wären, falls die Bodenbeprobung flächeneinheitlich durchgeführt worden wäre. Da das Ergebnis in Tabelle 51 jeweils immer für den Felddurchschnitt pro Hektar angegeben ist, gibt eine ausgeglichene Zahl (nahe „0“) nichts über die Verteilung im Feld an. Es könnte also sein, dass der Durchschnitt ein ausgeglichenes Ergebnis anzeigt, während jedoch mit der differenzierten Grunddüngung eine Umverteilung der Nährstoffe im Feld stattfindet.

Sicherlich ist dieses Ergebnis stark vom tatsächlichen allgemeinen Versorgungszustand der Flächen abhängig. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass alle untersuchten Flächen große räumliche Schwankungen der Nährstoffversorgung, unabhängig von der Flächengröße aufzuweisen hatten.

Für den Feldversuch 882_2005 wurde nach der Grundnährstoffapplikation anschließend ein Ertragsmonitoring über zwei Jahre durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 52 enthalten. Entgegenesetzt der Planung zum Zeitpunkt der Grundnährstoffapplikation, wurde im Erntejahr 2007 die Fruchtart Winterroggen anstelle von Körnermais angebaut.

Tabelle 52: Ergebnisse des Ertragsmonitorings nach der Grundnährstoffapplikation auf dem Feldversuch 882_2005 über zwei Jahre

Table 52: Results of the yield monitoring after site specific and uniform base nutrients application at the field trial 882_2005 over two years

Erntejahr	Frucht	Ertrag „Homogen“	Ertrag „Differenziert“
2006	Wintergerste	7,20 t/ha	7,27 t/ha ^{a)}
2007	Winterroggen	4,86 t/ha	5,98 t/ha

^{a)} Ertragsmittelwerte zwischen „Konstant“ und „Differenziert“ nicht signifikant unterschiedlich.

Während im Anbaujahr 2006 keine signifikant unterschiedlichen Erträge zwischen beiden Strategien ermittelt werden konnten, ist der Unterschied im folgenden Jahr 2007 von über 1 t/ha extrem groß. Es muss jedoch erwähnt werden, dass in diesem Jahr im Bereich der differenzierten Grunddüngung eine große Fläche für den Anbau von Kartoffeln umgewidmet wurde. Aus diesem Areal stehen also keine Ertragsinformationen zur Auswertung zur Verfügung. Vor diesem Hintergrund ist das extreme Ergebnis von 2007 mit aller Vorsicht zu betrachten.

Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung

Tabelle 53 enthält die Ergebnisse der Stickstoffdüngungsversuche zu Winterweizen und Winterraps. Die Ergebnisse sind sehr durchmischt. Während beispielsweise die Strategie „Sensor“ jedes Mal ein mindestens ausgeglichenes Ergebnis im Vergleich zur Strategie „Konstant“ erreicht, variiert der Kartenansatz deutlich stärker im Ergebnis. In den Versuchsjahren 2006 und 2007 wurden hier teilweise auch Precision Farming Verluste, im Vergleich zur Strategie „Konstant“, ermittelt.

Tabelle 53: Ergebnisse der differenzierten Stickstoffdüngung zu Winterweizen und -raps

Table 53: Results of the different nitrogen fertilization field trials with winter wheat and winter rape

Feldversuch	Strategie	Ø N-Menge	Ertrag	NKfL ^{a)}	Δ zu „Konstant“ ^{c)}
432_2005	„Konstant“	180 kg/ha	7,63 t/ha	664,0 €/ha	
	„Sensor“	117 kg/ha	7,71 t/ha ^{b)}	698,0 €/ha	+ 34,0 €/ha
	„Karte“	148 kg/ha	7,81 t/ha ^{b)}	681,0 €/ha	+ 17,0 €/ha
411_2006	„Konstant“	180 kg/ha	6,11 t/ha	620,5 €/ha	
	„Sensor“	164 kg/ha	5,75 t/ha ^{b)}	621,8 €/ha	+ 1,3 €/ha
	„Karte“	200 kg/ha	5,69 t/ha	562,0 €/ha	- 58,5 €/ha
621_2006	„Konstant“	165 kg/ha	3,59 t/ha	999,9 €/ha	
	„Karte“	159 kg/ha	3,54 t/ha ^{b)}	1002,6 €/ha	+ 2,7 €/ha
	„Karte-mod.“	147 kg/ha	3,39 t/ha	948,1 €/ha	- 51,8 €/ha
741_2007	„Konstant“	165 kg/ha	3,03 t/ha	801,6 €/ha	
	„Karte“	166 kg/ha	3,06 t/ha ^{b)}	801,1 €/ha	- 0,5 €/ha
	„Karte-mod.“	149 kg/ha	3,04 t/ha ^{b)}	808,7 €/ha	+ 7,0 €/ha
432_2007	„Konstant“	180 kg/ha	5,68 t/ha	767,9 €/ha	
	„Sensor“	158 kg/ha	5,71 t/ha ^{b)}	778,2 €/ha	+ 10,3 €/ha
	„Karte“	162 kg/ha	5,39 t/ha	732,8 €/ha	- 35,1 €/ha
631_2007	„Konstant“	180 kg/ha	4,60 t/ha	605,9 €/ha	
	„Sensor“	144 kg/ha	4,62 t/ha ^{b)}	622,7 €/ha	+ 16,8 €/ha
	„Karte“	160 kg/ha	4,65 t/ha ^{b)}	615,2 €/ha	+ 9,3 €/ha
	„Netz“	136 kg/ha	4,70 t/ha	651,9 €/ha	+ 46,0 €/ha

^{a)} NKfL: Stickstoffkosten freie Leistung
^{b)} Keine signifikanten Ertragsunterschiede zu „Konstant“ nachweisbar (Signifikanzniveau: p<0,05). Zur Berechnung aller NKfL wurden daher die Ertragsmittelwerte der Strategie „Konstant“ genutzt.
^{c)} (+) Ergebnis besser als „Konstant“; (-) Ergebnis schlechter als „Konstant“

Für die Stickstoffdüngung zu Winterweizen ist in Tabelle 54 noch einmal die Zusammensetzung des Ergebnisses dokumentiert. Dabei wurde untersucht, welche Effekte einerseits durch die Stickstoffmenge und andererseits durch den Ertrag im Vergleich zur Strategie „Konstant“ entstanden.

Tabelle 54: Detaillierte Ergebnisse der drei differenzierten N-Düngungsstrategien zu Winterweizen; jeweils im Vergleich zur flächeneinheitlichen Düngung (Δ NKfL in €/ha, „+“ Gewinn; „-“ Verlust)

Table 54: Results in detail of the three different site specific nitrogen fertilization strategies with winter wheat, each in comparison to the uniform field treatment (Δ NCT in €/ha, „+“ profit; „-“ loss)

Feldversuch	"Karte"			"Sensor"			"Netz"		
	Δ Stickstoff	Δ Ertrag	Δ gesamt	Δ Stickstoff	Δ Ertrag	Δ gesamt	Δ Stickstoff	Δ Ertrag	Δ gesamt
432_2005	+ 17,0	0,0	+ 17,0	+ 34,0	0,0	+ 34,0	-	-	-
411_2006	-9,1	-49,4	-58,5	+ 1,3	0,0	+ 1,3	-	-	-
432_2007	+ 8,4	- 43,5	-35,1	+ 10,3	0,0	+ 10,3	-	-	-
631_2007	+ 9,3	0,0	+ 9,3	+ 16,8	0,0	+ 16,8	+ 20,5	+ 25,5	+ 46,0

Es ist zu beobachten, dass bei allen Strategien fast jedes Mal Stickstoffeinsparungen im Vergleich zur konstanten Düngung gemacht werden konnten. Anders ist das Bild bei der Signifikanz der Ertragsunterschiede. Zur Strategie „Karte“ konnten lediglich signifikante Ertragsverluste zu zwei Feldversuchen ermittelt werden. Die Strategie „Sensor“ erreicht in den Versuchen keine Ertragssteigerungen. Lediglich die Strategie „Netz“ in einem Feldversuch des Erntejahres 2007 erreicht signifikante Ertragssteigerungen, verbunden mit Stickstoffeinsparungen, gegenüber der flächeneinheitlichen Düngung.

Ein ähnliches Bild ergibt sich auch bei weiteren Versuchen, die in diesem Zeitraum auf dem Versuchsbetrieb „Domäne Görzig“ der Universität Halle-Wittenberg in der Region durchgeführt wurden. Bei Betrachtung aller neun Feldversuchsergebnisse (siehe SCHNEIDER & WAGNER 2008) fällt die starke Variation der Ergebnisse in den drei Jahren auf. Ursächlich dafür sollten die teilweise extrem unterschiedlichen Witterungsbedingungen in den drei Jahren sein.

Für die Stickstoffdüngungsergebnisse zur Fruchtart Winterraps wurde lediglich der Ansatz der Ertragspotenzialkarten verwendet. Die Strategien „Karte“ und „Karte-mod.“ unterschieden sich in einer größeren Spreizung der Stickstoffmengen zu den einzelnen Potenzialzonen für letztere Strategie „Karte-mod.“ im Vergleich zur Strategie „Karte“. Auch hier sind die Ergebnisse sehr durchmischt. Aufgrund der niedrigen Anzahl an Feldversuchen kann keine Aussage zur Vorzüglichkeit einer Strategie gegenüber der anderen gemacht werden.

6.1.3.2 Ergebnisse der Umfragen

Umfrage zu den indirekt bewertbaren Leistungen

Die befragten Landwirte nutzen meistens die teilflächenspezifischen Technologien Grund- und Stickstoffdüngung. Oftmals werden zusätzlich auch Parallelfahreinrichtungen eingesetzt, die zwar eher zur Kategorie „Field-Robotik“ denn zur differenzierten Bewirtschaftung zählen, in dieser Umfrage aber auch mit unter dem Begriff des Precision Farming aufgeführt werden. Allgemein war bei der Befragung festzustellen, dass die Landwirte teilweise Probleme hatten, Antworten auf die Frage nach den

Leistungen des Precision Farming zu geben. In Abbildung 158 sind die Ergebnisse zu den im Kapitel 6.1.2.2 aufgeführten Fragen zusammengestellt.

<u>direkt bewertbare Leistungen</u>	<u>nicht direkt bewertbare Leistungen</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Betriebsmitteleinsparung (13x) (Kraftstoff, Düngemittel) • Mehrertrag (2x) 	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitersparnis (10x) • bessere Informationsgrundlage zur Entscheidungsfindung (6x) • (erleichterte) Dokumentation (4x) • homogenere Bestände (3x) • Arbeitserleichterung allgemein (3x) • höhere Leistungsfähigkeit (1x) • mehr Freude an der Arbeit (1x) • Reputation: „Gutes Gefühl gegenüber Öffentlichkeit“ (1x)

Abbildung 158: Ergebnisse der Umfrage unter Landwirten zu den Leistungen des Precision Farming, geordnet nach Häufigkeit der Nennung (Anzahl in Klammer)

Figure 158: Results of a survey with farmers about the benefits of precision farming – sorted by the frequency of mentioning (number in brackets)

Dabei ist die Rangfolge der Leistungen nach der Häufigkeit der Nennungen dieser Leistung bestimmt. Interessant ist, dass lediglich 2 Landwirte von Ertragssteigerungen berichten. Noch einmal die gleiche Anzahl an Landwirten berichtete davon, dass sie nicht feststellen können, inwieweit (positive) Ertragseffekte vorhanden sind.

Bei der Frage nach dem Verhältnis zwischen direkt bewertbaren und nicht direkt bewertbaren Leistungen, berichteten 9 Landwirte von einer Überlegenheit der nicht direkt bewertbaren Leistungen, während nur 7 Landwirte das Gegenteil beobachtet hatten.

Allgemein zeigen die Ergebnisse der Umfrage, dass es für den Anwender von Precision Farming Technologien schwer ist, direkt monetär bewertbare Leistungen zu isolieren. Beim Betriebsmitteleinsatz kann ein Vergleich zur vorherigen Bewirtschaftung ohne Precision Farming relativ leicht durchgeführt werden. Bei den Ertragseffekten ist das anders, da hier Feldversuche notwendig sind, wie sie weiter oben angesprochen wurden. Dafür ist einerseits entsprechendes „Know-how“ notwendig während weiterhin die Durchführung relativ aufwändig ist.

Umfrage zu den indirekt bewertbaren Kosten – Arbeitszeitbedarf für Precision Farming

Unterschieden wurde in der Umfrage zwischen Arbeitszeiten, die einerseits direkt einer einzelnen Technologie (beispielsweise differenzierte Stickstoffdüngung) zuordenbar ist. Andererseits kann es Bedarf an Arbeitszeit für Arbeiten geben, die allgemein mit Precision Farming im Zusammenhang stehen (beispielsweise Dokumentation der Arbeit, Bearbeitung von Ertragskarten, Schulung und Weiterbildung, etc.). Für letzteres wurde von den Befragten ein durchschnittlicher Arbeitszeitaufwand von 4,1 Arbeitskraft (AK) min pro Hektar Betriebsfläche und Jahr genannt. Dabei wird der weitaus größte Teil der Arbeiten von hoch qualifiziertem Personal (z. B. Pflanzenbauleiter) durchgeführt. Für die

Planung der Grunddüngung wurde im Durchschnitt der Antworten von einem Arbeitszeitaufwand von 6,8 min pro Hektar berichtet, wobei auch hier fast alle Arbeiten von hoch qualifiziertem Personal durchgeführt werden. Für die Stickstoffdüngung sind die Ergebnisse, abhängig von der genutzten Strategie, in Tabelle 55 enthalten.

Tabelle 55: Arbeitszeitbedarf für die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung

Table 55: Labour time requirements for the site specific nitrogen fertilization

	Yara-N-Sensor	Crop-Meter	Potenzialkarte
Anzahl der Betriebe	20	3	2
Einstieg	1999 – 2005	2003, '04, '05	1997, 2003
Arbeitszeit (von ... bis)	Ø 1,2 min/ha (0,1 – 3,9)	Ø 5,6 min/ha (0,3 – 15)	Ø 0,1 min/ha und 6 min/ha
Anteil hoch qualifizierte AK	Ø 50 % (0 – 100 %)	56 – 66 %	83 – 100 %
Wann?	meist in Zeiträumen mit hoher Zeitkonkurrenz		

Zu weiteren teilflächenspezifischen Strategien, wie der differenzierten Aussaat oder dem Pflanzenschutz, wurden nahezu keine Angaben gemacht, da die Betriebe damit bisher noch keine (oder nur wenig) Erfahrung sammeln konnten.

Neben dem zusätzlichen Bedarf an Arbeitszeit wurde bei der Befragung ebenfalls nach möglichen Einsparungen an Arbeitszeiten durch Parallelfahrssysteme gefragt. Nicht zuletzt vor dem Hintergrund der häufigen Nennung dieser nicht direkt monetär bewertbaren Leistung in der weiter oben vorgestellten Umfrage (Abbildung 158) hat dies besondere Relevanz. Die Ergebnisse dazu sind in Tabelle 56 dargestellt.

Tabelle 56: Arbeitszeiteinsparung durch Parallelfahrssysteme, ermittelt in einer Umfrage unter Anwendern

Table 56: Labour time savings coming with the use of parallel tracking systems

	Aussaat	Düngung	Pflanzenschutz	Mähdrusch	Bodenbearbeitung
Anzahl Betriebe	2	12	12	8	9
Arbeitszeit- einsparung (von ... bis)	keine Angaben	60 bis 105 min/100 ha nur Betriebe ab 1.000 ha	45 min/100 ha	48 bis 142 min/100 ha	48 bis 160 min/100 ha nur Betriebe ab 1.500 ha

Für weitergehende Details zu den Ergebnissen dieser Umfrage sei auf SCHNEIDER & WAGNER (2007) verwiesen.

6.1.3.3 Ökonomische Betrachtung auf Betriebsebene

Die folgende Betrachtung bezieht sich ausschließlich auf direkt quantifizierbare Kosten und Leistungen. Die im Kapitel 6.1.3.2 charakterisierten indirekt bewertbaren Kosten und Leistungen sind jeweils sehr stark von den tatsächlichen betrieblichen Gegebenheiten abhängig und können daher für jeden Betrieb unterschiedlich sein. Jedoch sollte das Ergebnis der subjektiven Eindrücke der befragten Landwirte nach der Gewichtung der direkt- und indirekt bewertbaren Kosten und Leistungen im Hinterkopf behalten werden.

Folgend sollen nun für die zwei differenzierenden Technologien Grund- und Stickstoffdüngung zunächst ökonomische Betrachtungen auf Basis der einzelnen Technologien durchgeführt werden. Die differenzierte Aussaat wird vorerst nicht berücksichtigt. Dabei fließen die in der Literatur und in eigenen Versuchen ermittelten Ergebnisse zu den Leistungen einerseits, und aus Erhebungen von Hard- und Softwareanbietern sowie von Dienstleistern erhobene Kosten andererseits, mit ein. Alle Betrachtungen werden jeweils in Abhängigkeit vom jährlichen Einsatzumfang durchgeführt. Anschließend wird die Situation betrachtet, worin die differenzierenden Technologien Aussaat, Grund- und Stickstoffdüngung gleichzeitig eingesetzt werden. Dazu werden die Break-Even Schwellen für alle Strategien erneut berechnet.

Allgemein ist festzustellen, dass bei der Einführung von Precision Farming Technologien kostenseitig auf den ersten Blick kleinere Betriebe benachteiligt werden, wenn sie alle Maßnahmen selbst durchführen wollen. So ist beispielsweise bei der Anschaffung eines Düngerstreuers auf einem größeren Betrieb heutzutage die teilflächenspezifische Ansteuerbarkeit vom Werk aus vorgesehen. Ein kleinerer Betrieb wird bei der Anschaffung ein günstigeres Modell wählen, wozu nur gegen Aufpreis die notwendigen Aktoren zur differenzierten Ansteuerbarkeit nachrüstbar sind. Dieser Aufpreis kann zwischen 3.000 und 4.000 Euro betragen (persönliche Mitteilung eines Vertreters der Landtechnikindustrie). Gleiches ist auch bei der Ausrüstung eines Mähdreschers mit Ertragskartierung zu beobachten. Lediglich die Maschinen mit größter Kapazität, wie beispielsweise ein Lexion 600 Mähdrescher der Firma Claas, sind standardmäßig mit Ertragskartierung ausgestattet, während kleinere Maschinen nur gegen Aufpreis diesen Sensor enthalten (persönliche Mitteilung eines Vertreters des Landtechnikhandels). Sicherlich wird der Aufpreis in Maschinen, die ab Werk mit den entsprechenden Sensoren und Aktoren ausgestattet sind, schon im normalen Listenpreis mit enthalten sein. Jedoch nimmt durch diesen Umstand der „gefühlte“ Zuschlag für kleinere Landwirtschaftsbetriebe zu, was eine erhebliche Schwelle für den Einstieg in eine informationsgeleitete, räumlich differenzierende Bestandesführung darstellt. Sollten diese kleineren Betriebe einerseits nicht die Möglichkeit haben oder andererseits nicht willens sein, sich die entsprechenden Leistungen der räumlich differenzierten Bewirtschaftung von Dienstleistern zuzukaufen, so könnte für sie der Einstieg in das Precision Farming durch zu hohe zusätzliche Kosten pro Hektar eine schwer überwindbare Einstiegsschwelle darstellen.

In den folgenden Überlegungen wird davon ausgegangen, dass die teilflächenspezifisch ansteuerbare Applikationstechnik (z. B. Düngerstreuer, Drillmaschine) ohne zusätzliche Kosten verfügbar ist.

Teilflächenspezifische Grunddüngung

Auf Grundlage der durchgeführten Feldversuche und aus den Ergebnissen der Literaturrecherche konnten bisher keine verallgemeinerbaren Ergebnisse zu den möglichen Leistungen gefunden werden. Einerseits ist das von verschiedenen standortspezifischen Faktoren abhängig wie beispielsweise dem Nährstoffversorgungszustand oder der Fruchtfolge. Andererseits ist mit einer längerfristigen Wirkung zu rechnen, die wahrscheinlich nicht gleich nach der Düngung erkennbar ist. Aus diesem Grund werden an dieser Stelle lediglich Break-Even Betrachtungen durchgeführt um die zusätzlichen Kosten zu bestimmen, die mit unterschiedlichen Herangehensweisen anfallen. Dabei ist besonders die gewählte Bodenbeprobungsherangehensweise von Bedeutung. Tabelle 57 enthält eine Aufstellung der jährlichen zusätzlichen Kosten bei einem Planungszeitraum von 4 Jahren (die Dauer einer möglichen Fruchtfolgerotation).

Für die Kalkulation der zusätzlichen Kosten für Beprobung und Planung der Applikation wurden jeweils Angaben von Dienstleistern zugrunde gelegt. Grundsätzlich gilt, dass je höher aufgelöst die Be-

probung durchgeführt wird, die Kosten steigen. Allerdings ist durchaus denkbar, dass ein landwirtschaftlicher Betrieb einzelne Positionen, wie beispielsweise die Bodenbeprobung, in Eigenleistung günstiger durchführen kann. Die zusätzlichen Kosten würden dadurch niedriger ausfallen, als in Tabelle 57 aufgeführt. Damit sind die aufgeführten jährlichen Kosten als Orientierung (maximale Kosten) zu verstehen.

Tabelle 57: Jährliche Kosten der differenzierten Bodenbeprobung und Grundnährstoffapplikation bei einem vierjährigen Planungszeitraum

Table 57: Additional annual costs of the site specific soil sampling and base nutrients application at an four years soil sampling rotation

	10-ha Raster ^{a)}	5-ha-Raster	3-ha-Raster	1-ha-Raster
Bodenbeprobung ^{b)} (€/ha)	2,60	+ 2,20	+ 3,20	+ 6,90
Nährstoffanalyse ^{b)} (€/ha)	0,75	+ 0,75	+ 1,75	+ 6,75
Differenzierte GD Planung ^{b)} (€/ha)	0	+ 2,00		
Mineraldünger streuen ^{c)} (€/ha)	4,30	+ 12,90		
zusätzliche Kosten, jährlich ^{d)} (€/ha)	0	+ 4,72	+ 5,32	+ 7,95

^{a)} flächeneinheitliche Vergleichsbeprobung
^{b)} nach Angaben von Dienstleistern
^{c)} Annahme: insgesamt viermalige Überfahrt (mit jedem Nährstoff einzeln) bei differenzierter Applikation notwendig; berechnet nach KTBL Faustzahlen Landwirtschaft, S. 110 – 111, „Mineraldünger transportieren, beladen und streuen“
^{d)} jährliche Zusatzkosten der differenzierten Grundnährstoffapplikation, berechnet nach Annuitätenmethode, Abschreibung 4 Jahre, Zinssatz 8 % p.a.

Weiterhin ist für die teilflächenspezifische Applikation der Grundnährstoffe ein Terminal mit GPS notwendig, worüber der Düngestreuer angesteuert wird. Nutzt ein Anwender ausschließlich die Technologie der differenzierten Grunddüngung, so sind die jährlichen Kosten dieses Terminals ausschließlich auf den Umfang der jährlich gedüngten Fläche zu beziehen. In Abbildung 159 sind die jährlichen Gesamtkosten der differenzierten Bodenbeprobung, Analyse, Planung und Applikation enthalten.

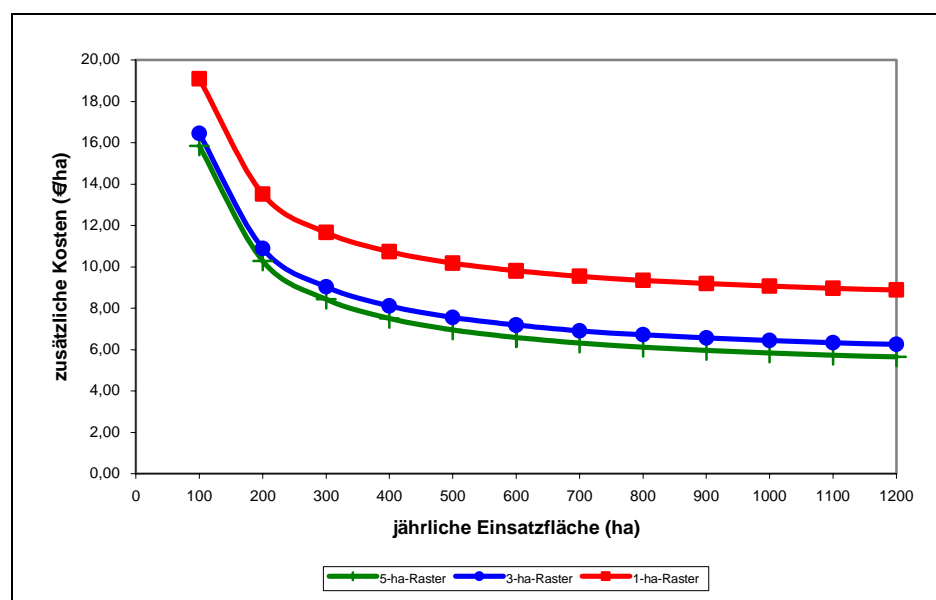


Abbildung 159: Verlauf der jährlichen Kosten der Grundnährstoffbeprobung und Applikation in Abhängigkeit vom jährlichen Einsatzumfang

Figure 159: Development of the annual costs of the soil sampling and base nutrients application in dependence of the annual operational area

Etwaige Mehr- oder Minderaufwendungen an Düngemittel im Vergleich zur flächeneinheitlichen Heranhegensweise sind nicht berücksichtigt. Als Anschaffungspreis für das Terminal mit GPS Empfänger wurden 4.800 Euro veranschlagt. Die Berechnung der jährlichen Kosten erfolgte mit der Annuitätenmethode bei einem Abschreibungszeitraum von 5 Jahren und einer jährlichen Verzinsung des eingesetzten Kapitals von 8 Prozent.

Beispielsweise müsste der jährliche Mehrertrag bei einer Düngung auf 300 Hektar pro Jahr nach einer Bodenbeprobung im 5-ha-Raster (3-ha-Raster, 1-ha-Raster) bei 8,43 €/ha (9,03 €/ha; 11,66 €/ha) liegen. Das Erreichen dieses Mehrertrages scheint durchaus realistisch zu sein, widerspiegelt er bei einem Produktpreis von 15 Euro pro Dezitonne Getreide beispielsweise einen notwendigen Mehrertrag von weniger als einer Dezitonne pro Jahr.

Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung

Für die folgenden Betrachtungen sind Ergebnisse von insgesamt 9 Feldversuchen (inklusive 5 Versuche des Versuchsgutes der Universität Halle zur Verbreiterung der Datenbasis) zur differenzierten Stickstoffdüngung zu Winterweizen vorhanden. Dabei wurden drei unterschiedliche Strategien („Karte“, „Sensor“ und „Netz“) evaluiert. In Tabelle 58 sind die jährlichen Kosten der einzelnen Strategien zusammengefasst. Die Berechnung der jährlichen Kosten der Strategien „Karte“ und „Sensor“ basieren auf Angaben der jeweiligen Anbieter. Da sich die Strategie „Netz“ derzeit in einem Entwicklungsstadium befindet, basieren die Kosten hierzu lediglich auf Annahmen.

Tabelle 58: Aufstellung der jährlichen Kosten für drei Strategien zur differenzierten Stickstoffdüngung

Table 58: Listing of the additional annual costs for the three site specific nitrogen fertilization strategies

	Datenerhebung		Datenverarbeitung		Durchführung der Applikation	jährliche Kosten ^{a)}
Karte	Ausrüstung MD mit Ertragskartierung	8.500 €/MD	Kartenerstellung in Dienstleistung	2 €/ha	Terminal mit GPS 4.800 €	3.084,3 € + 0,28 €/ha
Sensor	Yara-N-Sensor (22.350 €); jährlicher Service (800 € p.a.)					6.397,7 €
Netz	Yara-N-Sensor	22.350 €	Kartenerstellung in Dienstleistung	2 €/ha		8.368,9 € + 0,97 €/ha
	Ertragskartierung	8.500 €				
	EM38 Messung	5 €/ha				
^{a)} berechnet nach der Annuitätenmethode; Abschreibungszeitraum: 5 Jahre für Hard-/Software, 10 Jahre für Informationen; Zinssatz 8 % p.a.						

In Abbildung 160 ist der Verlauf der Kosten in Abhängigkeit des jährlichen Einsatzumfanges dargestellt. Der „Sprung“ der Kurven bei 600 Hektar zu den Strategien „Karte“ und „Netz“ resultiert aus der Ausstattung eines zweiten Mähdeschers mit einem Ertragskartierungssystem. Die unterschiedlichen Strategien verursachen unterschiedliche Kostenniveaus. Die niedrigsten Kosten kommen dabei von der Strategie „Karte“, gefolgt von „Sensor“.

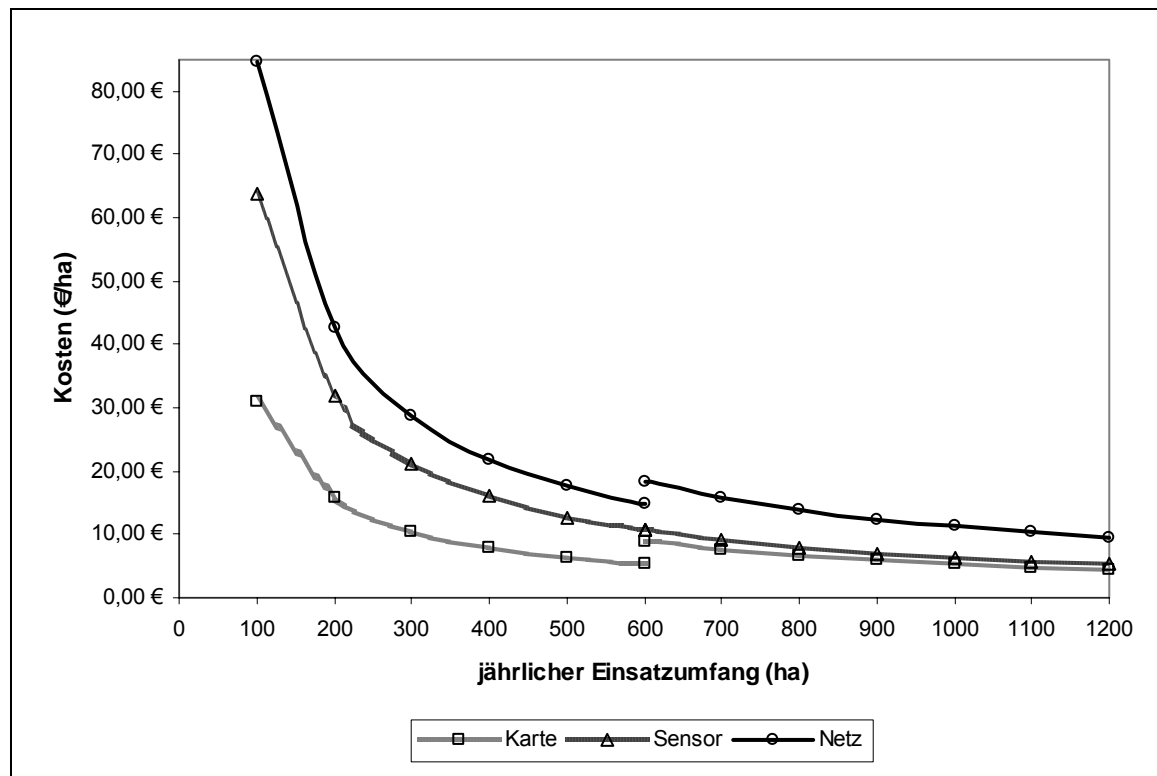


Abbildung 160: Verlauf der jährlichen Kosten der differenzierten Stickstoffdüngung in Abhängigkeit des jährlichen Einsatzumfanges

Figure 160: Development of the annual costs for the different site specific nitrogen fertilization strategies in dependence of the annual operational area

Um der teilweise hohen Variabilität der Feldversuchsergebnisse in Abhängigkeit von der jährlichen Witterung Rechnung zu tragen, wird folgend die Break-Even Betrachtung mit einer Risikoanalyse anhand der im Kapitel 6.1.2.3 dokumentierten Parameter verbunden.

Die Tabelle 59 enthält die Ergebnisse der Simulationsläufe. Weiterhin sind in Abbildung 161 die kumulativen Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Strategien für das zweite Preisszenario abgetragen.

Tabelle 59: Ergebnisse der Simulationsläufe für die beiden Preisszenarien

Table 59: Results of the Monte Carlo Simulation for the both price scenarios

Preisszenario	Strategie	Minimum	Durchschnitt	Maximum	Standardabweichung
I	„Karte“	- 57,28	- 6,35	22,56	14,88
	„Sensor“	- 9,11	18,13	39,49	8,79
	„Netz“	13,81	21,66	17,47	2,64
II	„Karte“	- 81,35	- 12,97	25,11	19,24
	„Sensor“	- 13,52	18,90	43,94	10,02
	„Netz“	15,93	25,42	39,53	3,60

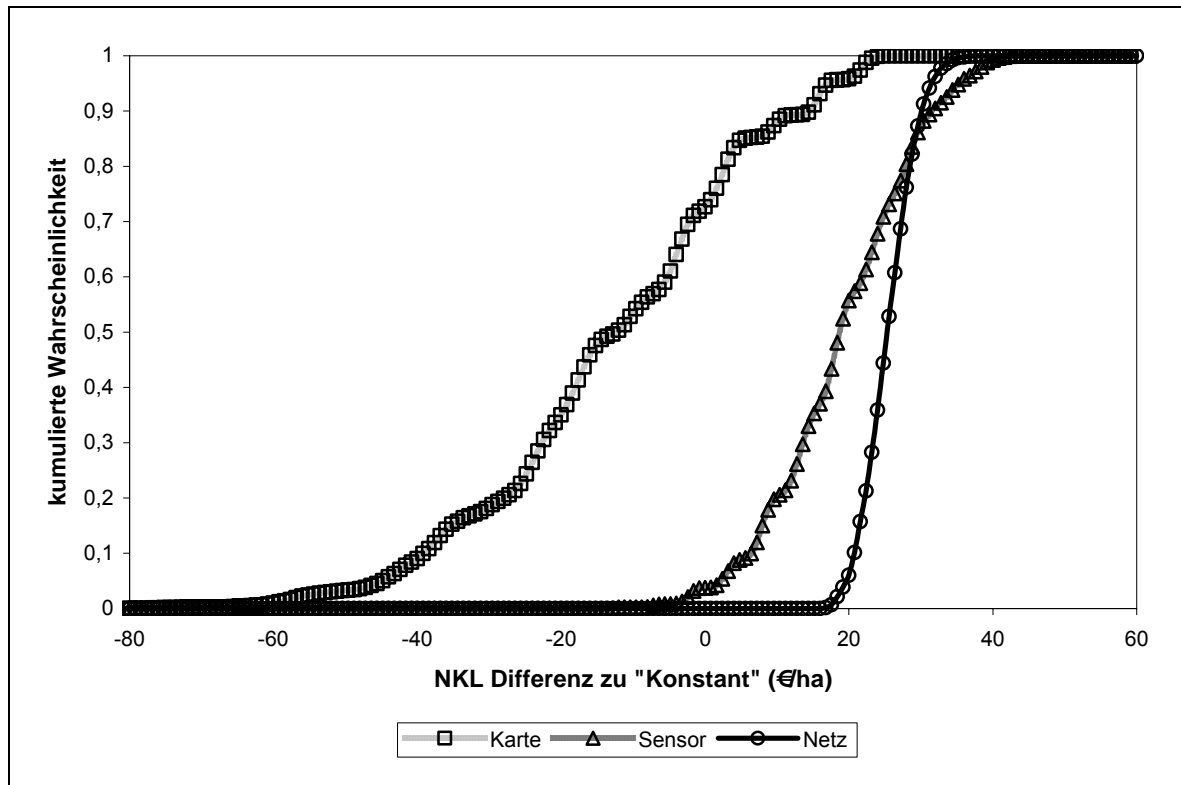


Abbildung 161: Kumulative Wahrscheinlichkeit der einzelnen teilflächenspezifischen Düngestrategien für das zweite Preisszenario

Figure 161: Cumulative probability plot of the different site specific nitrogen fertilization strategies for the second price scenario

Die beiden Strategien „Sensor“ und „Netz“ sind gegenüber der Strategie „Karte“ stochastisch dominant ersten Grades (HARDARKER et al. 2004). Dies bedeutet, dass beide erstgenannten Strategien unter den betrachteten Umständen bevorzugt werden sollten. Die Wahrscheinlichkeit für die Strategie „Karte“ ein gegenüber der Strategie „Konstant“ ausgeglichenes Ergebnis zu erreichen (d. h. „besser zu sein“) liegt lediglich bei 27 Prozent. Weiterhin ist die Strategie „Netz“ stochastisch dominant zweiten Grades gegenüber dem „Sensor“ Ansatz. In beiden Szenarien erreicht die „Netz“ Strategie die niedrigste Standardabweichung, was durch die im Vergleich zu den anderen Strategien niedrige Variabilität der einzelnen Feldversuchsergebnisse begründet ist. Wird ausschließlich die stickstoffkostenfreie Leistung zugrunde gelegt (also ohne Berücksichtigung von zusätzlichen Kosten), so würde ein risikoavers handelnder Landwirt unter den gegebenen Bedingungen die Strategie „Netz“ bevorzugen. Die Wahrscheinlichkeit, dass hier die Strategie „Sensor“ überlegen ist, liegt lediglich bei 16 Prozent.

Unter Berücksichtigung der durch die einzelnen Strategien verursachten Zusatzkosten, enthält die Tabelle 60 für ausgewählte jährliche Einsatzumfänge die Wahrscheinlichkeiten, dass die Break-Even Schwelle überschritten wird. Wie weiter oben schon angesprochen, ist die Wahrscheinlichkeit für den „Karten“ Ansatz ziemlich niedrig auch bei hoher jährlicher Flächenauslastung (niedrigste Kosten pro Hektar) die Wirtschaftlichkeitsschwelle zu überschreiten. Sie liegt je nach Szenario im günstigsten Fall nur bei knapp 25 bzw. 16 Prozent.

Tabelle 60: Wahrscheinlichkeiten für ausgewählte jährliche Einsatzumfänge des Erreichens der Break-Even Schwellen (in Prozent)

Table 60: Probabilities for selected annual operational areas for reaching the point of break-even (in percent)

	Strategie	jährlicher Einsatzumfang (ha)				
		100	300	500	1.000	1.200
Szenario I	„Karte“	0,0	13,4	17,2	21,7	24,6
	„Sensor“	0,0	38,0	73,3	90,7	91,4
	„Netz“	0,0	0,3	93,8	100,0	100,0
Szenario II	„Karte“	0,0	11,3	14,8	14,9	15,7
	„Sensor“	0,0	41,6	73,9	90,0	91,0
	„Netz“	0,0	17,4	99,0	100,0	100,0

Es ist nun von der Risikoneigung des Entscheidungsträgers abhängig, ab welcher Wahrscheinlichkeit zur Überschreitung des Break-Even er dem Einsatz der differenzierten Stickstoffdüngung zustimmt. Sicherlich sollte eine Schwelle von 50 Prozent mindestens überschritten werden. Ab dieser Schwelle ist es wahrscheinlicher, dass ein positives Ergebnis aus der Nutzung dieser Technologien resultiert. Wird diese Schwelle zugrunde gelegt, so liegt im ersten Preisszenario die Break-Even Schwelle bei 353 (407) Hektar jährlichen Einsatzumfanges für die Strategie „Sensor“ („Netz“). Im Bereich zwischen 407 und 429 Hektar würde der „Sensor“ Ansatz zu bevorzugen sein, darüber der „Netz“ Ansatz. Bei höheren Produkt- und Faktorpreisen (Preisszenario II) würde diese Break-Even Schwelle auf 344 Hektar für beide Strategien sinken.

Trotz der höchsten jährlichen Kosten für die Strategie „Netz“ im Vergleich zu den anderen beiden Strategien, liegt in jedem Preisszenario die Garantie (Wahrscheinlichkeit von 100 Prozent den Break-Even zu erreichen) bei unter 1.000 Hektar. Das Erreichen dieser Garantie wird durch die durchweg positiven Feldversuchsergebnisse in allen drei Jahren verursacht.

Teilflächenspezifische Aussaat, Grund- und Stickstoffdüngung

Nutzt ein Betrieb mehr als eine einzelne differenzierende Technologie, so werden sich Degressionseffekte hinsichtlich der Kosten der einzelnen Technologien, im Vergleich zur Nutzung ausschließlich einer Technologie, einstellen. Beispielsweise sind einmal erhobene Informationen auf Teilschlagbasis für mehrere Ansätze verwendbar. Ebenso kann ein einmal angeschafftes Terminal die Applikation von mehreren Technologien nacheinander steuern. Dadurch ist zu erwarten, dass der Break-Even sich zugunsten eines Einsatzes mit niedrigerem jährlichem Flächenumfang verschiebt.

An dieser Stelle wird zusätzlich der Einsatz der teilflächenspezifischen Aussaat mit zugrunde gelegt. Dabei wird unterstellt, dass jeweils die vorhandenen Informationen verwendet werden, die für die Stickstoffdüngung ohnehin schon genutzt werden. Das ist zur Strategie „Karte“ die Einteilung des Feldes in unterschiedliche Ertragspotenzialzonen, zur Strategie „Sensor“ die Nutzung von Ertragskarten (zusätzliche Information notwendig, da diese Stickstoffdüngungs-Strategie ansonsten ausschließlich auf „in-season“ Informationen basiert die nicht für die Aussaat genutzt werden können) und zur Strategie „Netz“ die Ertragskartierung und Leitfähigkeitsmessung. Diese Unterstellung basiert an dieser Stelle auf rein hypothetischen Annahmen, da für die differenzierte Aussaat bisher noch keine erfolgreiche Strategie identifiziert werden konnte (siehe Kapitel 6.1.1.3 bzw. 6.1.3.1)

In Tabelle 61 sind die zusätzlichen Kosten der einzelnen Technologien in Abhängigkeit von unterschiedlichen jährlichen Einsatzumfängen enthalten. Im Vergleich zur Nutzung einer einzelnen Technologie, wie in den vorhergehenden Kapiteln dargestellt, sinken die Kosten teilweise sehr stark. Über

einem jährlichen Einsatzumfang von 500 Hektar beispielsweise, liegen die Kosten für die einzelnen Technologien in Tabelle 61 zwischen 3 und 12 Euro pro Hektar. Dabei ist es durchaus vorstellbar, dass Ertragseffekte in diesen Größenordnungen erzielbar sind.

Tabelle 61: Zusätzliche Kosten der einzelnen Technologien Aussaat, Grund- und Stickstoffdüngung in Abhängigkeit des jährlichen Einsatzumfanges bei gleichzeitiger Nutzung von mehreren Technologien

Table 61: Additional costs of the different strategies seeding, base- and nitrogen fertilization, in dependence of the annual operational area at the utilization of different strategies at the same time

Technologie	Strategie	jährlicher Einsatzumfang (ha)				
		100	300	500	1.000	1.200
Aussaat	zu „Karte“ ^{a)}	15,44 €/ha	5,24 €/ha	3,20 €/ha	2,65 €/ha	2,23 €/ha
	zu „Sensor“ ^{a)}	15,31 €/ha	5,10 €/ha	3,06 €/ha	2,52 €/ha	2,10 €/ha
	zu „Netz“ ^{a)}	15,79 €/ha	5,58 €/ha	3,54 €/ha	3,00 €/ha	2,58 €/ha
Grunddüngung	5-ha-Raster	8,43 €/ha	5,96 €/ha	5,46 €/ha	5,09 €/ha	5,03 €/ha
	3-ha-Raster	9,03 €/ha	6,56 €/ha	6,06 €/ha	5,69 €/ha	5,63 €/ha
	1-ha-Raster	11,66 €/ha	9,19 €/ha	8,69 €/ha	8,32 €/ha	8,26 €/ha
Stickstoffdüngung ^{b)}	„Karte“	15,44 €/ha (8,2 %)	5,24 €/ha (15,0 %)	3,20 €/ha (18,7 %)	2,65 €/ha (20,5 %)	2,23 €/ha (22,1 %)
	„Sensor“	47,67 €/ha (0 %)	15,89 €/ha (63,2 %)	9,53 €/ha (80,3 %)	4,77 €/ha (91,2 %)	3,97 €/ha (91,8 %)
	„Netz“	58,00 €/ha (0 %)	19,66 €/ha (95,1 %)	11,99 €/ha (100 %)	7,22 €/ha (100 %)	6,10 €/ha (100 %)

a) jeweils Nutzung der schon für die Stickstoffdüngung vorhandenen Informationen, bis auf „Sensor“: hierzu ist zusätzlich Ertragskartierung und eine GIS-Software notwendig
b) hierzu wird ebenfalls die Wahrscheinlichkeit (Preisszenario II) mit ausgewiesen, den Break-Even zu erreichen; Werte in Klammer

Zur Stickstoffdüngung in Tabelle 61 ist neben den absoluten zusätzlichen Kosten weiterhin auch die Wahrscheinlichkeit angegeben, mit der der Break-Even zu diesem jährlichen Einsatzumfang erreicht wird. Dabei wurden wiederum die Ergebnisse der Simulation, vorgestellt in Kapitel 6.1.2.3, genutzt (Preisszenario II). Wird wieder die im vorhergehenden Abschnitt zur differenzierten Stickstoffdüngung diskutierte Schwelle zugrunde gelegt, dass ab dem Überschreiten der Wahrscheinlichkeitsschwelle von 50 Prozent ein Entscheidungsträger sich frühestens für den Einsatz der differenzierten Bewirtschaftung entscheiden wird, so wird dieser für den „Sensor“ Ansatz („Netz“) schon bei 254 (231) Hektar erreicht. Damit wird die Break-Even Schwelle allein durch die Kostenteilung mit anderen Technologien um ca. 100 Hektar vorgezogen. Auffällig ist ebenfalls, dass diese Schwelle für den „Netz“ Ansatz stärker zurück geht als für den „Sensor“ Ansatz. Das kann damit begründet werden, dass für den „Netz“ Ansatz schon unterschiedliche Informationen vorhanden sind die anschließend für weitere Technologien wie beispielsweise die differenzierte Aussaat genutzt werden können. Die „Sensor“ Strategie hingegen beruht ausschließlich auf „in-season“ Informationen, die für weitere Technologien nicht allein ausreichend sind.

6.1.4 Diskussion und Ausblick

Die Literaturübersicht zu Beginn dieses Beitrages gab einen groben und sicherlich unvollständigen Überblick über die derzeitige Entwicklung der einzelnen Precision Farming Technologien. Zusammenfassend kann danach gesagt werden, dass manche Technologien in der Praxis breit eingeführt (z. B. differenzierte Düngung) sind, während sich andere teilweise noch in einem frühen Entwicklungsstadium (beispielsweise differenzierte Unkrautbekämpfung) befinden. Für keine der angesprochenen Technologien kann behauptet werden, dass die Entwicklungen abgeschlossen sind. Es werden

fast ausschließlich Entscheidungsregeln der ersten Generation, also ohne Berücksichtigung ökonomischer Parameter, genutzt.

Die beiden Umfragen zu den nur indirekt bewertbaren Effekten des Precision Farming zeigen einerseits, dass neben potenziellen Ertragssteigerungen und Produktionsfaktoreinsparungen zusätzlich viele weitere Effekte möglich sind und in der Praxis auch beobachtet wurden. Allein schon die mehrmalige Nennung des Effektes der besseren Informationsgrundlage zur Entscheidungsfindung bestätigt die in der Einleitung aufgestellte These, dass Precision Farming tatsächlich ein bedeutender Schritt zum besseren Management ist. Auffällig ist die Gewichtung zwischen direkt und indirekt bewertbaren Effekten durch die Befragten: die Mehrheit spricht sich für ein stärkeres Gewicht der indirekten Effekte aus. Weiterhin berichteten nur sehr wenige befragte Landwirte auf der Seite der direkt bewertbaren Leistungen von Ertragssteigerungen, wenngleich die Effekte der Betriebsmitteleinsparungen aus den Umfrageergebnissen als gesichert hervorgehen. Aus den Ergebnissen der selbst durchgeführten Feldversuche lässt sich dieses Umfrageergebnis bestätigen – positiv signifikante Ertragssteigerungen wurden nur selten ermittelt. Diese Beobachtungen könnten zu der Hypothese führen, dass die Effekte des derzeit nutzbaren Precision Farming auf einer allgemeinen Anpassung des Betriebsmitteleinsatzniveaus beruhen.

Die Ergebnisse der Feldversuche zur differenzierten Stickstoffdüngung mit der anschließenden Risikoanalyse zeigen, dass grundsätzlich eine Betrachtung von Zeitreihen von Feldversuchsergebnissen sinnvoll sein kann. Es wurde je nach angewandter Strategie eine mehr oder weniger große Streuung in den stickstoffkostenfreien Leistungen, abhängig von der Witterung des Versuchsjahres, gefunden. Weiterhin wurde gezeigt, dass nicht jede der genutzten differenzierenden Technologien automatisch auch zu positiven Effekten führt. Dieser Umstand, verbunden mit der fehlenden Transparenz der Ertragseffekte bei Nichtnutzung der Methodik der Praxisfeldversuche, kann einerseits zu Akzeptanzproblemen bei der Einführung von teilflächenspezifisch differenzierenden Technologien führen. Andererseits könnten Precision Farming Nutzer „unbemerkt“ bei Anwendung der falschen Entscheidungsregeln Verluste im Vergleich zu ihrer bisherigen Wirtschaftsweise hinnehmen.

Aus den vorgestellten Feldversuchsergebnissen geht weiterhin hervor, dass es durchaus sinnvoll sein kann, Entscheidungsregeln der zweiten Generation zu entwickeln und anzuwenden. Der Strategie „Netz“ kommen die stabilsten positiven Ergebnisse zu, wenngleich sich diese Strategie noch in einem frühen Entwicklungsstadium befindet.

Grundsätzlich kann die Diskussion um die ökonomische Sinnhaftigkeit des Precision Farming nicht mehr darum geführt werden, ob es sich allgemein lohnt. Sie sollte darum geführt werden, wie es sich unter den gegebenen Bedingungen lohnt, bzw. ob die Effekte des genutzten Ansatzes ausreichend sind, um die zusätzlichen Kosten der Technologien zu decken. Hierbei lässt sich feststellen, dass kleinere Betriebe allgemein durch höhere zusätzliche Kosten pro Hektar – teilweise auch überproportional höher im Vergleich zu größeren Betrieben – bei Nutzung von eigener Technik zur Durchführung der Precision Farming Maßnahmen diskriminiert werden. Wollen sie auch an den Effekten des Precision Farming teilhaben, so wird auf diese Betriebe ein gewisser Druck ausgeübt, andere Organisationsformen zu wählen (z. B. Beauftragung eines Dienstleisters, Kooperation mit Nachbarn). Hier trägt das Precision Farming seinen Teil zum Strukturwandel in der Landwirtschaft bei.

Die Break-Even Betrachtung unter Einbeziehung der drei differenzierenden Technologien Aussaat, Grund- und Stickstoffdüngung zeigt, dass bedingt durch Degressionseffekte die zusätzlichen Kosten pro Hektar und genutzter Technologie teilweise extrem zurückgehen. Mit dem stark sinkenden Break-Even für die einzelnen Technologien werden folglich bei gegebenem Flächenumfang niedrigere Effekte notwendig um diese Punkte zu erreichen. Gleichzeitig ist es durchaus denkbar, dass sich die Effekte

verstärken, da eine noch größere Informationsbasis zur Entscheidungsfindung genutzt wird. So ist es weiterhin vorstellbar, dass sich die Gesamteffekte bei Anwendung mehrerer Technologien gleichzeitig nicht aus der Addition der einzelnen Effekte resultieren, sondern multiplikativ miteinander verbunden sind. Diese Aussage bleibt jedoch eine Vermutung, da solche Versuche zur Überlagerung mehrerer Precision Farming Strategien bisher nicht durchgeführt werden konnten. Jedoch lässt sich zumindest im Gedankenexperiment am Beispiel einer gleichzeitigen Grund- und Stickstoffdüngung, wodurch eine noch effizientere Ausnutzung der einzelnen eingesetzten Dünger resultiert, feststellen, dass diese Vermutung durchaus nahe liegend sein kann.

Damit stellt der Einstieg eines landwirtschaftlichen Betriebes in vorerst eine einzelne differenzierende Technologie eine gewisse Schwelle dar. Kann diese Schwelle überwunden werden, so ist davon auszugehen, dass sich die Einführung weiterer Technologien aufgrund der angesprochenen Effekte beschleunigen wird. Alles muss jedoch vor dem Hintergrund gesehen werden, dass auch praxisreife Lösungen für den Landwirt verfügbar sind.

Damit lässt sich für zukünftige Entwicklungen festhalten, dass nicht mehr die Kosten der Datenerfassung und Maßnahmendurchführung das entscheidende Kriterium für den Einsatz von Precision Farming Technologien sein werden, sondern die Kosten, bzw. überhaupt die Existenz der Methodiken und Ansätze um standortangepasste Entscheidungsregeln zu erstellen.

Weiterhin könnten noch zu leistende Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der Feldversuchsdurchführung und -auswertung hin zu einer Minimierung des Aufwandes der Durchführung dieser Praxisversuche dazu führen, dass die Entscheidungsträger in landwirtschaftlichen Betrieben eine verbesserte Transparenz über die Effekte der eingesetzten Methodiken hätten. Dies würde die Akzeptanz dieser differenzierenden Technologien weiterhin verbessern.

Es kann nicht generell gesagt werden, dass alle Precision Farming Strategien immer besser sind als die flächeneinheitliche Bewirtschaftung. Die Existenz standortangepasster Entscheidungsregeln bestimmt das Potenzial der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung maßgeblich.

Danksagung

Wir bedanken uns bei den Herren U. Wagner und W. Träger-Farny für die Möglichkeiten der Versuchsdurchführung auf ihren Betrieben. Weiterhin bedanken wir uns bei der „Domäne Görzig“, einem Versuchsbetrieb der Martin-Luther-Universität (MLU) Halle-Wittenberg für die Bereitstellung der Versuchsergebnisse.

Bei Herrn Spilke und Herrn Döring von der MLU Halle-Wittenberg bedanken wir uns für die Unterstützung bei der statistischen Feldversuchsauswertung und Bereitstellung der langjährigen Witterungsinformationen.

Nicht zuletzt gilt unser Dank allen Teilprojekten, der Projektleitung und -koordination für die interessante Zusammenarbeit.

Literatur

AKAIKE, H. (1973): Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: PETROV, B.N. & F. CSAKI [Hrsg.]: Proceeding of the Second International Symposium on Information Theory, Budapest. S. 267 – 281.

- BACKES, M., D. SCHUMACHER & L. PLÜMER (2005): The sampling problem in weed control – are currently applied sampling strategies adequate for site-specific weed control? In: Stafford, J.V. [Hrsg.]: Precision Agriculture '05. Niederlande, S. 155 – 161.
- BAUER M.G., J.G. DAVIS, K.A. SUDDUTH & S.T. DRUMMOND (2000): Agronomic and economic evaluation of variable-rate seeding on Missouri soils. In: Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, Minnesota. pdf Nr. 15.
- BOBERT, J., W. MIRSCHEL, K.-O. WENKEL & R. WIELAND (2006): YIELD-PLAN – eine Methodik zur GIS-gestützten teilflächenbezogenen Planung von Ertragszielen – Stand und Perspektiven. In: WENKEL, K.-O., P. WAGNER, M. MORGENSTERN, K. LUZI & P. EISERMANN. [Hrsg.]: Land- und Ernährungswirtschaft im Wandel – Aufgaben und Herausforderungen für die Agrar- und Umweltinformatik. Referate der 26. GIL Jahrestagung, Potsdam. S. 29 – 32.
- BRONSON, K.F., R.J. LASCANO, J.D. BOOKER, A.B. ONKEN, J.W. KEELING, T.L. ARCHER, S. MACHADO, E.D. BYNUM, D.M. NESMITH & LI HONG (2000): Grid soil sampling: comparisons of grid size with landscape- and soil texture-based sampling strategies in the southern plains. In: Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, Minnesota, pdf Nr. 26.
- CASTRIGNANÒ, A., G. BUTTAFUOCO, M. PISANTE & A.V. VONELLA (2005): How spatial and temporal variability can affect fertilization trial results. In: Stafford, J.V. [Hrsg.]: Precision Agriculture '05. Niederlande, S. 761 – 768.
- COOK, S.E., R.J. CORNER, G. RIETHMULLER, G. MUSSEL & M.D. MAITLAND (1996): Precision agriculture and risk analysis: an Australian example. In: Robert, P.C., R.H. Rust & W.E. Larson [Ed.]: Proceedings of the 3rd International Conference on Precision Agriculture. 23 – 26 June, Minneapolis Minnesota, ASA/CSSA/SSSA. pp. 1123 – 1132.
- DAMMER, K.-H. & D. EHLERT (2006): Variable-rate fungicide spraying in cereals using a plant cover sensor. IN: Journal of Precision Agriculture, Vol. 7, S. 137 – 148.
- DOHMEN, B., U. WAGNER & A. REH (2004): Bestandesinformation. In: Werner, A. [Hrsg.]: Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau – Verbundprojekt *pre agro*, Abschlussbericht. Müncheberg.
http://www.preagro.de/Veroeff/preagro_Endbericht_Bestandesinformationen.pdf (am 25.6.2008)
- DÖRING, J. (2004): Zu den Klimaverhältnissen im östlichen Harzvorland. In: Hercynia N.F. 37. S. 137 – 154.
- EBELHAR, S.A., C.D. HART, T.A. FEHRENBACHER, E.C. VARSA, T.D. WYCISKALLA & G.K. ROBERTSON (2002): Variable seeding rate and variable nitrogen rate effects on corn. Part I. Variable seeding. In: Robert, P.C. [Hrsg.]: 2002: Proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture, Minnesota. pdf S. 505 – 519.
- EHLERT, D. & K.-H. DAMMER (2006): Widescale testing of the Crop-meter for site-specific farming. IN: Journal of Precision Agriculture, Vol. 7, S. 137 – 148.
- FRANZEN, D.W. & T.R. PECK (1993): Soil sampling for variable rate fertilization. In: Hoefl, R.G. [Hrsg.]: Proceedings Illinois Fertilizer Conference, Springfield, Internet: <http://frec.cropsci.uiuc.edu/1993/report10/index.htm> (am 5.7.2007).
- GANDORFER, M. (2006): Bewertung von Precision Farming dargestellt am Beispiel der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung. Dissertation, Freising.

- GOTWAY CRAWDORD, C.A., D.G. BULLOCK, F.J. PIERCE, W.W. STROUP, G.W. HERGERT & K.M. ESKRIDE (1997): Experimental design and statistical evaluation techniques for site-specific management. In: Pierce, F.J. & E.J. Sadler [Hrsg.]: The state of site-specific management for agriculture, ASA, CSSA, SSSA, Madison, S. 301 – 335.
- GRIFFIN, T.W., D.M. LAMBERT & J.M. LOWENBERG-DEBOER (2004): Testing appropriate on-farm trial designs and statistical methods for precision farming: a simulation approach. In: Mulla, D.J. [Hrsg.]: Proceeding of the 7th International Conference on Precision Agriculture. S. 1733 – 1752.
- GRAEFF, S., W.D. BATCHELOR & W. CLAUPEIN (2005): Site-specific application of fungicides – technologies and tools to identify pathogens and for decision support. In: Kämpf et al. (Hrsg.): Mitteilung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften. Band 17, S. 377-378.
- GROVE, J.H. & E.M. PENA-YEWTUKHIW (2007): The potential of „precision“ recommendations for site-specific phosphorus, potassium and lime application. In: Stafford, J.V. [Hrsg.]: Precision Agriculture '07, Niederlande. S. 689 – 695.
- HARDARKER, J.B., R.B.M. HURINE, J.R. ANDERSON & G. LIEN (2004): Coping with risk in agriculture. CABI Publishing, Wallingford, UK. second edition.
- HARRIS, D. (1997): Risk management in precision farming. In: Precision Agriculture 1997: Proceedings of the 1st European Conference on Precision Agriculture, edited by Stafford, J.V. (BIOS Scientific Publishers Limited, UK), Vol. II, pp. 949 – 956.
- HEMKE, M., K.-H. DAMMER, W.B. HERPPICH, H.-J. HELLEBRAND, H. BEUCHE & B. RODEMANN (2007): Digital image analysis for detection of head blight (*Fusarium* spp.) in winter wheat. In: Bleiholder, H. & H.-P. Piepho [Hrsg.]: Proceedings of the International Symposium Agricultural Field Trials – Today and Tomorrow. Stuttgart. S. 56 – 61.
- HUANG, W., D.W. LAMB, Z. NIU, Y. ZHANG, L. LIU & J. WANG (2007): Identification of yellow rust in wheat using in-situ spectral reflectance measurements and airborne hyperspectral imaging. In: Journal of Precision Agriculture. Online First (<http://www.springerlink.com/content/103317/>).
- HURLEY, T., G. MALZER & B. KILIAN (2002): A test of within field variation for corn response to nitrogen in central Minnesota. KTBL-Sonderveröffentlichung 038, S. 411 – 421.
- JÄGER, S. (2003): Beispiele für die Umsetzung – Landgut GmbH Staritz. In: Hasert, G., U. Merkel, H. Matthes, E. Neubauer, S. Jäger, H. Lisso, K. Trunk, E. Albert, E. Ehlert, U. Völker, K.-H. Dammer, J. Prochnow, M. Quinckhardt, P. Jürschik & O. Wißwedel [Hrsg., 2003]: Zukunftsträchtiger Ackerbau – Systeme der computer- und GPS-gestützten teilflächenspezifischen Bewirtschaftung praxisnah bewertet. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin. S. 186 – 189.
- JÄGER, S. & U. MERKEL (2003): Teilflächenspezifische Aussaat. In: Hasert, G., U. Merkel, H. Matthes, E. Neubauer, S. Jäger, H. Lisso, K. Trunk, E. Albert, E. Ehlert, U. Völker, K.-H. Dammer, J. Prochnow, M. Quinckhardt, P. Jürschik & O. Wißwedel [Hrsg., 2003]: Zukunftsträchtiger Ackerbau – Systeme der computer- und GPS-gestützten teilflächenspezifischen Bewirtschaftung praxisnah bewertet. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin. S. 77 - 90.
- KUCKENBERG, J., I. TARTACHNYK, M. SCHMITZ-EIBERGER & G. NOGA (2007): Early detection of leaf rust and powdery mildew infections on wheat leaves by PAM fluorescence imaging. In: Stafford, J.V. [Hrsg.]: Precision Agriculture '07, Niederlande. S. 515 – 521.

- LAMBERT, D. & J. LOWENBERG-DEBOER (2000): Precision Agriculture Profitability Review. Internet: <http://www.agriculture.purdue.edu/ssmc/Frames/newsoilsX.pdf> (25.1.2008).
- LAMBERT, D.M., J. LOWENBERG-DEBOER & R. BONGIOVANNI (2004): A comparison of four spatial regression models for yield monitor data: a case study from argentina. In: Journal of Precision Agriculture, 5. S. 579 – 600.
- LINK, A., M. PANITZKI & S. REUSCH (2002): Hydro N-Sensor: tractor-mounted remote sensing for variable nitrogen fertilization. In: Proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture. Minneapolis. pdf-S. 932 – 937.
- MALLARINO, A.P. & D.J. WITTRY (2000): Identifying cost-effective soil sampling schemes for variable-rate fertilization and liming. In: Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, Minnesota, pdf Nr. 133.
- McBRATNEY, A.B. & M.J. PRINGLE (1999): Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. In: Journal of Precision Agriculture 1, S. 125 – 152.
- OEBEL, H. (2006): Teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung durch raumbezogene Bildverarbeitung im Offline- (und Online-) Verfahren (TURBO). Dissertation, Universität Hohenheim.
- OSTHEIM, K.-U. (2000): Prüfung der ökonomischen und ökologischen Vorzüglichkeit einer GPS-gestützten teilflächenspezifischen Landbewirtschaftung. Dissertation Gießen. Landwirtschaftsverlag Münster.
- PRINGLE, M.J., S.E. COOK & A.B. McBRATNEY (2004): Field-scale experiments for site-specific crop management. Part I: design considerations. In: Journal of Precision Agriculture, 5, S. 617 – 624.
- REICHARDT, M. & C. JÜRGENS (2007): Adoption and perspective of Precision Farming (PF) in Germany: results of several surveys among the different agricultural target groups. In: Precision Agriculture '07: Proceedings of the 6th European Conference on Precision Agriculture, edited by J.V. Stafford, (Wageningen Academic Publishers, The Netherlands), S. 843 – 850.
- REICHARDT, M. & C. JÜRGENS (2008): Precision Farming in Deutschland – bestehende Akzeptanzmuster und zukünftige Perspektiven einer Technologie. Kapitel 8.1 dieses *pre agro*-Abschlussberichtes.
- ROTH, R., E. REINING, G. ROSNER & J. KÜHN (2004): Ortsspezifische Aussaat von Winterweizen. In: Werner, A. [Ed.]: Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau – Verbundprojekt *pre agro*, Abschlussbericht. Münchenberg. http://www.preagro.de/Veroeff/preagro_Endbericht_Aussaat.pdf (am 25.6.2008)
- SCHNEIDER, M., J. SPILKE & P. WAGNER (2007): Evaluation of on-farm field trials – the example of site-specific nitrogen fertilization trials. In: Bleiholder, H. & H.-P. Piepho [Hrsg.]: Proceedings of the International Symposium ‚Agricultural Field Trials – Today and Tomorrow‘. Stuttgart. S. 209 – 214.
- SCHNEIDER, M. & P. WAGNER (2007): Große Unterschiede – Arbeitszeitbedarf für die Organisation von Precision Farming. In: Neue Landwirtschaft, Heft 7/2007, S. 21 – 23.
- SCHNEIDER, M. & P. WAGNER (2008): The economic potential of Precision Farming – an interim report. Manuskript eingereicht beim Journal of Precision Agriculture.

- TOEWS T. (2005): Ökonomik teilflächenorientierter Unkrautbekämpfung. Dissertation, Universität Gießen.
- WAGNER, P., M. SCHNEIDER & G. WEIGERT (2005): Einsatz künstlicher Neuronaler Netze zur automatisierten Ableitung von Entscheidungsregeln für die N-Düngung in Winterweizen. In: Zeitschrift für Agrarinformatik, Heft 4, 13. Jahrgang, S. 77 – 86.
- WAGNER, P. & M. SCHNEIDER (2007): Economic benefits of neural network-generated site specific decision rules for nitrogen fertilization. In: Stafford, J.V. [Hrsg.]: Precision Agriculture '07, Papers presented at the 6th European Conference on Precision Agriculture, Skiathos, Greece, S. 775 – 782.
- WEIGERT, G. (2006): Data Mining und Wissensentdeckung im Precision Farming – Entwicklung von ökonomisch optimierten Entscheidungsregeln zur kleinräumigen Stickstoff-Ausbringung. Dissertation, Freising.
- WENKEL, K.-O., S. BROZIO & R. GEBBERS (2004): Düngung. In: Werner, A. [Hrsg.]: Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau – Verbundprojekt *pre agro*, Abschlussbericht. Münchenberg. http://www.preagro.de/Veroeff/preagro_Endbericht_D%FCngung.pdf (am 25.6.2008).
- WERNER, A., A. JARFE & P. LEITHOLD (2004): Anwendung von Modulen in der Praxis. In: Werner, A. [Hrsg.]: Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau – Verbundprojekt *pre agro*, Abschlussbericht. Münchenberg. http://www.preagro.de/Veroeff/preagro_Endbericht_AnwendungModule.pdf (am 25.6.2008)
- WIESEHOFF, M. (2005): Teilflächenspezifische Aussaat von Winterweizen. Dissertation, Universität Hohenheim.
- WOLLENHAUPT, N.C., D.J. MULLA & C.A. GOTWAY-CRAWFORD (1997): Soil sampling and interpolation techniques for mapping spatial variability of soil properties. In: Pierce, F.J. & E.J. Sadler [Hrsg.]: The state of site specific management for agriculture. ASA-CSSA und SSSA. Madison, USA. S. 19 – 53.
- WOLLNY, J., K.-H. DAMMER, B. HAU, T. VOLK & T. WISCHKE (2007): Site-specific disease control in wheat by combining the crop-meter with the decision support system proPlant. In: Stafford, J.V. [Hrsg.]: Precision Agriculture '07, Niederlande. S. 783 – 789.
- ZIMMERMANN, D.L. & D.A. HARVILLE (1991): A random field approach to the analysis of field-plot experiments and other spatial experiments. In: Biometrics, 47. S. 223 – 239.

Anschrift der Autoren:

Dipl. Ing. agr. Martin Schneider

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Professur für Landwirtschaftliche Betriebslehre
06099 Halle
E-Mail: martin.schneider@agricon.de

Prof. Dr. Peter Wagner

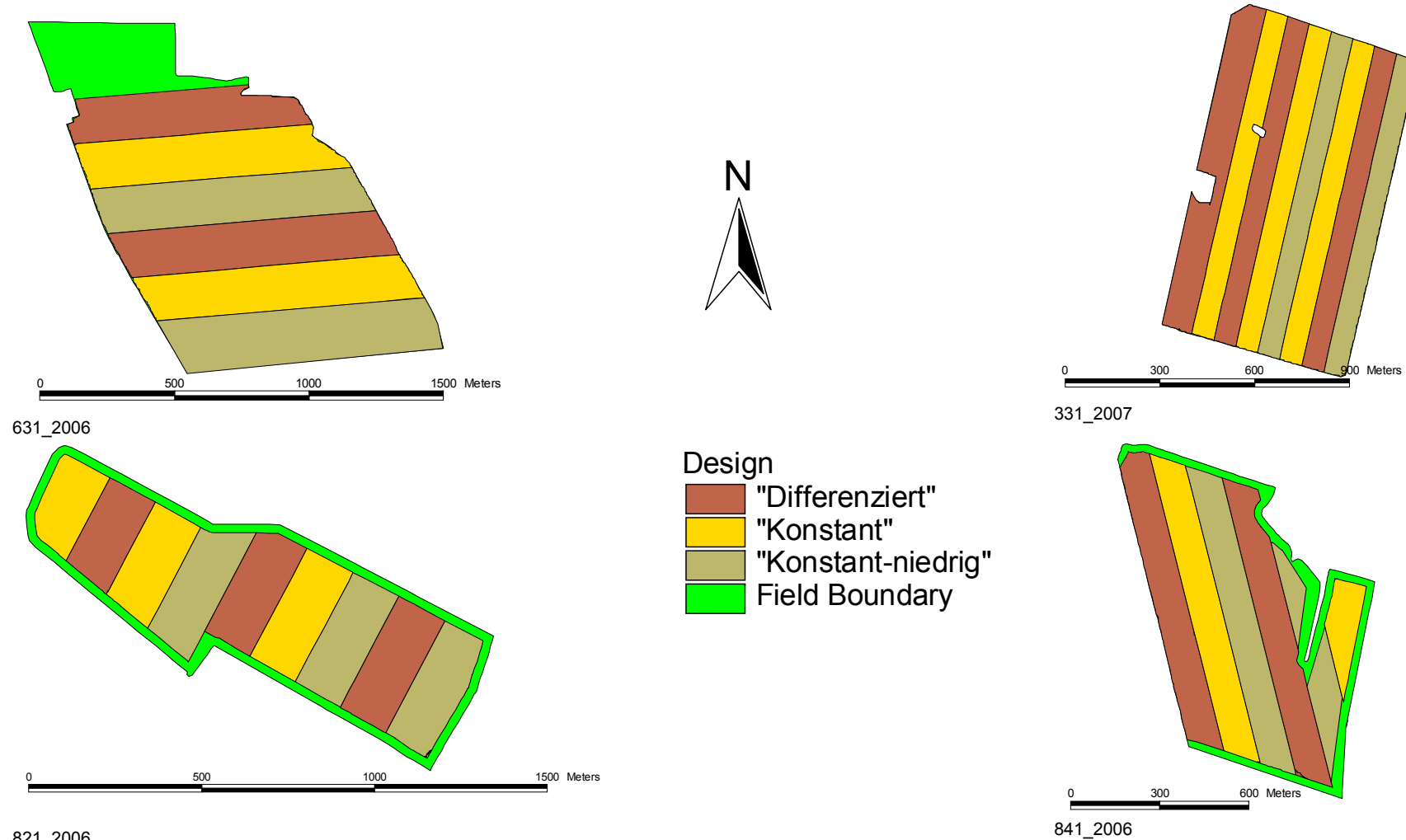
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Professur für Landwirtschaftliche Betriebslehre
06099 Halle

Telefon: (0345) 5522360

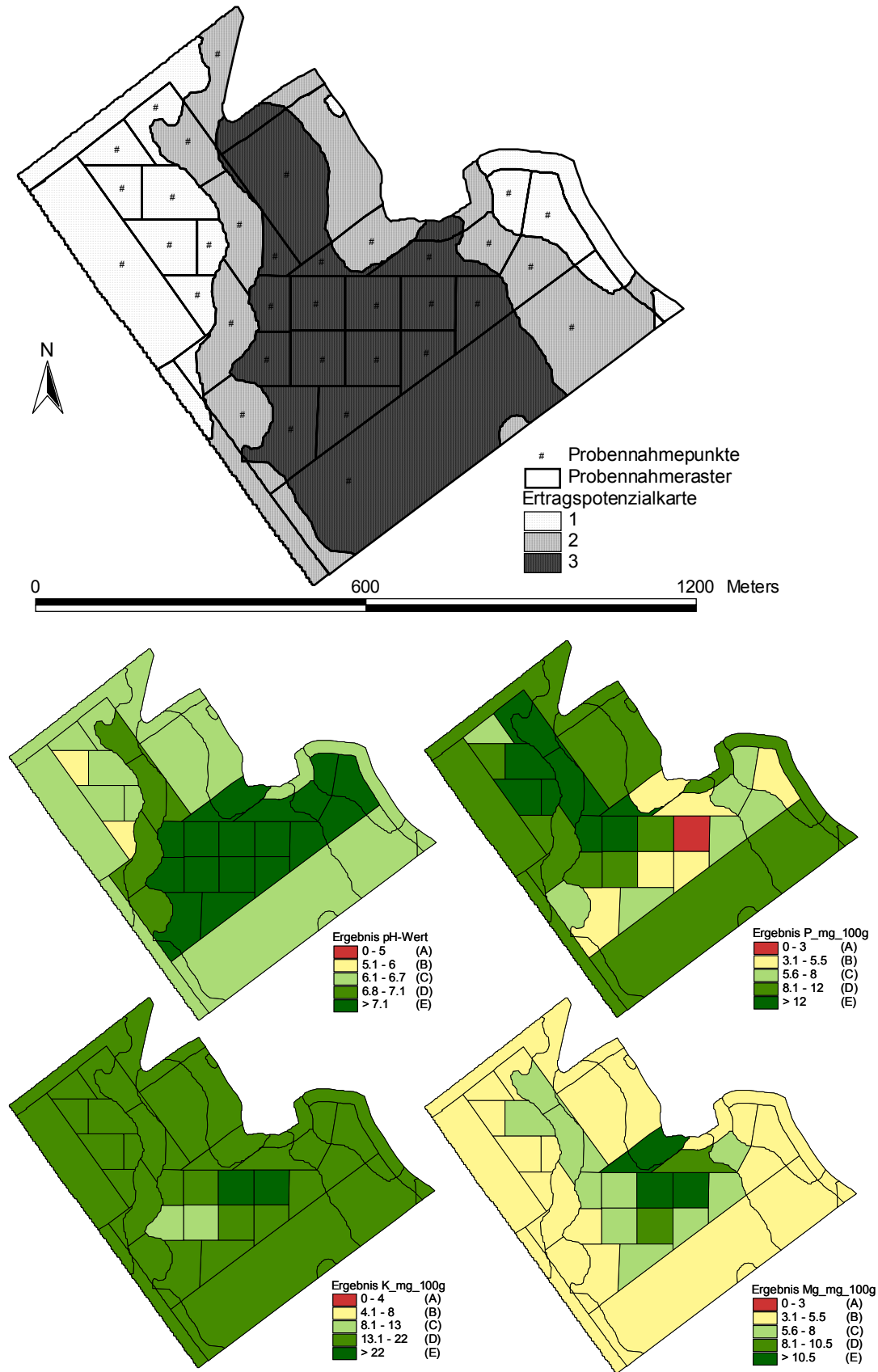
Telefax: (0345) 5527109

E-Mail: wagner@landw.uni-halle.de

6.1.5 Anhang



821_2006
Anhang, Abbildung 1: Feldversuchsdesigns der durchgeführten Aussaatversuche
Appendix, Figure 1: Field trial designs of the seed trials, carried out



Anhang, Abbildung 2: Probennahmeraster (obere Darstellung) und Ergebnis der Bodenbeprobung für die Grundnährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium sowie pH-Wert für den Feldversuch 882_2005

Appendix, Figure 2: soil sampling grid cells (at the top) and the soil sampling results for the base nutrients phosphorus, potassium, magnesium and pH-value for the field trail 882_2005

6.2 Volkswirtschaftliche Analyse einer flächenweiten Einführung von Precision Farming

Economical analysis of a widespread introduction of precision agriculture

Isabella Karpinski & Klaus Müller¹⁶

Zusammenfassung

Ziel der volkswirtschaftlichen Analyse des Precision Farming ist es quantitativ untermauerte Aussagen bzgl. einer staatlichen Förderung der Precision Farming-Technologie zu treffen. So sind über die Methode der Nutzen-Kosten-Analyse alle relevanten Projektwirkungen, die im Vergleich Einführung von Precision Farming im Landbau und Nicht-Einführung Precision Farming im Landbau entstehen, identifiziert worden. Die Quantifizierung der direkten Wirkungen erfolgte am Beispiel der „Wulfen-Studie“ (Region Köthen, Sachsen-Anhalt). Für die indirekten Umweltwirkungen ist in einem ersten Schritt eine naturschutzfachliche Bewertung von Umweltgütern auf der Basis von Experteneinschätzungen (am Beispiel der „Wulfen-Studie“) erfolgt. Im zweiten Schritt wurden den einzelnen indirekten Umweltwirkungen monetäre Studienwerte aus der Literatur zugeordnet (benefit transfer). Nach Prüfen der Sensitivität und Erfassung der Intangibles zeigt die Gegenüberstellung der Nutzen und Kosten des Precision Farming, dass der Nettonutzen von +31,42 €/ha bis zu +446,69 €/ha variiert.

Der Entwurf eines Heterogenitätsindikators zur Beschreibung der Beziehung zwischen Nettonutzen und Heterogenität eines Schlages führte mangels fehlenden Datenmaterials über mehrere Jahre nicht zu den erhofften Aussagen. Allein die Heterogenitätsverteilung in Ostdeutschland konnte visuell dargestellt werden.

Unter der Annahme, dass die Ergebnisse der Fallstudie Wulfen auch repräsentativ für andere Regionen in Deutschland seien, erfolgt die Hochrechnung des Nettonutzen/ha über Daten aus der Statistik (2006). So ergibt sich ein volkswirtschaftlicher Nettonutzen einer Einführung von Precision Farming auf allen Getreideflächen der BRD von 0,211 Mrd. € bis zu 2,994 Mrd. €.

Aufgrund der vielfältigen positiven Umweltwirkungen des Precision Farming und unter Berücksichtigung der Hemmschwelle der hohen Investitionskosten für die Technik in der praktischen Einführung können wir in TP 5 das umweltpolitische Instrument des Investitionszuschusses für umweltfreundliche innovative Technik und Produktionsverfahren als geeignete Förderungsmaßnahme zu einer Verbreitung der Precision Farming-Technologie empfehlen. Generell können wir aber eine staatliche Förderung des Precision Farming nicht empfehlen, da unsere Aussagen auf vielen Annahmen beruhen (bspw. Ergebnisse der Wulfen-Studie sind repräsentativ für alle Regionen der BRD), die in weiterer Forschungsarbeit überprüft werden müssten.

Summary

The nationwide introduction of precision farming in Germany as a new technology in agriculture depends crucially on the incentives set by the government. Therefore, the economical analysis (cost benefit analysis) of the effects of precision farming can be seen as a vital contribution towards justifying the promotion of precision farming in Germany, which is the goal of our research.

¹⁶ Mitwirkung bei Regionalisierung des HEI: W. Mirschel TP 15, M. Sommer TP 14

One of the core elements of cost benefit analysis is the identification and quantification of the effects of the introduction of precision agriculture in Germany. The direct quantification was carried out by the example of the "Wulfen study" (region Koethen, Saxonia-Anhalt). For the indirect environmental effects an experts estimation goods took place in a first step (by the example of the "Wulfen study"). In a second step monetary study values from literature were assigned to the individual indirect environmental effects (benefit transfer). After examining the sensitivity and the collection of the Intangibles, the net benefit of precision agriculture/ha was calculated. It varies from +31.42 €/ha up to +446.69 €/ha.

The development of a heterogeneity indicator for the description of the relationship between net benefit and site-specific heterogeneity did not lead to the hoped for statements because of missing data across several years. However the heterogeneity distribution in East Germany could be represented visually.

On the assumption that the results of the Wulfen case study are also representative for other regions in Germany, the net benefit/ha was extrapolated to whole Germany by data from the statistics (2006). Thus does a net benefit of an introduction of precision agriculture on all grain surfaces of the FRG result of 0.211 milliard € up to 2.994 milliard €.

Various positive environmental effects of precision agriculture appear, but with the high capital investment costs for the precision agriculture technology farmers won't introduce this technology on their fields. So we recommend for a spreading of the precision agriculture technology the political instrument of capital investment grant for pollution free innovative technology and production procedure. But generally speaking we cannot recommend however a national promotion of precision agriculture, since our statements are based on many assumptions and restrictions (e.g. results of the Wulfen study are representative for all regions of the FRG), which had to be examined in further research work.

6.2.1 Einleitung und Problemstellung

Precision Farming als neue Technologie des Landbaus und deren flächenweite Einführung in bestimmten Regionen in Deutschland hängt entscheidend von den seitens des Staates gesetzten Anreizen ab. Eine staatliche Förderung von Precision Farming ist aber nur dann zu rechtfertigen, wenn die Technologieeinführung positive allokativen oder distributiven Wirkungen erwarten lässt, die sonst nicht realisiert werden könnten. Bisher beruht die staatliche Förderung primär auf empirisch nicht überprüften Erwartungen bzw. Thesen, die im vorliegenden Teilprojekt mittels der durchzuführenden Untersuchungen auf ihre qualitative und quantitative Richtigkeit untersucht werden sollen.

Die Frage, ob Precision Farming ökologisch sinnvoll und vor allem ökonomisch vertretbar ist, konnte bisher in der Literatur und im Vorgänger-Forschungsprojekt zu *pre agro II* nicht eindeutig beantwortet werden. So stellt die volkswirtschaftliche Wirkungsanalyse einen entscheidenden Beitrag zur Klärung der grundlegenden Legitimation einer flächenweiten Einführung von Precision Farming in Deutschland dar. Die wissenschaftliche Arbeit in TP 5 strebt demzufolge eindeutige qualitative und quantitative Aussagen zur volkswirtschaftlichen Bedeutung des Precision Farming in Deutschland an, wobei die monetäre Bewertung der Umweltwirkungen eine zentrale Rolle spielt.

6.2.2 Methoden, Datengrundlage und Vorgehensweise

Die Aussagen zur volkswirtschaftlichen Bedeutung des Precision Farming werden mit Hilfe der Methode der Nutzen-Kosten-Analyse getroffen, d. h. dadurch quantifiziert und empirisch untermauert.

So sind zunächst auf Grundlage eingehender Literaturrecherche sowie bi- und multilateraler Gespräche und Diskussionen mit Verbundpartnern qualitative Aussagen bzgl. der Wirkungen des Precision Farming im Vergleich zu flächeneinheitlicher Bewirtschaftung getroffen worden. Ein „Pool“ an möglichen positiven und negativen Wirkungen, die von einer flächenweiten Einführung von Precision Farming in Deutschland ausgehen können, ist aufgestellt worden (siehe Kapitel 6.2.3.1.2.1).

In einem nächsten Schritt sind am konkreten Beispiel der Fallstudie „Wulfen“ (Region Köthen, Sachsen-Anhalt) in den Jahren 2005 bis 2007 die identifizierten Wirkungen nach Möglichkeit mit einem monetären Wert belegt worden. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die indirekten Umweltwirkungen gelegt.

Gegenstand der Untersuchung der Fallstudie „Wulfen“ sind Getreideschläge des Versuchsbetriebes „WIMEX“ des Verbundprojektes, gelegen im Landkreis Köthen in Sachsen-Anhalt. Es handelt sich hierbei um ein großes Agrarunternehmen (Ackerbaubetrieb mit Futtererzeugung für ca. 900.000 Legehennen), das über eine LN von 6.045 ha, davon ca. 5.000 ha AF, verfügt. Allgemein ist diese Region durch große Agrarbetriebe mit einer Flächenausstattung von nicht selten über 1.000 ha geprägt. Bewirtschaftet werden große Schlageinheiten mit einer Bodenqualität von 80 bis 100 Bodenpunkten. Die Region gehört mit durchschnittlich 440 mm Niederschlag zum Mitteldeutschen Trockengebiet. In der Vegetationsperiode ist die klimatische Wasserbilanz negativ. So kann die Bodenwasserspeicherfähigkeit und Bodenwasserverfügbarkeit zum limitierenden Faktor für die Ertragsbildung bei Kulturpflanzen werden. Dieser Betrieb verfügt über langjährige Erfahrungen beim Einsatz von Precision Farming-Technologien im Pflanzenbau.

Die direkten Wirkungen wurden in Kooperation mit Teilprojekt 3 (Wirtschaftlichkeit) quantifiziert (siehe Kapitel 6.1). Für die indirekten Umweltwirkungen wurden monetäre Äquivalente über Näherungslösungen gefunden, die den Methoden zur ökonomischen Umweltbewertung entstammen. Hierbei ist einem Ansatz nach WRONKA (1998, S. 18 – 20) gefolgt worden. In einem ersten Schritt erfolgt eine naturschutzfachliche Bewertung von Umweltgütern auf der Basis von Experteneinschätzungen. So ermöglichen Experten eine leistungsorientierte Zuweisung von Zahlungen und liefern die Voraussetzung für Plausibilität und Verständlichkeit des hypothetischen Marktes der Umweltgüter. Im zweiten Schritt kommen Lösungen der Bewertungsmethoden der Umweltökonomie zum Zuge. Den einzelnen indirekten Umweltwirkungen sind monetäre Studienwerte aus der Literatur zugeordnet worden (benefit transfer).

Im Falle des Precision Farming erfolgt die naturschutzfachliche Expertenbewertung über eine Nutzwertanalyse (Zielerreichungsgrade) der Naturschutzqualitätsziele des Precision Farming. Den einzelnen Umweltwirkungen, die von Precision Farming ausgehen, im Vergleich zu konventioneller Bewirtschaftung, werden Zielerreichungsgrade (Nutzwerte) beigemessen (von Experten). Anhand dieser Zielerreichungsgrade wird dann entschieden, ob eine Umweltwirkung als positiv von Precision Farming beeinflusst eingestuft werden kann oder nicht. Der Mehrwert geht als Gewichtungsfaktor in die Bewertung ein. Die monetäre Bewertung der Umweltwirkungen erfolgt somit über einen „gewichteten Transfer“ monetärer Werte aus Literatur-Studien (ähnlicher/gleicher Wirkungen), wie bspw. Zahlungsbereitschafts-Studien. Dabei kommen für unterschiedliche Wirkungen unterschiedliche Bewertungsansätze zum Tragen. Der Fragebogen der Experteneinschätzung sowie Ergebnisse des gewichte-

ten benefit transfer finden sich im Anhang (siehe Kapitel 6.2.5, Anhang, Tabelle 1 bis Anhang, Tabelle 4).

Nach Prüfen der Sensitivität (siehe Anhang, Kapitel 6.2.5, Anhang, Tabelle 5 bis Anhang, Tabelle 7) konnte der Nettonutzen/ha für die Fallstudie Wulfen errechnet werden. Eine Diskontierung, die zeitliche Homogenisierung der Wirkungen ist dabei irrelevant. Im Precision Farming-Projekt sind die Laufzeit sowie die Investitionskosten sehr gering (siehe Kapitel 6.2.3.1.2.2).

Unter Berücksichtigung der Intangibles (alle Wirkungen, die in Kapitel 6.2.3.1.2.1 identifiziert wurden aber in Kapitel 6.2.3.1.2.2 nicht quantifiziert werden konnten) in nachrichtlicher (rein verbaler) Form wird abschließend eine Gesamtbeurteilung der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming vorgenommen.

Eine der wichtigsten Einflussgrößen in Precision Farming ist die schlagspezifische Heterogenität. Daran misst sich, ob sich der Einsatz der Precision Farming Technologie auf einem bestimmten Standort (Feld, Schlag) lohnt oder nicht. D. h. der Einsatz der Precision Farming-Technologie hängt von einem bestimmten Grad der Heterogenität des Schlages ab.

In der deutschen Literatur ist bisher kein allgemein gültiger und in der Praxis der Landwirtschaft verbreiteter „Standard“ auszumachen, der die Heterogenität im Schlag („schlaginterne Heterogenität“) auch in ökonomischer Hinsicht beschreibt. Vielmehr gibt es eine Vielzahl von Methoden und Ansätzen, wie bspw. bodenbezogene räumliche, inhaltliche oder kombinierte Heterogenitätsmaße, die teilweise mit Hilfe statistischer Methoden und Parameter aus unterschiedlichen Disziplinen (bspw. Boden – Geophysik, Naturschutz – Biodiversität, Ertragskartierung etc.) versuchen die Heterogenität eines Standortes zu messen und daraus für den jeweils betrachteten Sachverhalt (Fragestellung) Aussagen zu treffen.

Um aber den Nettonutzen einer Einführung von Precision Farming in Beziehung zu seiner schlaginternen Heterogenität bringen zu können und daraus Aussagen ableiten zu können, ist im Teilprojekt 5 ein schlagspezifischer und ökonomisch verknüpfter Heterogenitätsindikator entworfen worden. Die relative Abweichung der Erträge eines spezifischen Schlages von ihrem Mittelwert (Variationskoeffizient) in einem Jahr, berechnet auf Versuchsfeldern der Fallstudie Wulfen (u. a. Schlag 432), bilden die Grundlage für den neu entwickelten Heterogenitätsindikator (HEI). Die ökonomische Verknüpfung des HEI erfolgt dann über den errechneten Nettonutzen/ha der Fallstudie Wulfen.

Auf Basis des Heterogenitätsindikators HEI und dessen exemplarischen Schwellenwerten für einen volkswirtschaftlich lohnenswerten Einsatz von Precision Farming im Landbau konnten in einem weiterführenden Ansatz Precision Farming-Potentialflächen für Ostdeutschland abgeschätzt werden. Grundlage der regionalen Schätzung ist die einfache Übertragbarkeit des HEI. Mit Hilfe des Ertrags-schätzungsmodells nach MIRSCHER et al. (2006) und KINDLER (1992), welches auf der Mittelmaßstäbigen Standortkartierung (MMK, SCHMIDT & DIEMANN 1991) für Ostdeutschland basiert, konnten die geschätzten Erträge auf regionaler Skala (Ostdeutschland) ermittelt werden. In einem zweiten Schritt ist dann diese Ertragsschätzung mit Verwaltungskarten für Ostdeutschland (Daten von 2001) verknüpft worden, so dass der Variationskoeffizient der Erträge (HEI) für jede Gemeinde abgeschätzt (errechnet) werden konnte. Diese Regionalisierung erfolgte in Zusammenarbeit mit Teilprojekt 14 (Integrative Standortanalyse) und Teilprojekt 15 (Modellgestützte Generierung von Ertragserwartungskarten).

Die Abschätzung der Precision Farming-Potentialflächen (bei versch. Schwellenwerten des HEI) ist in ihrer Aussagekraft aber erheblich eingeschränkt. Es können nur Aussagen getroffen werden, ob eine Gemeinde insgesamt als lohnenswert für einen Precision Farming-Einsatz gelten kann oder nicht. Eine

spezifische Identifizierung der Precision Farming lohnenswerten Ackerflächen oder gar Getreide/Winterweizen-Flächen ist nicht möglich. Dazu bedürfte es weiterer Forschungsarbeit, die im Rahmen der geplanten Dissertation „volkswirtschaftliche Analyse des Precision Farming“ an der HU Berlin noch läuft. Einzig lassen sich derzeit über diesen Ansatz Precision Farming-Potentialflächen gestaffelt nach Schwellenwerten visuell darstellen.

So konnte die Hochrechnung des Nettonutzens des Precision Farming der Wulfen-Studie nur auf Grundlage der tatsächlichen Getreide-Anbaufläche 2006 in Deutschland aus der Statistik erfolgen. Unter der Annahme, dass die Ergebnisse der Wulfen-Studie repräsentativ und übertragbar für ganz Deutschland seien, ist der Gesamtnettonutzen einer flächenweiten Einführung von Precision Farming für Deutschland errechnet worden.

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wird dann abschließend eine agrarpolitische Empfehlung bzgl. einer Förderung von Precision Farming ausgesprochen.

6.2.3 Ergebnisse

6.2.3.1 Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming

6.2.3.1.1 Die Voranalyse der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming

Die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming befasst sich mit der Frage nach dem volkswirtschaftlichen Nutzen eines flächenweiten oder größeren regionalen Einsatzes der Precision Farming-Technologie im Landbau. Ist diese Technologie wirtschaftlich sinnvoll und erbringt sie einen deutlichen ökologischen Nutzen für die Gesellschaft? Ist eine Förderung mit agrarpolitischen Mitteln sinnvoll und gerechtfertigt (siehe auch Kapitel 6.2.1)?

Somit verfolgt die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming schwerpunktmäßig die quantitative Einbeziehung naturschutzfachlicher Ziele (der relevanten ökologischen Wirkungen) in die Analyse. Als Beispiel seien hier bereits vorneweg die Schlagworte Biodiversität und Habitat (Feldlerche) genannt. Weiterhin verfolgt die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming ökonomische Ziele, wie bspw. Aussagen zur Entwicklung der Wettbewerbsfähigkeit der Landwirtschaft unter Einfluss der flächenweiten Einführung des Precision Farming.

Wirtschaftliche Entscheidungen im Staatssektor können nicht losgelöst von den Rahmenbedingungen einer Volkswirtschaft erfolgen. So liegen Einschränkungen im Entscheidungsfeld des Precision Farming-Projektes hauptsächlich auf agrarpolitischer Ebene. Der vorliegenden Nutzen-Kosten-Analyse ist ein umweltpolitisches Interesse auferlegt.

Die aufwendige Suche nach relevanten Projektalternativen erübrigt sich für das Projekt der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming, da von vornherein nur eine Technologie-Alternative, nämlich die Einführung des Precision Farming im Landbau durch das Forschungsprojekt selbst vorgegeben ist. So wird treu dem „Mit-Ohne Prinzip“ der Mehr- oder Minderwert des Projekts anhand eines Vergleichs der künftigen Entwicklung im Landbau mit Precision Farming und ohne Precision Farming ermittelt.

6.2.3.1.2 Die Analyse im engeren Sinn

6.2.3.1.2.1 Identifizierung der Projektwirkungen

Als eines der zentralen Elemente der Untersuchungen in Teilprojekt 5 stellt sich die Identifizierung der Wirkungen einer flächenweiten Einführung von Precision Farming heraus.

Diese Stufe der Nutzen-Kosten-Analyse befasst sich mit dem Erfassen und Beschreiben der entscheidungsrelevanten Vor- und Nachteile (positive/negative Wirkungen bzw. Nutzen/Kosten) der Auswirkungen des Projektes. Aufgabe der Nutzen-Kosten-Analyse ist es in diesem Schritt alle real auftretenden Wirkungen zu erfassen und den verschiedenen Wirkungsarten zuzuordnen. Nur so kann sichergestellt werden, dass alle projektbezogenen in einer Volkswirtschaft anfallenden Nutzen und Kosten ermittelt und später in der Bewertung berücksichtigt werden (BMF 1973, S. 208).

In der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming werden *direkte*, *indirekte* und *intangible Wirkungen* unterschieden. So werden alle realen Wirkungen berücksichtigt, die von einem Vergleich der Bewirtschaftung „mit und ohne“ Precision Farming ausgehen.

Direkte Wirkungen sind eng auf das Projektziel bezogen und stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Projekt (SCHOLLES 2001, S. 223), z. B. Kostenersparnisse durch effizientere Bewirtschaftungsmaßnahmen (Precision Farming). *Indirekte Wirkungen* fallen an anderer Stelle in der Volkswirtschaft an, meist bei unbeteiligten Dritten. Man spricht hier auch von externen Effekten. *Intangible Wirkungen (Intangibles)* werden bei SCHOLLES (2001, S. 223) als nicht direkt messbar, also nicht direkt monetär ausdrückbar beschrieben. Für den weiteren Verlauf dieser Analyse soll aber folgende Definition der Intangibles gelten: Als intangibel gelten die Projektwirkungen, für deren Bewertung kein monetäres Äquivalent gefunden werden kann. Es wird also eine rein pragmatische Herangehensweise verfolgt.

Im Folgenden werden nun alle *potenziell möglichen* Projektwirkungen kurz beschrieben, die von einem Einsatz der Precision Farming-Technologie im Vergleich zu einer flächeneinheitlichen Bewirtschaftung ausgehen können. Die Darstellung der Intangibles erfolgt am Ende der Nutzen-Kosten-Analyse in Kapitel 6.2.3.1.2.4 (Intangibles).

Anzumerken sei noch, dass die Identifizierung und die Zuweisung der Projektwirkungen des Precision Farming keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit stellt, was auch für die gesamte Nutzen-Kosten-Analyse gilt.

Direkte Wirkungen sind bei der Anwendung der Precision Farming-Technologie im Landbau auf der ökonomisch-betrieblichen Ebene anzutreffen (KARPINSKI & MÜLLER 2005, S. 81). Sie beschreiben auf der Kostenseite Datenerhebung, Datenverarbeitung, Umrüstung Technik und zusätzlichen Produktionsmittelaufwand (SCHNEIDER & WAGNER 2005, *pre agro* I 2004). Auf der Nutzenseite ergeben sich zunächst einmal eine Vielzahl von Einsparungsmöglichkeiten an Betriebsmitteln, wie Stickstoff- und Grunddünger (Phosphor, Kali, Kalk), Saatgut, Pflanzenschutzmittel, Kraftstoff und Arbeitszeit. Für Stickstoffdünger resultieren daraus Einsparmöglichkeiten von bspw. 10 – 15 kg N/ha im Winterweizen (WW) bei Aufrechterhaltung des Ertragsniveaus (*pre agro* I 2004, Kap. 4.6). Zusätzlich zu der Betriebsmitteleinsparung stellt sich vor allem bei Getreide bei Anwendung von Precision Farming ein meist positiver Ertragseffekt (durchschnittlich 3 %) durch die effizientere und standortangepasste Ausbringung der Betriebsmittel ein (*pre agro* I 2004, Kap. 4.7). Durch den präzisen Betriebsmitteleinsatz ist schließlich zusätzlich eine Qualitätsverbesserung der erzeugten landwirtschaftlichen Produkte zu verzeichnen (*pre agro* I 2004, HUFNAGEL et al. 2004, WAGNER & SCHNEIDER 2005).

Indirekte Wirkungen des Einsatzes von Precision Farming im Vergleich zu einer schlageinheitlichen Landbewirtschaftung bewegen sich überwiegend auf ökologischer Ebene, d. h. durch produzierte positive und vermiedene negative Umweltwirkungen (KARPINSKI & MÜLLER 2005, S. 82 – 83).

Dieses rein qualitativ betrachtete Übergewicht der indirekten ökologischen Wirkungen liegt klar auf der Nutzenseite. Bzgl. Biodiversität können Schutzziele mittels Precision Farming hauptsächlich zum Schutz und Erhalt von Arten sowie Habitaten erreicht werden. Auch die Anlage von „Defektflächen“ zu einer Ansiedlung der Feldlerche lässt sich in dem Bereich der positiven ökologischen Wirkungen festmachen. Dahingegen lassen sich abiotische ökologische Wirkungen über vermiedene negative Auswirkungen im Bereich des Bodenschutzes, bspw. als Minimierung von Erosion, Verdichtung, aber auch Verringerung chemischer Verunreinigung und Wasserschutz darstellen. Der Erhalt der Kulturlandschaft mit ihren standörtlichen Gradienten ist dann letztlich als „Zusammenfassung“ ökologisch indirekter Vorteile des Precision Farming herauszustellen.

Interessant festzustellen war bei der Identifikation potentiell möglicher indirekter Wirkungen einer Einführung von Precision Farming die Tatsache, dass sich auf der Kostenseite (negative Wirkungen) neben betriebsinternen Transaktionskosten für den hohen Arbeitsaufwand (um hauptsächlich die Technik „zum Laufen“ bringen) auch Biodiversitätskosten in Form eines Verlustes sog. Segetalarten (Arten im Randbereich einer Ackerfläche) wiederfinden könnten (JÖRNS 2005).

Da sich aber die Identifizierung der Wirkungen auf rein qualitativer Ebene abspielt und zudem ein mögliches „pool“ an Wirkungen darstellt, sind die oben getroffenen Aussagen anhand einer quantitativen Belegung der Wirkungen mit monetären Werten anhand von Feldversuchen der Fallstudie „Wulfen“ der Jahre 2005 – 2007 im weiteren Verlauf der Nutzen-Kosten-Analyse zu überprüfen.

6.2.3.1.2.2 Quantifizierung der Projektwirkungen

Nach Identifizierung der Nutzen und Kosten folgt nun die Bewertung der Projektwirkungen in monetären Einheiten. Geld (EURO) ist der Einfachheit und seiner präzisen Aussage wegen gut als Vergleichsmaßstab geeignet (BMF 1973, S. 207).

Direkte Bewertung

Unproblematisch gestaltet sich die Bewertung der realen direkten Effekte, für die Marktpreise existieren. Die Marktpreise gehen als monetäres Äquivalent einer Wirkung in die Nutzen-Kosten-Bewertung über. Auf Empfehlungen in der Literatur sind auch hierzu künstliche Verrechnungspreise (sog. Schattenpreise) anzusetzen, wird nicht eingegangen. Dies würde bereits an dieser Stelle zu unnötigen Verzerrungen des Ergebnisses (Nettonutzen) führen, da Schattenpreise willkürlich vom Analytiker festgesetzt werden können.

Zur Bewertung der direkten Wirkungen des Precision Farming in der Fallstudie Wulfen sind N-Düngungsversuche für die Jahre 2005 – 2007 auf Schlag 432 und Schlag 411 für zwei unterschiedliche Precision Farming-Strategien: Yara-N-Sensor (Sensor) und Ertragspotentialkarte (Karte), immer im Vergleich zu flächeneinheitlicher Bewirtschaftung durchgeführt worden. Dabei bezieht sich der Nutzen direkt auf die Versuchsergebnisse in Wulfen. Für die Kosten ist ein 2.000 ha Betrieb mit Einsatz der Precision Farming-Strategien auf jährlich 1.200 ha (60 % der Gesamtfläche), also auf 60 % Getreidefläche angenommen worden. Die Berechnung der jährlichen Kosten erfolgt dabei nach der Annuitätenmethode, wobei der Abschreibungszeitraum für Hard- und Software 5 Jahre beträgt, für Information und Dienstleisterarbeit 10 Jahre. Der Zinssatz beträgt 8 % p.a. So fallen Kosten der Da-

tenerhebung, der Datenverarbeitung und der Maßnahmendurchführung an. Für die Precision Farming-Strategie „Sensor“ sind das jährliche Kosten von 5,33 €/ha und für die Precision Farming-Strategie „Karte“ 4,49 €/ha (näheres siehe Bericht des TP 3; Kapitel 6.1).

Auf der Nutzenseite ließen sich N-Kosten-Einsparungen und Marktleistungssteigerungen festhalten. Die maximale N-Kosten-Einsparung beträgt 42,70 €/ha (2006, „Sensor“), die minimale sogar eine N-Kosten-Steigerung von 10,20 €/ha der Precision Farming-Strategie (2006, „Karte“) im Vergleich zur flächeneinheitlichen Bewirtschaftung. Auch die Mehr-Erträge der Precision Farming-Strategien sind in den 3 Versuchsjahren starken Schwankungen unterlegen. Sie liegen zwischen +0,18 t/ha (2005, „Karte“) und -0,42 t/ha (2006, „Karte“). So ist eine Marktleistungssteigerung von 16,20 €/ha (2005, „Karte“) bis zu einem Verlust/ha von 48,30 € (2006, „Karte“) zu verzeichnen. Wie dann in Tabelle 62 zu sehen ist, ergibt sich eine Spanne des direkten Nutzens eines Einsatzes der Precision Farming Technologie von minimal -58,50 €/ha (2006, „Karte“) bis zu maximal +34,00 €/ha (2005, „Karte“).

Wird nun die Summe des direkten Nutzens der Summe der direkten Kosten gegenübergestellt, weist über alle drei Versuchsjahre hinweg keine der beiden Precision Farming-Strategien einen positiven direkten Nettonutzen auf. So ist er in zwei Jahren positiv, aber auch in zwei Jahren negativ. Der Einsatz dieser Technik unterliegt starken Schwankungen, die für den errechneten direkten Nettonutzen von minimal -63,00 €/ha (2006, „Karte“) bis zu maximal +28,70 €/ha (2005, „Karte“) reichen. Selbst eine Einstufung einer Precision Farming-Strategie als „besser“ und „schlechter“ erscheint anhand der präsentierten Ergebnisse sinnlos, da innerhalb einer Strategie („Karte“) die größten Abweichungen der Werte auftreten.

Tabelle 62: Bewertung der direkten Wirkungen des Precision Farming

Table 62: Quantification of direct effects of precision agriculture

	Beschreibung der Wirkung	Precision Farming-Strategie					
		2005 (Schlag 432)		2006 (Schlag 411)		2007 (Schlag 432)	
	Direkter Nutzen	Sensor	Karte	Sensor	Karte	Sensor	Karte
1	Einsparung an Betriebsmitteln, N-Kosten in €/ha	26,80	0,80	42,70	-10,20	5,80	8,40
2	Marktleistungssteigerung in €/ha	7,20	16,20	-41,40	-48,30	4,50	-43,50
	Summe Nutzen in €/ha	34,00	17,00	1,30	-58,50	10,30	-35,10
	Direkte Kosten	2005 – 2007					
		Sensor			Karte		
3	Datenerhebungskosten in €/Jahr	23.100,00			8.500,00		
4	Datenverarbeitungskosten in €/Jahr	-			6.300,00		
5	Maßnahmendurchführungskosten in €/Jahr	-			4.800,00		
	Summe Kosten in €/Jahr*	6.397,70			3.084,60		
	Direkte Kosten	2005 (Schlag 432)		2006 (Schlag 411)		2007 (Schlag 432)	
		Sensor	Karte	Sensor	Karte	Sensor	Karte
	Summe Kosten in €/ha**	5,33	4,49	5,33	4,49	5,33	4,49
	Nettonutzen direkt in €/ha	28,70	12,50	-4,00	-63,00	5,00	-39,60

* nach Annuitätenmethode: Abschreibung Hard- und Software 5 Jahre, Information und Dienstleistung 10 Jahre, 8 % Zins p.a.

** Annahme: 2000 ha Betrieb mit Precision Farming-Strategien auf 1200 ha

Indirekte Bewertung

In der hier vorliegenden ökologisch orientierten Nutzen-Kosten-Analyse ist für die indirekten Umweltwirkungen eine direkte Quantifizierung nicht möglich. Sie können deshalb mit ihren positiven oder negativen Wirkungen nur über Näherungslösungen monetär bewertet werden (bspw. die Methode der kontingenten Bewertung, Ersatzkosten etc.).

Basis der Bewertung sind wieder Schläge der Fallstudie Wulfen, in den Jahren 2005 – 2006 Schlag 231 und 631, im Jahr 2007 Schlag 221. Indirekte Umweltwirkungen auf der Kostenseite ließen sich über alle drei Jahre nicht feststellen. Vom Einsatz der Precision Farming-Technologie im Landbau gehen also keine negativen Umweltwirkungen aus, die als Kosten zu berücksichtigen wären.

Auf der Nutzenseite hingegen finden sich eine Vielzahl von Wirkungen, die für Precision Farming von Relevanz sind und die mittels des in Kapitel 6.2.2 beschriebenen Vorgehens quantifiziert werden konnten. Die Bewertung der einzelnen Wirkungen findet sich in Tabelle 63.

Tabelle 63: Quantifizierung der indirekten Wirkungen des Precision Farming

Table 63: Quantification of the indirect effects of Precision Farming

NQZ*	Beschreibung der Wirkung	Einheit	2005 – 2006 (Schlag 231, 631)		2007 (Schlag 221)	
			Min	Max	Min	Max
5	Minimierung negativer Effekte von PSM* auf Nutzflächen	€/ha	Nicht relevant	Nicht relevant	1,58	25,57
6	Minimierung negativer Effekte von PSM auf benachbarte Lebensräume und Landschaftsausschnitte	€/ha	1,58	25,57	0,79	12,78
7	Erhalt der Kulturlandschaft	€/ha	3,94	14,78	0,00	0,00
10	Erhalt der Nahrungshabitatfunktion von AF*	€/ha	25,57	25,57	25,57	25,57
12	Aufbau interner Biotop-Verbundsysteme auf Äckern	€/ha	7,28	65,35	3,68	32,67
13	Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten	€/ha	2,91	68,80	0,00	0,00
14	Erhaltung und Förderung von Selbstregulationsprozessen auf AF durch Prädatoren und Parasitoide	€/ha	38,35	38,35	25,57	25,57
15	Erhaltung und Förderung blütenreicher Ackerbereiche	€/ha	7,28	172,10	2,91	68,84
16	Schutz von auf AF brütenden Vogelarten: Feldlerche	€/ha	7,50	7,50	10,00	10,00
	Summe Nutzen	€/ha	94,41	418,02	70,10	201,00
	Kosten					
	Umweltwirkungen gesamt	€/ha	0,00	0,00	0,00	0,00
	Summe Kosten	€/ha	0,00	0,00	0,00	0,00
	Nettonutzen indirekt	€/ha	94,41	418,02	70,10	201,00

* NQZ: Naturschutzqualitätsziel, PSM: Pflanzenschutzmittel, AF: Ackerfläche

Im Vergleich zur Bewertung der direkten Wirkungen schneiden die indirekten Wirkungen über alle drei Jahre positiv ab. Der Nettonutzen variiert von minimal 70,10 €/ha (2007) bis zu maximal 418,02 €/ha (2005/06). Aufgrund dieser Ergebnisse ist zu erwarten, dass auch der Nettonutzen insgesamt (direkt und indirekt) im Schnitt über die drei Jahre positiv ausfällt.

6.2.3.1.2.3 Sensitivität

Die bis dahin ermittelten Kosten und Nutzen sind wegen der Ungewissheit zukünftiger Entwicklungen nur Schätzwerte (BMF 1973, S. 211). Deshalb wird nun durch eine Sensitivitätsanalyse (Empfindlichkeitsanalyse) festgestellt, inwieweit sich durch unterschiedliche Annahmen der Eingangsdaten die Analyseergebnisse ändern. Es findet also eine Grenzbetrachtung der Ergebnisse statt.

Die Sensitivität wurde über drei unterschiedlich starke Veränderungen der Outputfaktoren geprüft. In einer ersten Annahme wurden die Kosten des Precision Farming Einsatzes verdoppelt und der Nutzen halbiert (negativer Nutzen verdoppelt). Über alle drei Jahre über die zwei Precision Farming-Strategien („Karte“ und „Sensor“) führte dies allein im Jahre 2006 für den Ansatz „Karte“ zu einem negativen Gesamtnettonutzen von -78,77 €/ha. Der Mittelwert der drei Jahre beläuft sich dabei auf +72,19 €/ha (siehe Anhang, Tabelle 7). In einer zweiten Annahme wurde die Kostenentwicklung deutlich erhöht, eine Verfünffachung wurde angenommen (Nutzen wie in 1. Annahme). Dies führte auch wieder nur im Jahre 2006 für den Ansatz „Karte“ zu einem negativen Gesamtnettonutzen, diesmal in Höhe von -92,24 €/ha. Der Mittelwert liegt hier bei +57,46 €/ha (siehe Anhang, Tabelle 6). Bis hierhin reagiert das System der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming also recht stabil.

Um zu prüfen, wann das System kippen könnte wurde noch eine dritte Annahme berechnet mit einer Verzehnfachung der Kosten und einer Halbierung des Nutzens. Erst unter diesen extremen Bedingungen stellt sich für die Hälfte der Ergebnisse des Nettonutzens ein negativer Wert heraus. Dieser geht von -4,70 €/ha (2007, „Sensor“) bis -114,69 €/ha (2006, „Karte“). Der Mittelwert über die drei Jahre ist aber immer noch positiv mit + 32,25 €/ha (siehe Anhang, Tabelle 5).

Da von einer derartigen Kostenexplosion in naher Zukunft nicht auszugehen ist, erscheinen die Ergebnisse der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming recht stabil. Auch unter dem Gesichtspunkt, dass Transaktionskosten und Kosten einer möglichen Diversifizierung nicht in der indirekten Bewertung berücksichtigt wurden wiegt die durchweg positive Bewertung der Umweltwirkungen des Precision Farming diese sicherlich deutlich auf. Zukünftig ist zu erwarten, dass Technikkosten und die damit verbundenen Transaktionskosten fallen werden, da die Precision Farming Technologie immer mehr zur Standard-Technikausstattung in der Landwirtschaft gehören wird.

6.2.3.1.2.4 Intangibles

Schließlich wird noch auf die Intangibles (alle Wirkungen) für die kein monetäres Äquivalent gefunden werden konnte, aufmerksam gemacht (Tabelle 64). Auf der Kostenseite sind diesbezüglich betriebsinterne Transaktionskosten zu berücksichtigen, wie bspw. Fehler oder Komplettausfall der Precision Farming-Technik. Selbst die Anlaufzeiten, bis die Precision Farming-Technik wirklich „rundläuft“ und die gewünschten Effekte hervorbringt, verursachen Kosten, die nicht zu vernachlässigen sind.

Diesen stehen aber positive Wirkungen gegenüber, wie die Vermeidung betriebsinterner Transaktionskosten. Die Precision Farming-Technologie erleichtert erheblich das Datenmanagement, Kontroll- und Dokumentationsfunktionen. Dies schlägt sich in einer Effektivitätssteigerung der Arbeitskräfte nieder. Als positive Wirkung des Precision Farming kann sicherlich auch die Diversifizierung bzgl. Arbeitsplatzsicherheit und Beschäftigung angesehen werden. Das Tätigkeitsfeld des „Agri-manager“ verlagert sich dabei zu Technik und Informatik, aber auch zu Landschaftspflege. Neue, spezialisierte Branchen am Markt können entstehen.

Precision Farming kann dann auch einen positiven Beitrag zur Erhaltung des „menschlichen Wohlbefindens“ über gute Umweltqualität und hohe Nahrungsmittelqualität leisten. Aus Gesprächen mit den landwirtschaftlich praktizierenden Projektpartnern sowie aus Umfragen auf der Agritechnika 2001 und 2003 (JÜRGENS & REICHARDT 2005a) ergaben sich Vorteile einer Anwendung der Precision Farming-Technologie im Landbau bzgl. eines Aufzeigens neuer Perspektiven, also Entwicklungspotentials, für die Landwirtschaft. Dies wurde als „Horizontenerweiterung“ durch Weiterbildung und Schulungen im technisch-informatischen Bereich bezeichnet. Dadurch kann die Landwirtschaft ein positives Image gewinnen. Als „high-tech Agrimanager“ wird der Beruf des Landwirtes für junge Menschen wieder attraktiv. Somit trägt Precision Farming auch erheblich zur Motivation bei in dem Sektor der Landwirtschaft beruflich weiter tätig zu bleiben.

Als entscheidender Punkt für die Intangibles stellt sich eine deutliche *Förderung des Umweltbewusstseins der Landbewirtschafter* heraus, die durch den Einsatz der Technologie des Precision Farming hervorgerufen wird. Die von allen Seiten betonte erhebliche Sensibilisierung der Landwirte hin zum Boden mit seinen vielfältigen Eigenschaften und zu Pflanzen mit ihren unterschiedlichen Ansprüchen ist der Ansatzpunkt, an dem die Landwirte aktiv an einer Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft mitwirken und sich dessen auch ganz bewusst werden, im Gegensatz zu einer schlageinheitlichen Bewirtschaftungsweise.

Tabelle 64: Intangibles des Precision Farming

Table 64: Intangibles of precision farming

Beschreibung der Wirkung	
Gruppe	Untergruppe spezifisch, genauer
Kosten	
Betriebsinterne Transaktionskosten des Technikeinsatzes	Fehler Komplettausfall lange Anlaufzeit um Technologie zum Laufen zu bringen
Nutzen	
Vermeidung betriebsinterner Transaktionskosten Betriebsmanagement: Kontrolle/Dokumentation/ zu Produktion und Qualität Agrarförderung Fehler Betrieb (automatisierte Datenerfassung) Kooperation (überbetrieblicher Maschineneinsatz)	Einsatzsteuerung und Auslastung von Maschinen (ZR*) Arbeitserleichterung, Zeiteinsparung, Akh, schnelle Reaktion möglich, Vermeidung von Umweltbelastung Arbeitsorganisation, Vertretung, DL, Erleichterung betrieblicher Abläufe, Delegation der Arbeit, Datenmanagement, Sicherheit zur Entscheidungsfindung Gewannebewirtschaftung, PF wird auch für kleinere Betriebe anwendbar
Diversifizierung bzgl. Arbeitsplatzsicherheit/ Beschäftigung individuell, betriebsintern am Markt	Auslagerung Arbeit aus Landwirtschaft hin zu 1a. Technik und Informatik 1b. Landschaftspflege 1c. Spezialisierung der Arbeit 2. Entstehung neuer Branchen (Beratung, Kartenerstellung etc.)
Aufbau von Perspektiven, Entwicklungspotential für die Zukunft der Landwirtschaft technischer Fortschritt auch in Landwirtschaft positives Image Motivation	Horizontenerweiterung durch Einsatz neuer Technologie, Weiterbildung, Schulung Landwirt als „high-tech Agri-manager“ für junge Menschen, keine Abwanderung aus ländlichen Regionen
Förderung des Umweltbewusstseins	Sensibilisierung für Boden und Pflanze!

6.2.3.1.2.5 Gegenüberstellung der Nutzen und Kosten des Precision Farming und Gesamtbeurteilung

Die Gegenüberstellung der aggregierten Nutzen und Kosten liefert nun eine erste Information über die Nutzen-Kosten Differenz oder das Nutzen-Kosten-Verhältnis einer Maßnahme. Die Nutzen-Kosten-Differenz, genannt der *Nettonutzen*, oder das *Nutzen-Kosten-Verhältnis* dienen dabei als Entscheidungskriterien für die Vorteilhaftigkeit eines Projekts (HANUSCH 1987, S. 110 – 111).

Wie in Tabelle 65 dargestellt fällt der Nettonutzen des Precision Farming über die zwei Precision Farming-Strategien und über alle drei Jahre positiv aus. Dem hohen Nutzen (durchschnittlich 210,83 €/ha) stehen geringe Kosten (durchschnittlich 4,91 €/ha) gegenüber. So ergibt sich ein minimaler Nettonutzen des Precision Farming von +31,42 €/ha (2006, „Karte“) und ein maximaler Nettonutzen von +446,69 €/ha (2005, „Sensor“). Der Mittelwert liegt bei +205,92 €/ha.

Tabelle 65: Gegenüberstellung der Nutzen und Kosten des Precision Farming

Table 65: Cost-benefit-analysis of precision farming

	2005		2006		2007		Mittelwert**
	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Sensor*)	Max (Karte*)	
Gesamtnutzen direkt in €/ha	17,00	34,00	-58,50	1,30	10,30	-35,10	
Gesamtnutzen indirekt in €/ha	94,41	418,02	94,41	418,02	70,10	201,00	
Summe Nutzen in €/ha	111,41	452,02	35,91	419,32	80,40	165,90	210,83
Gesamtkosten direkt in €/ha	4,49	5,33	4,49	5,33	4,49	5,33	
Gesamtkosten indirekt in €/ha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Summe Kosten in €/ha	4,49	5,33	4,49	5,33	4,49	5,33	4,91
Nettonutzen Precision Farming in €/ha (Nutzen-Kosten)	106,92	446,69	31,42	413,99	75,91	160,57	205,92
Verhältniskriterium (Nutzen/Kosten)	24,81	84,81	8,00	78,67	17,91	31,13	40,89

*Precision Farming-Strategie, ** über 3 Jahre mal 2 Varianten

So errechnet sich für Precision Farming auch ein durchweg positives Verhältniskriterium von 8,00 bis zu 84,81 (Mittelwert 40,89).

Bei dieser isolierten Einzelentscheidung (Einführung Precision Farming oder nicht) muss nun das Projekt zur Durchführung empfohlen oder abgelehnt werden (HANUSCH 1987, S. 111). Ein Projekt wird dann empfohlen, wenn der Nettonutzen >1 oder das Verhältniskriterium von Nutzen zu Kosten (VK) >0 ist. Beide Entscheidungskriterien sind im Falle der Einzelentscheidung eindeutig und aussagekräftig (HANUSCH 1987, S. 114). Da der Nettonutzen eindeutig größer 1 ist und das VK auch deutlich über 0 liegt, ist die Einführung des Precision Farming im Landbau zu empfehlen. Unter der Annahme, dass die Ergebnisse der Fallstudie Wulfen auch repräsentativ für andere Regionen in Deutsch-

land seien, würde die Einführung von Precision Farming in großen Teilen Deutschland empfehlenswert sein.

6.2.3.2 Heterogenitätsindikator HEI

Ziel der Forschungsarbeit in Teilprojekt 5 war es, einen Indikator zur Erfassung der schlaginternen Heterogenität zu entwerfen, um die Hypothese „der volkswirtschaftliche Sinn und eine betriebswirtschaftliche Rentabilität von Precision Farming hängen entscheidend von der schlaginternen Heterogenität ab“ zu überprüfen. Der Heterogenitätsindikator soll genutzt werden, um die Abhängigkeit der Ergebnisse der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming von der schlaginternen Heterogenität zu untersuchen. Die zu testende Hypothese ist dabei, dass die gesamtwirtschaftlichen Vorteile (der Gesamt(netto)nutzen der Nutzen-Kosten-Analyse) mit zunehmender schlaginterner Heterogenität ebenfalls ansteigen.

Zum Zwecke der volkswirtschaftlichen Analyse sollte ein Heterogenitätsindikator folgenden Anforderungen genügen: Er sollte auf jeden Fall *standortbezogen* und *einfach*, zudem *verständlich* und *praktikabel* sein. Die für Precision Farming relevante Standortheterogenität müsste inhaltlich zutreffend erfasst sein. Als weitere wichtige Voraussetzung sollte sich dieser Heterogenitätsindikator als *kostengünstig* erweisen. Daneben müsste ein Heterogenitätsindikator *leicht aktualisierbar*, aber auch *genau* und vor allem *sicher* sein. Die Erfassung und Aktualisierung dieses Indikators sollte außerdem im Interesse einer Vermeidung von Messfehlern, einfach und kostengünstig sein.

Unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen an einen Heterogenitätsindikator erscheint der *Ertrag* (output-orientiert) als *geeignete Variable für ein Heterogenitätsmaß*. Die teilflächenspezifische Ertragsermittlung ist für alle landwirtschaftlichen Anbaukulturen von Bedeutung. Auf ihr baut die Ertragskartierung auf, die flächenhaft darstellt, wie sich unterschiedliche pflanzenbauliche Maßnahmen auf den Ertrag ausgewirkt haben (LUDOWICY et al. 2002, S. 42). Die Ertragskartierung ist somit einerseits ein wichtiges Kontrollinstrument, Ursachen für Ertragsschwankungen zu analysieren, und andererseits, um künftige pflanzenbauliche Maßnahmen daraus abzuleiten.

In der Literatur lassen sich Bestätigungen finden, die die Eignung von Ertragsdaten zur Standortcharakterisierung als Grundlage einer Heterogenitätsbestimmung dokumentieren. So vermerkt WERNER et al. (2002, S. 192), dass Standortinformationen über Boden und Relief allein die Dynamik der Pflanzenbestände in der Zeit nicht ausreichend berücksichtigen.

Da Heterogenität eine Ungleichheit innerhalb eines betrachteten Systems beschreibt, wird die Heterogenität im vorliegenden Fall über Ungleichheiten im Ertrag auf den einzelnen Teilflächen abgebildet.

6.2.3.2.1 Quantifizierung des Heterogenitätsindikators (HEI)

Um inhaltliche Heterogenität bestimmen zu können, müssen mindestens zwei unterschiedliche Ausprägungen der gewählten Variablen, hier des Ertrages, verglichen werden. Auf diese Weise kann dann der Unterschied mittels einfacher statistischer Methoden quantifiziert werden. Da es sich in unserem Fall um nur eine Variable handelt, lassen sich die Ertragsunterschiede über die Standardabweichung darstellen. Für die Zufallsvariable x definiert sie sich als die positive Quadratwurzel aus deren Varianz.

$$\text{Stbwn} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n}$$

wobei,

Stbwn = Standardabweichung

n = Anzahl der Messpunkte

 \bar{x} = Ertrag (Zufallsvariable) \bar{X} = Ertragsmittelwert x_i = Ertrag am Punkt i

In unserer speziellen Fragestellung interessieren also nicht die absoluten Ertragshöhen, sondern die durchschnittlichen schlaginternen Ertragsunterschiede (Varianz, Standardabweichung an den verschiedenen Messpunkten) in einem Jahr bzw. Zeitablauf.

Das gesuchte Maß zu einer Quantifizierung des Heterogenitätsindikators müsste folglich in jedem Punkt auf einem Schlag einen Wert erhalten, der die Abweichung vom Mittelwert in einem Jahr beschreibt, ggf. sogar in % ausdrückt, als relative Abweichung. Diese prozentualen Abweichungen ließen sich dann auch bei Vorliegen der Ertragsdaten mehrerer Jahre als Durchschnittswert berechnen. In der Statistik trifft dies auf den Variationskoeffizienten zu. Dieser wird nun im Folgenden als Heterogenitätsindikator (HEI) genutzt. Der HEI wird somit über das Maß des Variationskoeffizienten der Erträge gemessen.

Der Variationskoeffizient drückt die Standardabweichung in Einheiten vom Mittelwert der jeweilig betrachteten Verteilung aus, d. h. die Standardabweichung wird durch den Ertragsmittelwert geteilt. Da es sich beim Variationskoeffizienten um einen Anteilswert handelt, wird dieser Quotient mit 100 multipliziert. Der VK, und somit auch der HEI, beschreibt also als Prozentzahl die durchschnittliche Abweichung vom Ertragsmittelwert eines Schlages in einem Jahr.

$$\text{HEI} = \text{Variationskoeffizient} = \frac{\text{Standardabweichung}}{\text{Ertragsmittelwert}} \times 100 \quad (\text{der Erträge eines Schlages})$$

Bestätigung unserer Überlegungen finden sich in der Literatur bereits bei KNOOP et al. (1985, S. 656). In ihrem Artikel beschreiben die Wissenschaftler die Maße der Varianz, Standardabweichung, oder des Variationskoeffizienten als traditionelle Maße zur Erfassung und Quantifizierung der flächenhaften Variabilität eines Merkmals im Raum. Dabei berücksichtigen aber obige Standardmethoden der Statistik raumstrukturelle und ortsabhängige Beziehungen zwischen den Merkmalswerten nicht. Diese finden nur in Methoden der Geostatistik Beachtung. Um aber die Prämissen der „einfachen“ und „praktikablen“ Anwendung des HEI zu erfüllen, wird auf den Aspekt der Einbeziehung der ortsabhängigen Beziehungen bei unserem Heterogenitäts-Ansatz bewusst verzichtet.

Zur Berechnung des Heterogenitätsindikators sind beispielhaft 8 Getreideschläge (Kriterium: Datenverfügbarkeit) innerhalb der Fallstudie Wulfen ausgewählt worden. Ertragskarten standen für die Getreideernte 2005 und 2007 zur Verfügung. Ertragskarten auf der Basis durchschnittlicher Ertragswerte mehrerer Jahre waren nicht verfügbar (siehe Tabelle 66).

Tabelle 66: Ergebnisse der Berechnung zum schlaginternen Heterogenitätsindikator HEI

Table 66: Calculation of the site-specific heterogeneity indicator HEI

Jahr	Fruchtart	Schlag-Nr.	Schlaggröße in ha	Variationskoeffizient** in %
2005	WW*	231	82,64	17,62
2005	WW	431	34,5	12,86
2005	WW	432	93,1	16,81
2005	WW	631	118,92	16,57
2007	WW	221	46	12,38
2007	WW	262	58,1	12,55
2007	WW	432	93,1	17,49
2007	WW	631	114	12,21

*WW: Winterweizen, ** des Ertrags in t/ha

Grundlage zur Bestimmung des HEI sind im 25x25 m Raster interpolierte Ertragskarten, die aus Gründen der Datenverfügbarkeit den Feuchtertrag (in t/ha) berücksichtigen. Bis hierhin ergibt sich kein Mehraufwand für den Landwirt. Mit Hilfe von Excel sind dann für jeden der 8 Schläge die Standardabweichung und der Variationskoeffizient = HEI berechnet worden. Die meisten Programme der Landmaschinenhersteller zur Ertragskartierung liefern die Daten der Ertragswerte im geeigneten Format (bspw. für Claas im ASCII-Format), so dass diese problemlos in Excel einlesbar sind, und so sehr einfach die erforderliche Berechnung und Auswertung durch den Landwirt erfolgen könnte (JÜRSCHIK 2006). Denkbar ist auch, dass diese zusätzliche Auswertung der Ertragsdaten von Dienstleistern durchgeführt werden könnte, was lt. Fa. geo-konzept mit vernachlässigbaren Mehrkosten verbunden wäre.

Per Definitionen ist ein hoher Wert des Variationskoeffizienten mit einem hohen Wert des HEI und letztlich mit einer hohen schlaginternen Heterogenität gleichzusetzen. Dies gründet auf der Definition von Heterogenität, nämlich, dass sie eine Ungleichheit innerhalb eines betrachteten Systems beschreibt.

Allgemein gesagt, lassen sich auf allen betrachteten Schlägen deutliche Ertragsabweichungen vom Mittelwert feststellen. Auf der Hälfte der Schläge liegen die Variationskoeffizienten (= HEI) bei ca. 17 % (Schlag 231, 432, 631 für 2005 und 432 für 2007). Die andere Hälfte der Schläge liegt bei ca. 12 % HEI. Allein schon aus betriebswirtschaftlicher Sicht betrachtet sind solche Ertragsschwankungen innerhalb eines Schlages sicherlich nicht ganz unerheblich, was eine Maßnahmenanpassung über die Technologie des Precision Farming rechtfertigen und in ihrer Vorteilhaftigkeit bestätigen dürfte.

6.2.3.2.2 Ökonomische Verknüpfung des HEI

Voraussetzung für die ökonomische Verknüpfung des HEI ist die Annahme, dass der volkswirtschaftliche Gesamt(netto)nutzen des Precision Farming einer Kulturart eine Funktion des HEI abbildet:

Nettonutzen PF (einer Kulturart) = f(HEI) für jeweilige Region

Für Schlag 432 ist in der vorangegangenen Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming ein Nettonutzen von 106,91 €/ha bis 446,69 €/ha für das Jahr 2005 und für das Jahr 2007 ein Nettonutzen von 75,91 €/ha bis zu 160,57 €/ha errechnet worden (siehe Kapitel 6.2.3.1.2.5). Dieses Ergebnis kann nun

in Beziehung zum HEI des Schlag 432 der Jahre 2005 (16,81 %) und 2007 (17,49 %) gesetzt werden. Einem HEI von 16,8 % kann ein Nettonutzen mit einer Spannweite von 106,91 €/ha bis 446,69 €/ha zugeordnet und einem HEI von 17,49 % kann der Nettonutzen von 75,91 €/ha bis zu 160,57 €/ha zugeordnet werden (siehe Abbildung 162).

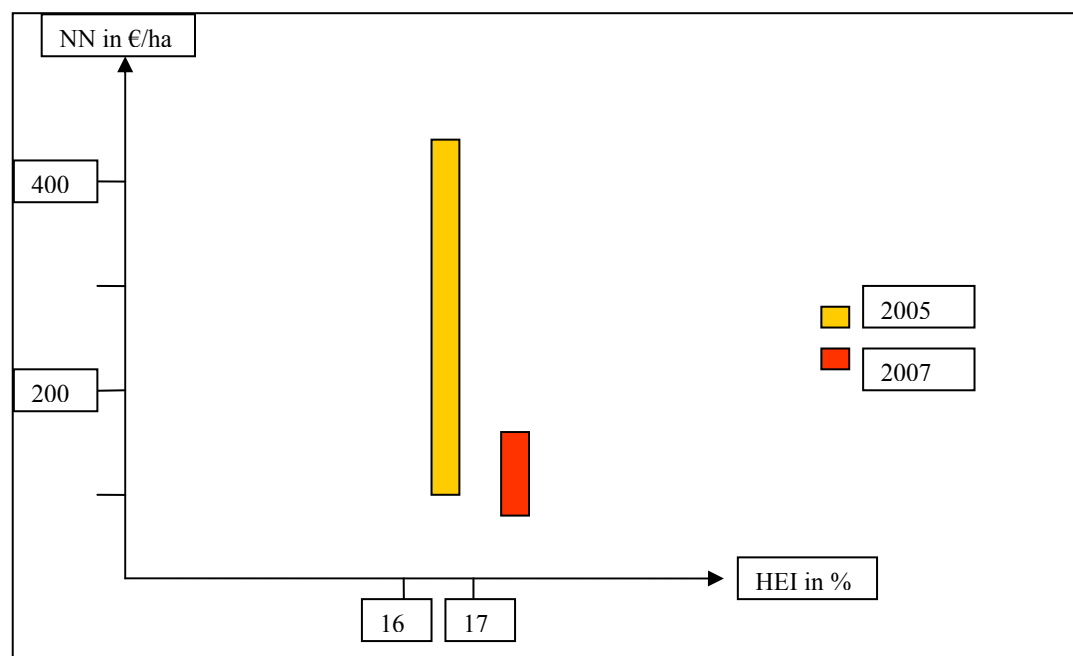


Abbildung 162: Der Nettonutzen in Abhängigkeit vom HEI

Figure 162: Net benefit in dependency of the HEI

Aufgrund der Verfügbarkeit von nur 2 Werten aus 2 Jahren können keine weiteren Aussagen bzgl. der Entwicklung des Nettonutzens des Precision Farming in Abhängigkeit von der schlaginternen Heterogenität getroffen werden.

Es lässt sich aber bzgl. des Nettonutzens als Funktion vom HEI folgende Aussage treffen. Für einen exemplarischen HEI von ca. 17 % kann sich der Einsatz von Precision Farming in dieser Region im Winterweizen lohnen. Unter Annahme, dass die obigen Ergebnisse repräsentativ für Regionen in Deutschland seien, stellt der Wert von 17 % HEI einen exemplarischen Schwellenwert der gesamtwirtschaftlichen Rentabilität von Precision Farming dar.

6.2.3.3 Identifizierung von Precision Farming Potentialflächen

Grundlage bildet das Ertragsschätzungsmodell nach KINDLER (1992) und MIRSCHEL et al. (2006). Hier konnten die Naturalerträge des Winterweizens auf regionaler Ebene (innerhalb 1 ha Zellen) für Ostdeutschland geschätzt werden (auf dem Niveau von 1990 bzgl. Pflanzenzüchtung und Betriebsmanagement) (siehe Abbildung 163). So konnten auch alle relevanten Größen zur Ermittlung des Variationskoeffizienten (Durchschnittsertrag, Standardabweichung) abgeleitet und der HEI für die Region Ostdeutschland errechnet werden.

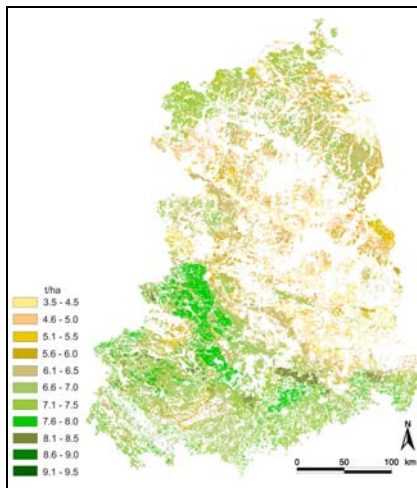


Abbildung 163: Ertragsschätzung Winterweizen, Ostdeutschland, Stand 1990, nach KINDLER (1992) und MIRSCHEL (2006)

Figure 163: Winter wheat grain yield for arable land in East Germany, management level of the 1990s

Durch das Verschneiden der Ertragskarte nach MIRSCHEL et al. (2006) mit der Verwaltungskarte Ostdeutschlands auf Gemeindeebene (Stand 2001) wurde der relevante Wert des Heterogenitätsindikators HEI für jede Verwaltungseinheit geschätzt (berechnet). So konnte der schlagspezifische und wirtschaftlich verknüpfte HEI vom Feldniveau auf das Regionalniveau erfolgreich übertragen werden (siehe Abbildung 164).

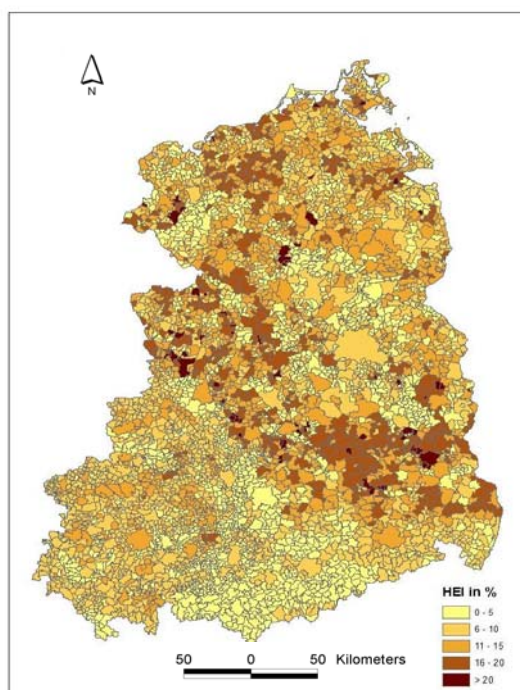


Abbildung 164: HEI in Ostdeutschland auf Gemeindeebene, 2007

Figure 164: HEI in East Germany on a municipality level, 2007

Auf diese Weise können Aussagen zur Höhe des HEI in % oder betroffener Flächenausdehnung in km² stets auf Gemeindeebene getroffen werden. D. h. der spezifisch geschätzte HEI ist gültig für die gesamte Verwaltungseinheit (Gemeinde). Spezifische Aussagen zur potentiell betroffenen Ackerfläche (Precision Farming Potentialflächen) können über den vorgestellten Ansatz also nicht getroffen werden.

Auf dem Großteil der Flächen in Ostdeutschland ist der HEI ≤ 15 %. Nur ein schmales Band von der Region um Dresden über Magdeburg bis hoch zur Ostsee zeigt einen HEI von >16 %, also Flächen mit größerer Heterogenität. Da der exemplarische Schwellenwert eines lohnenswerten Einsatzes von Precision Farming bei ca. HEI 17 % liegt (siehe Kapitel 6.2.3.2.2), wäre folglich nur auf diesen Flächen der Einsatz von Precision Farming-Technologien profitabel. Dies würde für 405 Gemeinden mit 12,056.41 km² Fläche insgesamt zutreffen. Zum Vergleich: die Gesamtfläche Ostdeutschlands beträgt 2006 108,812 km². Somit sind 11 % der Gesamtfläche Ostdeutschlands als solche Gebiete einzustufen, auf deren Ackerfläche (Getreidefläche) ein Einsatz von Precision Farming lohnenswert wäre.

Da der Schwellenwert von 17 % HEI exemplarischen Charakter hat, könnten auch andere Schwellenwerte als volkswirtschaftliche Rentabilitätsgrenze angenommen werden. So sind HEI Schwellenwerte 5 %, 10 %, 15 %, 20 % und 25 % für Ostdeutschland berechnet worden. Die Ergebnisse sind in Abbildung 165 zu sehen.

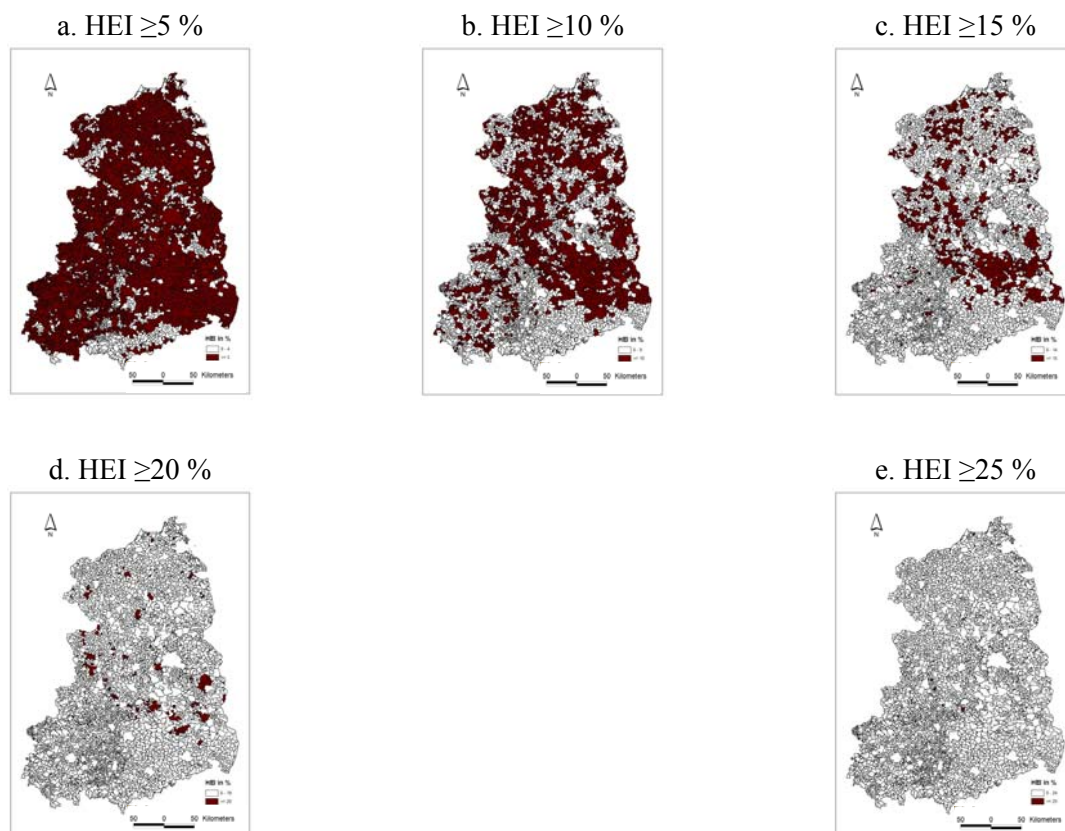


Abbildung 165: Precision Farming Potentialflächen, HEI von ≥ 5 % to ≥ 25 %, Ostdeutschland, 2007

Figure 165: Potential precision agriculture area, values from HEI ≥ 5 % to ≥ 25 %, East Germany, 2007

Beim niedrigsten Schwellenwert von HEI ≥ 5 % kann fast das gesamte Gebiet Ostdeutschlands als Precision Farming Potentialfläche angesehen werden. Dies wären 88.354 km², 81,2 % der Gesamtflä-

che Ostdeutschlands. Der Schwellenwert von $\geq 10\%$ betrifft immer noch große Gebiete Ostdeutschlands, nämlich $46,93\%$ (51.062 km^2) der Gesamtfläche. Für Werte des Heterogenitätsindikators von 15% und größer wird die Precision Farming Potentialfläche dann deutlich geringer. Es sind jetzt nur noch $18,58\%$ (20.217 km^2) der Gesamtfläche Ostdeutschlands und für einen Schwellenwert von 20% HEI gerade mal 3% (3.287 km^2). Bei 25% HEI liegt die Fläche, auf deren respektiver Ackerfläche (Getreidefläche) ein Einsatz von Precision Farming lohnenswert wäre bei geringen $85,72 \text{ km}^2$ ($0,08\%$ der Gesamtfläche Ostdeutschlands).

6.2.3.4 Hochrechnung der Nutzen-Kosten-Analyse

Da genaue Aussagen zur potentiellen Precision Farming Getreidefläche über den in Kapitel 6.2.3.3 vorgestellten Ansatz nicht getroffen werden konnten, erfolgt die Hochrechnung der Ergebnisse der Nutzen-Kosten-Analyse der Wulfen-Studie anhand der Getreidefläche, bzw. Winterweizenfläche aus der Statistik (STATISTISCHES JAHRBUCH FÜR DIE BRD 2007).

So ergibt sich ein volkswirtschaftlicher Nettonutzen einer Einführung von Precision Farming auf allen Getreideflächen der BRD von minimal $0,211$ Mrd. € (2006) und maximal $2,994$ Mrd. € (2005). Der Mittelwert liegt bei $1,380$ Mrd. €. Bezogen auf die Winterweizenfläche ergibt sich ein volkswirtschaftlicher Nettonutzen von minimal $0,096$ Mrd. € (2006) und maximal $1,366$ (2005) Mrd. €, mit einem Mittelwert der drei Versuchsjahre 2005 – 2007 von $0,630$ Mrd. € für die gesamte BRD. Diese Ergebnisse finden sich in Tabelle 67.

Tabelle 67: Hochrechnung der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming

Table 67: Extrapolation of the cost-benefit-analysis of precision agriculture

	2005		2006		2007		Mittelwert
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Nettonutzen des Precision Farming in €/ha	106,92	446,69	31,42	413,99	75,91	160,57	205,92
Nettonutzen bzgl. Getreidefläche BRD* in Mrd. €	0,716	2,994	0,211	2,775	0,509	1,076	1,380
West	0,456	1,905	0,134	1,765	0,323	0,685	0,878
Ost	0,260	1,088	0,076	1,009	0,185	0,391	0,502
Nettonutzen bzgl. WW-Fläche BRD** in Mrd. €	0,327	1,366	0,096	1,266	0,232	0,491	0,630
Ost	0,128	0,538	0,038	0,499	0,091	0,193	0,248
West	0,197	0,828	0,058	0,767	0,140	0,297	0,381

* Getreidefläche in 1000 ha, BRD: 6702,1; West: 4265,1; Ost: 2437

** WW: Winterweizen-Fläche in 1000 ha, BRD: 3058,3; West: 1852,9; Ost: 1205,4

6.2.3.5 Agrarpolitische Empfehlung

Die eingangs gestellte Frage nach einer Legitimation agrarpolitischer Maßnahmen zur Förderung eines flächenweiten Einsatzes von Precision Farming kann nun aufgrund der Ergebnisse der Nutzen-Kosten-Analyse positiv beantwortet werden. Der Vielzahl von Umweltwirkungen, die als indirekte Wirkungen beim Einsatz der Precision Farming Technologie im Pflanzenbau anfallen und über den Markt nicht entlohnt werden, stehen unsichere betriebswirtschaftliche Gewinne gegenüber (siehe Nettonutzen direkt und indirekt, Kapitel 6.2.3.1.2.2).

So können agrarpolitische Vorgaben, wie eine Förderung des Precision Farming mit den unterschiedlichsten Einzelmaßnahmen und Maßnahmenkombinationen erreicht werden. Der Instrumenteneinsatz in der deutschen Agrarumweltpolitik konzentriert sich vor allem auf das Ordnungsrecht sowie freiwil-

lige Agrarumweltmaßnahmen, flankierend kommen Beratung und Investitionsförderung hinzu (GAY et al. 2004, S. 97). Für den Fall einer Förderung der flächendeckenden Einführung von Precision Farming gäbe es einmal die Möglichkeit einer Förderung durch eine allgemeine Agrarstützung innerhalb der 1. Säule der GAP über Direktzahlungen/ha oder aber durch Investitionsförderung der Anschaffungskosten des Precision Farming.

Eine *allgemeine Agrarstützung* könnte im Rahmen von Agrarumweltprogrammen erfolgen. In diesen verpflichten sich Landwirte, für einen bestimmten Zeitraum eine durch bestimmte Auflagen definierte extensive landwirtschaftliche Produktionsweise oder Flächenpflege durchzuführen, und erhalten eine Prämie. Die extensive landwirtschaftliche Produktionsweise könnte hier durch Precision Farming Technologien durchgeführt werden. Wie in Kapitel 6.2.3.1.2.2 dargestellt, bringt Precision Farming eine Vielzahl von Umweltleistungen hervor, die positive externe Effekte haben. Allein von diesem Standpunkt aus wäre eine staatliche Förderung des Precision Farming als gerechtfertigt anzusehen. Da sich eine Prämie an den privatwirtschaftlichen Kosten, die aufgrund der Auflageneinhaltung zu erwarten wären, orientiert, wäre eine Prämie zur Förderung der Einführung von Precision Farming zwischen mind. 4,- €/ha und 63,- €/ha anzusiedeln (siehe Nettonutzen direkt, Tabelle 62); immer unter der Voraussetzung, dass die Ergebnisse der Wulfen-Studie auf die ganze BRD übertragbar sind. Über die drei Versuchsjahre konnte aber nicht eindeutig festgestellt werden, ob sich der Einsatz von Precision Farming auf rein betriebswirtschaftlicher Ebene lohnt oder mit Einbußen zu rechnen ist. Drei von sechs Versuchsgliedern/Ergebnissen sind positiv und drei negativ ausgefallen. So können wir bzgl. des Förderinstrumentes der Direktzahlungen keine Empfehlung aussprechen, auch zumal weitere Versuchsreihen in unterschiedlichen Regionen notwendig wären um eine angemessene Prämienhöhe genauer und gerechtfertigt formulieren zu können.

Bleibt noch die *Investitionsförderung*: Diese trägt in zunehmendem Maße Anforderungen des Umwelt-(und Tier)schutzes Rechnung und kann damit zur Verbreitung verbesserter Technologien (GAY et al. 2004, S. 109) oder innovativer Produktionsverfahren beitragen. Gezielte Investitionszuschüsse zur Anschaffung der Precision Farming-Technologie (auch Hard- und Software, nicht nur Geräte und Maschinen, wie bspw. in Baden-Württemberg im „AGRARINVESTITIONS-FÖRDERUNGSPROGRAMM (AFP- Teil A)“ gültig ab 01.01.2007 (MLR, REFERAT 27 2007), könnten also zu einer deutlichen Beschleunigung der Verbreitung der technischen Innovation (Precision Farming) führen. Dies wird von JÜRGENS & REICHARDT (2006, S. 3) in soweit bestätigt, dass bei Umfragen potentielle Nutzer eine Senkung der Anschaffungskosten als Hauptvoraussetzung für einen Einstieg ins Precision Farming nannten. Je nach verfolgter Precision Farming-Strategie fallen Anschaffungskosten in Höhe von ca. 22.350,- € für die Strategie „Sensor“ an und für die Strategie „Karte“ ca. 14.800,- € (Ertragskartierung, GIS-Software, Terminal + GPS).

Ein förderfähiges Investitionsvolumen von bis zu 50.000,- €/Landwirt, wie es bspw. im Land Brandenburg im Jahre 2003 für die Anschaffung von Maschinen und Geräten zur umweltgerechten Ausrichtung der Produktion (ANONYMUS 2008) möglich war, würde sicherlich eher zu einer Beschleunigung der Verbreitung des Precision Farming mit allen seinen volkswirtschaftlichen Vorteilen führen als eine Direktzahlung/ha. Auch empfehlen RÖSCH et al. (2005) einen Investitionszuschuss zu einer Verbreitung der Technik des Precision Farming. Je mehr Abnehmer es geben wird, desto eher sinkt in der Serienproduktion der Preis für die Technik.

So empfehlen wir das umweltpolitische Instrument der/des Investitionsförderung/zuschusses für umweltfreundliche/innovative Technik/und Produktionsverfahren als geeignete Förderungsmaßnahme zu einer Verbreitung der Precision Farming-Technologie. Generell können wir aber eine staatliche Förderung des Precision Farming nicht empfehlen, da unsere Aussagen auf vielen Annahmen beruhen

(bspw. Ergebnisse der Wulfen-Studie sind repräsentativ für alle Regionen der BRD), die in weiterer Forschungsarbeit überprüft werden müssten.

6.2.3.6 Schlussfolgerungen

Die Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming konnte erfolgreich unter besonderer Beachtung der ökologischen Wirkungen des Precision Farming erstellt werden. Basis sind hierbei empirische Untersuchungen innerhalb der Wulfen-Studie (5 Versuchsfelder in 3 Jahren Laufzeit). Da kein anderes Datenmaterial zur Verfügung stand, wurden daraus Aussagen zu einer volkswirtschaftlichen Bedeutung des Precision Farming unter bestimmten Restriktionen abgeleitet. Um aber sicherere Aussagen ableiten zu können, müsste die Wulfen-Studie bspw. in mehreren Regionen Deutschlands durchgeführt werden. Erst dann könnte man tatsächlich signifikante Aussagen bzgl. Precision Farming und seiner volkswirtschaftlichen Bedeutung treffen.

So sind aber dennoch in TP 5 qualitative Aussagen getroffen worden bzgl. des Nettonutzens von Precision Farming. Der hohe und durchweg positive Wert des Nettonutzens basiert dabei auf der Vielzahl der indirekten Umweltwirkungen, die durch Precision Farming hervorgerufen werden. Beim Einsatz von Precision Farming im Landbau erwirtschaftet man also gleichzeitig, meist als unbeabsichtigte Nebenfolge (externer Effekt) ein ganzes Bündel an positiven Umweltwirkungen. Nicht unumstritten bleibt dabei deren Quantifizierung. Die Expertenbewertung in Verbindung mit jeweils verschiedenen Bewertungsmethoden aus der Umweltökonomie, die erst über einen benefit transfer mit entsprechender Gewichtung (aus der Expertenbewertung) zu dem monetären Wert führte, kann und will auch keine absolute Bewertung liefern.

So sollen die Ergebnisse der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming nicht als generell gültige Aussage missverstanden werden. Vielmehr sollen nur Bereiche und Trends aufgezeigt werden, in welche Richtung Auswirkungen beim Einsatz von Precision Farming am Beispiel der Wulfen-Studie, übertragen auf die BRD, gehen können.

In zukünftigen Precision Farming-Analysen müsste versucht werden, auch die Transaktionskosten, die hier unter die Intangibles gefallen sind, zu quantifizieren. Denn Untersuchungen zur Akzeptanz von Precision Farming von JÜRGENS & REICHARDT (2005b, S. 68, siehe auch Kapitel 8.1) zeigten, dass viele Nutzer den Zeitaufwand problematisch fanden, den es bedarf, um sich mit der Technik vertraut zu machen. Darüber hinaus beanstandeten die Nutzer die mangelnde Kompatibilität zwischen den Geräten verschiedener Hersteller und die Zuverlässigkeit der EDV-Ausrüstung und Landtechnik.

Bzgl. der Abhängigkeit eines Einsatzes des Precision Farming von der Heterogenität konnte im TP 5 nicht nachgewiesen werden (anhand des dort entwickelten einfachen, schlagspezifischen und leicht übertragbaren Heterogenitätsindikators HEI), dass je mehr Heterogenität im Schlag vorherrscht, desto größere Gewinne (Nettonutzen) erzielt werden. Die Hauptursache dafür ist die mangelnde Verfügbarkeit von Daten, die zu einer vergleichenden Berechnung und Betrachtung hätten herangezogen werden müssen. Dessen ungeachtet, konnten aber doch Precision Farming-Potentialflächen über den regionalisierten HEI-Ansatz für Ostdeutschland visualisiert werden.

Der errechnete volkswirtschaftliche Nutzen von Precision Farming bei einer Einführung auf den Getreideflächen der BRD (2006) von 0,211 Mrd. € bis 2,994 Mrd. € lässt diese Technologie förderungswürdig erscheinen. So ist aus unserer Perspektive und unter den getroffenen Annahmen eine Förderung des Precision Farming zu dessen Verbreitung über Investitionszuschüsse durchaus gerechtfertigt.

6.2.4 Diskussion: Auswirkungen von Precision Farming auf Arbeit und Wettbewerbsfähigkeit

Um neueste Technologieentwicklungen effizient nutzen zu können und auch in Zukunft davon zu profitieren, muss das Wissen und die Anwendung der Neuheiten permanent erworben und ermittelt werden. Der Bedarf an Wissenstransfer, an Aus- und Weiterbildung und IT-Support für Precision Farming-Technologie schafft somit nach RÖSCHE et al. (2005, S. 171) zusätzlich *Arbeitsplätze im ländlichen Raum*. Große Betriebe können es sich leisten interne qualifizierte Berater für die Anwendung von Precision Farming einzustellen. Doch es sind vor allem die kleineren Betriebe, die auf externe Berater zurückgreifen werden. Es ist also vorstellbar, dass Stellen für fachlich kompetente Mitarbeiter in überbetrieblichen Einrichtungen entstehen, die Landwirte zur Anwendung von Precision Farming beraten. So scheint sich ein Trend zu hochqualifiziertem Personal mit auch höherer Entlohnung anzubahnen (HANEKLAUS & SCHNUG 2006, S. 133).

Andererseits könnten aber diese externen Arbeitsplätze durch Internetplattformen und Onlineschulungen wieder kompensiert werden, so dass die Anzahl der durch Precision Farming neu entstandenen Jobs tatsächlich kleiner würde (HANEKLAUS & SCHNUG 2006, S. 133). Durch die fehlende Rentabilität der Technik für kleinere Betriebe kann die Diffusion von Precision Farming auch eine Beschleunigung des Strukturwandels im ländlichen Raum nach sich ziehen und damit von dieser Seite aus gesehen auch zu einem Abbau von Arbeitsplätzen führen (RÖSCH et al. 2005, S. 171).

Während sich die Arbeitsproduktivität in Deutschland im Zeitraum von 2000 bis 2005 um durchschnittlich 1,4 % jährlich verbesserte, verzeichnete die deutsche Landwirtschaft eine jährliche Produktivitätssteigerung von 4,4 %. Trotzdem sind vor dem Hintergrund der fortschreitenden Liberalisierung des Agrarwelthandels weitere Anstrengungen notwendig, um das noch immer vergleichsweise hohe Kostenniveau zu senken und gleichzeitig die steigenden gesellschaftlichen Anforderungen an Umwelt- und Verbraucherschutz zu erfüllen. Dazu bedarf es permanenter organisatorischer und technologischer Innovationen in der Landwirtschaft. So kann die *Wettbewerbsfähigkeit* dieses Sektors bspw. durch Precision Farming gesteigert werden (RENTENBANK 2006). Die standortangepasste Wirtschaftsweise des Precision Farming bei gleichzeitig umweltschonender Wirkung und die damit verbundenen betriebswirtschaftlichen Kostensenkungspotentiale zusammen mit der Modernisierung des landwirtschaftlichen Betriebsmanagements stellen die Grundlage für eine Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit dar.

Die Nutzung modernster Steuerungs-, Sensorik-, Regelungs- und Informationstechnologie führt zu einer Steigerung der Produktivität und Wettbewerbsfähigkeit der landwirtschaftlichen Betriebe. Neue Technologien tragen aber auch dazu bei die Wettbewerbsfähigkeit landwirtschaftlicher Unternehmen (bspw. Landtechnikhersteller) zu steigern (ENGEL 2004a).

Eine wichtige Rahmenbedingung für die Wettbewerbsfähigkeit in der Landwirtschaft ist die gesellschaftliche Akzeptanz von Innovation und technischem Fortschritt wie dem Precision Farming. Hier wird es in Zukunft noch stärker darauf ankommen, einer gegenüber Innovationen in der Landwirtschaft kritischen Öffentlichkeit zu kommunizieren, dass ein sorgsamer Umgang mit natürlichen Ressourcen häufig nur auf der Basis von technischem Fortschritt möglich ist (RENTENBANK 2006). Dabei ist die Nutzung von Precision Farming im Landbau aus der Sicht eines Landtechnikherstellers heute keine grundsätzliche Frage mehr, sondern eine Voraussetzung, um zukünftigen Anforderungen im Hinblick auf Produktivität, Umweltschutz und Verbraucherbedürfnissen gerecht zu werden (ENGEL 2004b).

Literatur

- ANONYMUS: Förderprogramme der Länder – Konservierende Bodenbearbeitung. <http://www.gkb-ev.de/foerderprogramme/foerderprogramme.htm>. Aufruf: 23.1.2008.
- BMF BUNDESMINISTERIUM DER FINANZEN (1973): Erläuterungen zur Durchführung von Nutzen-Kosten-Untersuchungen. In: Minbl des Bundesministers der Finanzen und des Bundesministers für Wirtschaft mit Veröffentlichungen des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. S. 293ff.
- ENGEL, T. (2004a): Precision Farming aus der Sicht eines Landmaschinenherstellers. Vortrag zum DLG Wintertagung 14. Januar 2004. Berlin. <http://download.dlg.org/pdf/wita2004/thengel.pdf>. Aufruf: 24.1.2008.
- ENGEL, T. (2004b): Precision Farming aus der Sicht eines Landtechnikherstellers. Kurzfassung des Vortrags zur Wintertagung 14. Januar 2004. Berlin. <http://download.dlg.org/pdf/wita2004/KurzfassPrecisionFarming.pdf>. Aufruf: 24.1.2008
- Fa. geo-konzept GmbH (2006): Gut Wittenfeld, 85111 Adelschlag.
- GAY, S. H., B. OSTERBURG & T. SCHMIDT (2004): Szenarien der Agrarpolitik – Untersuchung möglicher agrarstruktureller und ökonomischer Effekte unter Berücksichtigung umweltpolitischer Zielsetzungen. Materialien zur Umweltforschung Nr.37. SRU, Berlin.
- HANEKLAUS, S. & E. SCHNUG (2006): Site-specific nutrient management: Objectives, Current Status and future research needs. In: Srinivasan, A. [Hrsg.] (2006): Handbook of Precision Agriculture. Principles and Application. Food Product Press, New York. S. 91 – 151.
- HANUSCH, H. (1987): Nutzen-Kosten-Analyse. (Wiso-Kurzlehrbücher). Verlag Vahlen, München.
- HUFNAGEL, J., R. HERBST, A. JARFE & A. WERNER (2004): Precision Farming: Analyse, Planung, Umsetzung in die Praxis. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
- JÖRNS, S. (2005): Bilateraler Informationsaustausch innerhalb des Verbundprojektes *pre agro* II.
- JÜRGENS, C. & M. REICHARDT (2005a): Akzeptanz von Precision Agriculture in Deutschland Verbundprojekt *pre agro* II-Teilprojekt 6: Ergebnisbericht zu der Umfrage während der AGRI-TECHNIKA 2001 und 2003.
- JÜRGENS, C. & M. REICHARDT (2005b): Akzeptanz des Precision Farming bei Praktikern und anderen Akteuren (TP 6) in *pre agro* Zwischenbericht 2005. S. 65 – 75.
- JÜRGENS, C. & M. REICHARDT (2006): Precision Farming in der Praxis. Forschungsverbundprojekt *pre agro*: Teilprojekt 6. 08/2006.
- JÜRSCHIK, P. (2006): Persönliche Korrespondenz. Fa. Agrocom. juerschik@agrocom.com.
- KARPINSKI, I. & K. MÜLLER (2005): Volkswirtschaftliche Analyse einer flächenumfangreichen Einführung von Precision Farming (TP 5). *pre agro* Zwischenbericht 2005. S. 77 – 87.
- KINDLER, R. (1992): Ertragsschätzung in den neuen Bundesländern. Pflug und Felder. St. Augustin, Deutschland, 230 Seiten.
- KNOOP, F., J. LAMP & E. SCHNUG (1985): Regionale Variabilität von Merkmalen der Bodenfruchtbarkeit, Modell zur Erfassung und Darstellung. In: Mitteilungen Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft. Band 43[Heft II], S. 655 – 660.

- LUDOWICY, C., R. SCHWAIBERGER & P. LEITHOLD (2002): Precision Farming Handbuch für die Praxis. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main.
- MIRSCHER, W., R. WIELAND & K.-O. WENKEL (2006): Spatial Analysis and Modelling Tool V2.0 – applications to the landscape indicators crop yield and crop coverage. In: Studzinski, J. & O. Hryniewicz [Eds.]: Eco-Info and Systems Research. Series: Systems Research [Ed.: Gutenbaum, J.]: Polish Academy of Sciences/Systems Research Institute, Warsaw, Heft 52, S. 11 – 28.
- MLR, REFERAT 27 (2007): Förderung einzelbetrieblicher Investitionen in der Landwirtschaft. Agrarinvestitionsförderprogramm (AFP- Teil A). [http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1215105_11/mlr_Flyer%20-%20Förderung%20einzelbetrieblicher%20Investitionen%20in%20der%20Landwirtschaft%20AFP%20\(Abschnitt%20A\).pdf](http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1215105_11/mlr_Flyer%20-%20Förderung%20einzelbetrieblicher%20Investitionen%20in%20der%20Landwirtschaft%20AFP%20(Abschnitt%20A).pdf). Aufruf: 23.1.2008.
- pre agro I (2004): Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau, Verbundprojekt pre agro, Abschlußbericht. ZALF, Müncheberg.
- RENTENBANK (2006): Pressemeldung. Symposium der Edmund Rehwinkel-Stiftung: Steigende Wettbewerbsfähigkeit durch Innovation. 21.4.2006. http://www.rentenbank.de/d/Presse/fContentPM_2006-04-21_2.html. Aufruf: 24.1.2008.
- RÖSCH, C., M. DUSSELDORP & R. MEYER (2005): Precision Agriculture. 2. Bericht zum TA-Projekt. Moderne Agrartechniken und Produktionsmethoden – ökonomische und ökologische Potenziale. Arbeitsbericht Nr. 106. TAB Berlin.
- SCHMIDT, R. & R. DIEMANN [Hrsg.] (1991): Erläuterungen zur mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK). FZB, Müncheberg.
- SCHNEIDER, M. & P. WAGNER (2005): Herangehensweise an eine ökonomische Bewertung von Precision Farming. Arbeitspapier pre agro II, TP 3.
- SCHOLLES, F. (2001): Die Kosten-Nutzen-Analyse, Planungsmethoden in der Praxis, Zielsysteme in der Planung, Abwägung und Entscheidung, Messung, Indikation, Abwägung und Entscheidung, Planung unter Unsicherheit: Eintrittswahrscheinlichkeit, Nutzwertanalyse Weiterentwicklung, Grundfragen der Bewertung. In: Fürst, D. & F. Scholles [Eds.]: Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. Dortmund.
- STATISTISCHES JAHRBUCH FÜR DIE BRD (2007): Anbauflächen. Statistisches Bundesamt.
- WAGNER, P. & M. SCHNEIDER (2005): Aspekte der Wirtschaftlichkeit von Precision Farming. Arbeitspapier pre agro II, TP 3.
- WERNER, A., E. KETTNER, J. PAULY, E. REINING, R. ROTH, J. KÜHN, T. SELIGE, J. BOBERT, U. SCHMIDHALTER & J. HUFNAGEL (2002): Ertragspotential von Teilflächen innerhalb von Acker-schlägen als Schlüsselgröße für die Bestandesführung von precision agriculture. In: Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau. KTBL, Darmstadt. S. 193 – 196.
- WRONKA, T.C. (1998): Was ist der Preis für Umwelt? Möglichkeiten und Grenzen des kontingenten Bewertungsansatzes. Agribusiness-Forschung Nr.6. Institut für Agribusiness, Leipzig, 84 Seiten.

Literatur-Studien der indirekten Bewertung (siehe Anhang, Tabelle 3 und Anhang, Tabelle 4)

- ALVENSLEBEN, R. & K. SCHLEYERBACH (1994): Zahlungsbereitschaft Biotopvernetzung. In: Rommel, K. (1998): Methodik umweltökonomischer Bewertungsverfahren. Kosten und Nutzen des Biosphärenreservates Schorfheide-Chorin. Transfer Verlag, Regensburg.
- FUCHS, S., K. STEIN-BACHINGER, A. HELMECKE, J. BACHINGER, J. SCHULER & P. ZANDER (2006): How to establish and maintain viable populations of farmland birds on organic farms. Poster. Naturschutzhof Brodowin. fuchs@naturschutzhof.de.
- GÜTHLER, W. & R. OPPERMAN (2005): Agrarumweltprogramme und Vertragsnaturschutz weiter entwickeln. Treueprämie beim Wiesenbrüterschutz. Wiesenbrüterschutz in Schleswig Holstein Bundesamt für Naturschutz, Naturschutz und Biologische Vielfalt 13.
- HÜBLER (1991): Kosten der Realisierung eines Biotopverbundsystems nach Beeinträchtigung durch landwirtschaftliche Bodennutzung. In: Endres, A., J. Jarre, P. Klemmer & K. Zimmermann (1991): Der Nutzen des Umweltschutzes: Synthese der Ergebnisse des Forschungsschwerpunktprogramms „Kosten der Umweltverschmutzung/Nutzen des Umweltschutzes“. Forschungsbericht 10103150. BMU, Berlin.
- JUNG, M. (1996): Präferenzen und Zahlungsbereitschaft für eine verbesserte Umweltqualität im Agrarbereich. Zahlungsbereitschaft für Erhalt des Landschaftsbildes im Allgäu/Kraichgau. Europäische Hochschulschriften. Band 1995. Peter Lang Verlag, Frankfurt a.M.
- KARKOW, K. (2003): Wertschätzung von Besuchern der Erholungslandschaft Groß Zickern auf Rügen für naturschutzgerecht genutzte Äcker. Diplomarbeit. Uni Greifswald.
- KÄMMERER, S. (1995): Die Contingent-Valuation-Methode zur monetären Bewertung von Umweltqualität. 35. Jahrestagung der GEWISOLA (Vortrag). 15 Seiten.
- NOTTMEYER-LINDEN, K., S. MÜLLER, D. HORST & B. SCHWEPPE-KRAFT (2000): Neue Konzepte zur Kooperation von Naturschutz und Landwirtschaft. Tagungsbericht zum Abschluss der Voruntersuchung des Erprobungs- und Entwicklungsvorhabens "Warmenau". Zukunft des Vertragsnaturschutzes BfN-Skripten 31 beim Bundesamt für Naturschutz Bonn- Bad Godesberg. 132 Seiten.
- OPPERMAN, R. (2006): Landwirtschaft 2015. Perspektiven und Anforderungen aus Sicht des Naturschutzes. NABU.
- SCHNEIDER, M. & P. WAGNER (2005): Wirtschaftlichkeit des Precision Farming im Gesamtbetrieb. Zwischenbericht *pre agro* II, S. 277 – 288.
- STATISTISCHES JAHRBUCH FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN DER BRD (1995): Anbauflächen. Statistisches Bundesamt.
- STATISTISCHES JAHRBUCH FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN DER BRD (2000): Anbauflächen. Statistisches Bundesamt.
- STATISTISCHES JAHRBUCH FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN DER BRD (2005): Anbauflächen. Statistisches Bundesamt.
- STATISTISCHES BUNDESAMT DEUTSCHLAND (2006): Haushalte nach Haushaltsgrößen. Bevölkerung nach Gebietsstand. Betriebsgrößenstruktur landwirtschaftlicher Betriebe. Landwirtschaftlich genutzte Fläche nach Hauptnutzungsarten. <http://www.destatis.de> Aufruf: Oktober 2006.
- WINJE, D., H. HOMANN, H.-P. LÜHR & E. BÜTOW (1991): Der Einfluß der Gewässerverschmutzung auf die Kosten der Wasserversorgung in der BRD. Umweltbundesamt 2/91.

Anschrift der Autoren:**Dipl. Ing. agr. Isabella Karpinski**

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.

Institut für Sozioökonomie

Eberswalder Straße 84

15374 Müncheberg

Telefon: (033432) 82-209

Telefax: (033432) 82-308

E-Mail: karpinski@zalf.de**Prof. Dr. Klaus Müller**

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.

Institut für Sozioökonomie

Eberswalder Straße 84

15374 Müncheberg

Telefon: (033432) 82-333

Telefax: (033432) 82-308

E-Mail: kmuller@zalf.de

6.2.5 Anhang

Anhang, Tabelle 1: Expertenbewertung 2005-2006

Appendix, Table 1: experts evaluation 2005-2006

NQZ	Beschreibung NQZ/ potentielle Umweltwirkung des PF			Zielerreichungsgrad (ZEG)			
				mit PF		ohne PF	
				Wu231	Wu631	Wu231	Wu631
1	Erhaltung des bestehenden Humus- und Torfgehaltes in ursprünglich hydromorphen Böden			-	-	-	-
2	Minimierung der Bodenerosion			/	/	/	/
3	Schutz terrestrischer Biotope vor Nährstoffausträgen aus Ackerflächen			/	/	/	/
4	Schutz von Still- und Fließgewässern vor Nährstoffausträgen aus Ackerflächen			-	-	-	-
5	Minimierung der negativen Effekte von PSM* auf den Nutzflächen			-	-	-	-
6	Minimierung der negativen Effekte von PSM auf benachbarte Lebensräume und Landschaftsausschnitte			4	4	3	3
7	Erhalt und Wiederherstellung von standörtlichen Unterschieden und Gradienten auf Ackerflächen			2	4	1	2
8	Schutz von Amphibien auf Ackerflächen	8.1	in Wanderungszone	-	-	-	-
		8.2	an Rändern	-	-	-	-
9	Schutz von Säugetieren, die auf AF vorkommen			-	-	-	-
10	Erhalt der Nahrungshabitatfunktion von AF			2	3	1	2
11	Schutz von auf AF brütenden Vogelarten	11.1	an Rändern	-	-	-	-
		11.2	Fenster im Feld	2	3	2	3
12	Aufbau interner Biotop-Verbundsysteme auf Äckern			1	2	0	1
13	Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten**			0	3*	0	1*
14	Erhaltung und Förderung von Selbstregulationsprozessen auf AF durch Prädatoren und Parasitoide	14.1	an Rändern	2	3	1	1
		14.2	Lineare Zonen durch AF	2	3	1	1
		14.3	Zonen in AF	2	3	1	1
15	Erhaltung und Förderung blütenreicher Ackerbereiche	15.1	Zonen, von Wegen sichtbar (Rand, Kuppe in AF)	2	3	0	0
		15.2	Zonen in AF	2	3	0	0
TP 4	Feldlerche			4	4	2	3

Wie hoch ist die Erreichung der einzelnen NQZ/Maßnahme in TP 4, gewichtet über 5 Stufen von Zielerreichungsgraden (ZEG) auf Schlag 231, Schlag 631 und im Vergleich ohne PF?

Erläuterungen

Grundlage und Basis der Bewertung von Umweltzielen des Precision Farming ist der Katalog von prinzipiell umsetzbaren Zielen des Naturschutzes, die mittels Precision Farming verfolgt werden können nach Plachter et al. (2004, *pre agro* I, Kap. 3, Seite 163-195). Diese Naturschutzziele sind, wie im technischen Umweltschutz allgemein üblich, als Naturschutzqualitätsziele (NQZ) formuliert.

Im Anhang, Tabelle 3 finden sich in der linken Spalte die Nummer und eine kurze Beschreibung des NQZ, rechts davon die Experteneinschätzung.

Die Bewertung der Umweltwirkungen bzgl. eines Einsatzes von PF ist schlagspezifisch anhand der nach PLACHTER et al. aufgestellten NQZ vorgenommen worden. Zusätzlich wurde die zielgerichtete Maßnahme des TP 4, die Anlage von künstlichen Defektflächen in Wintergetreidekulturen als Lebensraum für z. B. Feldlerche auf dem Schlag Wu 631 anhand der ZEG bewertet. Die Bewertung der potentiellen Erreichbarkeit der NQZ nach Plachter et al. mit und ohne Einsatz von PF sowie der Maßnahme des TP 4 erfolgte für die Projektschläge Wu 231 und Wu 631 des Betriebes WIMEX anhand folgender Zielerreichungsgrade (ZEG). Es stellte sich also die Frage, wie hoch die Erreichung der einzelnen NQZ ist.

- 0 nicht erreicht, keine Wirkung
- 1 gering
- 2 mäßig
- 3 mittel
- 4 hoch
- 5 sehr hohe Erreichung des jeweiligen Naturschutzqualitätszieles
- / keine Aussage möglich

nicht relevant

Anhang, Tabelle 2: Katalog und Definition der Naturschutzqualitätsziele (NQZ) speziell auf Ackerflächen

Appendix, Table 2: Catalogue and definitions of nature conservation quality objectives (NQZ) for agricultural crop land

Teil 1: Abiotik/Umweltschutz

	Naturschutzqualitätsziele (NQZ)	Bewirtschaftungsmodus		Areale
1	Erhaltung des bestehenden Humus- und Torfgehaltes in ursprünglich hydromorphen Böden	BB*	Nur leichte BB bis max. 10 cm Tiefe. Erhalt des Standorttyp. Humusspiegels (C/N Verhältnis). Anhebung des Humusspiegels auf Nutzflächen, auf denen der Humusspiegel aktuell unter dem halben Standorttyp. Wert gefallen ist.	Anmoorige und Moorböden
2	Minimierung der Bodenerosion	BB	Keine wendende BB	Flächen mit Hangneigung >10 % auf gefährdeten Böden
3	Schutz terrestrischer Biotop vor Nährstoffausträgen aus Ackerflächen	Dg*	Reduktion N-Düngung auf 50 %	Grenzbereiche zu terrestrischen Biotopen: Je nach Austragungsrisiko (Geländeneigung, Bearbeitungsrichtung, Feldfrucht, Niederschlagssituation) 5-20 m
4	Schutz von Still- und Fließgewässern vor Nährstoffausträgen aus Ackerflächen	Dg	Reduktion N-Düngung auf 50 % Reduktion P-Düngung auf 50 %	Grenzbereiche zu Still- und Fließgewässern: Je nach Austragungsrisiko (Geländeneigung, Bearbeitungsrichtung, Feldfrucht, Niederschlagssituation) 5-20 m
5	Minimierung der negativen Effekte von PSM* auf den Nutzflächen	H*	Herbizideinsatz nur in spezifischen Arealen	Herde von Problemunkräutern, Bereiche hoher Verunkrautung (Überschreiten Schadensschwelle)
		I*	Insektizideinsatz nur in spezifischen Arealen	Bereich hohen Schadensbefalls (über Schadensschwelle)
6	Minimierung der negativen Effekte von PSM auf benachbarte Lebensräume und Landschaftsausschnitte	PSM	Kein Einsatz	Zone von 3 m von benachbarten Biotopen bei Windgeschwindigkeiten unter 1 m/s

Teil 2: Biotik/ Naturschutz

Naturschutzqualitätsziele (NQZ)		Bewirtschaftungsmodus		Areale	
7	Erhalt und Wiederherstellung von standörtlichen Unterschieden und Gradienten auf Ackerflächen	Dr*	Reduzierte Saatstärke	Ertragsschwache Standorte	
		Dg	Reduziert	Bodensaure Standorte	
		CaO*	Keine Kalkung		
8	Schutz von Amphibien auf Ackerflächen	8.1	Dg	Keine Anwendung von KAS*, oder anderen Amphibientoxischen Dg in der Zeit vom 15.2. -15.4.	Wanderungszonen: Ackerbereiche in der Luftlinienverbindung von Stillgewässern und Gehölzbereichen, sofern zw. Gewässer und Gehölz max. 300 m Abstand liegen
			CaO	Keine Kalkung zwischen 15.2.-15.4	
	8.2	PSM	Kein Einsatz	5 m Randzone an Stillgewässern	
		Dg	Keine N-Düngung		
9	Schutz von Säugetieren, die auf AF vorkommen	BB	Vermeidung BB Anfang bis Ende September (mind. 6 Wochen nach Getreideernte, regional unterschiedlich) oder Tiefe bis max. 25 cm	Bereiche mit bekannten Vorkommen des Hamsters	
10	Erhalt der Nahrungshabitatfunktion von AF (heckenbrütende Vogelarten: Goldammer, Neuntöter)	H	Reduktion 0-50 % der empfohlenen Menge	Parallel zu Hecken bis zu 50 m in der AF	
11	Schutz von auf AF brütenden Vogelarten (Feldlerche, Grauammer, Schafstelze)	11.1	PSM	Reduktion auf 0-50 % der empfohlenen Menge	Schläge <10 ha, Streifen von 5-20 m Breite entlang der Ränder
		11.2			Schläge > 10ha, Streifen von 5-20m Breite, Polygone, Fenster im Schlag
12	Aufbau interner Biotop-Verbundsysteme auf Äckern	PSM	Reduktion auf 0-50 % der empfohlenen Menge	Auf Schlägen >10 ha lineare Elemente von mind. 3 m Breite, möglichst an beiden Enden in räumlicher Nähe zu nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen	
Naturschutzqualitätsziele (NQZ)		Bewirtschaftungsmodus		Areale	
13	Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten	Dr	Reduktion der Saatstärke auf 10-50 %	sandige Standorte: Zonen mit (i) nutzbarer Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe) sehr gering – gering, daher nFK<140 mm und (ii) Bodenart Sand, lehmiger Sand, schluffiger Sand oder toniger Sand kalkhaltige Standorte: Zonen mit ph-Werten >7	
		H	Reduktion auf 50-0 % der empfohlenen Menge		
14	Erhaltung und Förderung von Selbstregulationsprozessen auf AF durch Prädatoren und Parasitoide	14.1	H+I	Reduktion auf 50-0 % der empfohlenen Menge	Randzonen von bis zu 50 m Breite an Gehölzbereichen (Hecken, Waldränder, Baumreihen)
		14.2			Lineare Zonen durch AF (wie schlaginterner Biotopverbund)

Naturschutzqualitätsziele (NQZ)		Bewirtschaftungsmodus		Areale	
		14.3		Kleinflächige Zonen (200-2000 m ²) innerhalb großer AF (>10 ha) mit mind. 50 m Randabstand	
15	Erhaltung und Förderung blütenreicher Ackerbereiche	15.1	H	Reduktion auf 0-25 % der empfohlenen Menge	Zonen, die von Wegen aus gut gesehen werden können (ästhetischer Ressourcenschutz, Erholungsnutzung)
		15.2			Zonen in 100-500 m Entfernung von blütenreichen Biotopen (Trittsteinbiotope für blütenbesuchende Insekten)
	Naturschutzqualitätsziele (NQZ)	Bewirtschaftungsmodus	Areale		
16	Schaffung von Habitatvoraussetzungen für Feldlerchen	zielgerichtete Anlage Defektflächen (kleinflächige Areale ohne Kulturpflanzenbestand)	intensiv bewirtschaftete homogene dichte Wintergetreidebestände		

*BB Bodenbearbeitung, Dg Düngung, I Insektizid, H Herbizid, Dr Drillen, CaO Kalk, KAS Kalkammonsalpeter (27 N, 4 MgO), Quelle: preagro I

Anhang, Tabelle 3: Indirekte Bewertung 2005-2006

Appendix, Table 3: Indirect quantification 2005-2006

	NQZ *	Beschreibung der Wirkung	weitere Beschreibung	Erläuterung	Studienwert			Mehrwert Precision Farming (ZEGt) Expertenbefragung 2005/2006 (auf Schlag 231, 631)	Berechnung	Quantifizierung für Nutzen-Kosten-Analyse			Quelle
					Art	Höhe Min	Höhe Max			Einheit	gew. Wert MIN*	gew. Wert MAX*	
Kosten - Indirekte Effekte													
Summe Kosten													
		Umweltwirkungen gesamt		keine Umweltkosten zu identifizieren und zu quantifizieren						€/ha	0,00	0,00	
Nutzen - indirekte Effekte													
Umweltwirkungen - Abiotik													
	1	Erhaltung des bestehenden Humus- und Torfgehaltes in ursprünglich hydromorphen Böden	Anmoorige- und Moorböden					nicht relevant			0,00	0,00	
	2	Minimierung der Bodenerosion/ Bodenschutz (on-farm)	keine wendende BB auf Flächen mit Hangneigung > 10 %	solche Flächen sind hier nicht anzutreffen, nicht relevant				keine Aussage			0,00	0,00	
	3	Schutz terrestr. Biotope vor Nährstoffausträgen aus AF	(Red. N-Dg auf 50 %)	nicht relevant, da Reduktion N-Dg nur 35,5 % online), 16,1 % (offline)				keine Aussage			0,00	0,00	Schneider & Wagner 2005b

				24,4 % (hybrid)										
	4	Schutz von Still- und Fließgewässern vor Nährstoffausträgen aus AF	Red. N-Dg auf 50 % und Red. P auf 50 %	hat nicht stattgefunden, nicht gemessen, keine Versuche				nicht relevant				0,00	0,00	
	5	Minimierung neg. Effekte von PSM (on farm) auf den Nutzflächen	Herbizid und Insektizideinsatz in spezifischen Arealen	Effekt kann aufgrund geringer Variationsbreite der Spritzmittelapplikation vernachlässigt werden. Konstant Fungizid - Sensor Fungizid				nicht relevant				0,00	0,00	Schneider & Wagner 2005b
	6	Minimierung neg. Effekte von PSM auf benachbarte Lebensräume und Landschaftsausschnitte (off farm)	kein Einsatz PSM an 3 m Rand von Biotop	Abschätzung Beseitigungskosten verschmutzter Gewässer zur öffentlichen Trinkwasserversorgung; zusätzliche Sanierungskosten bzgl. PSM: potentielle Belastung PSM	134,32 Mio. € (pro 17 Mio. ha LF 1991)		1,0		134,32 Mio. € / 17,0469 Mio. ha LF = 7,88 €/ha LF; 7,88/5x1= 1,58			1,58		WINJE et al. (1991), Stat. Jahrbuch 2005
														Honorierungshöhe der ökologischen Leistungen auf Ackerflächen: Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel
												Min gew.	Max gew.	
			Summe Nutzen Abiotik							€/ha		1,58	25,57	
Umweltwirkung - Biotik														

7	Erhalt der Kulturlandschaft	reduzierte Saatstärke, reduzierte Dg und keine Kalkung		CV: Zahlungsbereitschaft der Bevölkerung in bestimmten Regionen für Erhalt, oder Maßnahmen zum Erhalt der Kulturlandschaft	6,07 €/Jahr/Hh		1,5						JUNG (1996)	
						23,01 €/Jahr/Hh								KÄMMERER (1995)
			Umrechnung in €/ha	1996 = 37,281 Mio. Hh, 17,2427 Mio. ha LF 1995 = 36,938 Mio. Hh, 17,2469 Mio. ha LF	6,07 € Mio./Hh*3 7,281Mio. Hh = 226,23 Mio. € / 17,2427 Mio. ha = 13,1241 €/ha	23,01 €/Hh*36,938 Mio. Hh = 849,94 Mio. € / 17,2469 Mio. ha = 49,28 €/ha		siehe Umrechnung in €/ha	€/ha	3,94	14,78	stat. Bundesamt Deutschland (2006), Stat. Jahrbuch für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der BRD (2000, 2005))		
10	Erhalt der Nahrungshabitatfunktion von AF	Herbizide: Verzicht oder Reduktion auf 0-50 %	Parallel zu Hecken, Waldrand vorhanden	Honorierungshöhe der ökologischen Leistungen auf Ackerflächen: Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel		127,83 €/ha	1,0		$127,83/5 = x/1$; $x = 25,566 \text{ € /ha}$	€/ha	25,57	25,57	Nottmeyer-Linden et al. (2000)	
12	Aufbau interner Biotop-Verbundsysteme auf Äckern	PSM: Verzicht, oder Reduktion auf 0-50 %	lineare Elemente von mind. 3 m Breite, möglichst an Gehölzen, Brachen ...	Honorierungshöhe der ökologischen Leistungen auf Ackerflächen: Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel		127,83 €/ha	1,0		$127,83/5 = x/1$; $x=25,566 \text{ € /ha}$	€/ha			Nottmeyer-Linden et al. (2000)	
				Zahlungsbereitschaft Biotopvernetzung. Biotopvernetzung + Ausweisung 15 % der Landesfläche Schleswig-Holsteins als Naturschutzgebiet		12,78 €/Hh/ Jahr entspricht 326,73 €/ha		1994: 36,695 Mio. Hh, 17,2238 Mio. ha LF. 153,36 €/Hh* 36,695 Mio. Hh = 5627,5452 Mio. € / 17,2238 Mio. ha LF = 326,73 €/ha	€/ha		65,35	ALVENSLEBEN & SCHLEYER-BACH (1994), Stat. Bundesamt Deutschland (1995)		

					Kosten der Realisierung eines Biotopverbundsystems nach Beeinträchtigung durch landwirtschaftliche Bodennutzung	620,2 Mio. €/Jahr entspricht 36,38 €/ha			1991: 17,0469 Mio. ha LF. 620,2 Mio. €/17,0469 Mio. ha LF = 36,38 €/ha	€/ha	7,28		HÜBLER (1991), Stat. Jahrbuch für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der BRD 2005
13	Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten	Herbizide: Verzicht oder Reduktion auf 0-50 % , Reduktion Saatstärke auf 10-50 %			Honorierungshöhe der ökologischen Leistungen auf Ackerflächen: Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel		127,83 €/ha			€/ha			Nottmeyer-Linden et al. (2000).
					Zahlungsbereitschaft Rügen	3 €/Person entspricht 14,558 €/ha			2003: 82,532 Mio. Einwohner BRD, LF = 17,007968 Mio. ha. 3 €/Person* 82 Mio. E = 247,596 Mio. €/17,009 Mio. ha LF = 14,558 €/ha	€/ha	2,91		
					durchschnittliche Zahlungsbereitschaft Rügen		70,93 €/Person entspricht 344,19 €/ha	1,0	2003: 82,532 Mio. Einwohner BRD, LF = 17,007968 Mio. ha. 70,93 €/Person* 82 Mio. E = 5853,9 Mio. €/17,009 Mio. ha LF = 344,19 E/ha	€/ha		68,80	Karkow (2003), Stat. Bundesamt Deutschland 2006.
14	Erhaltung und Förderung von Selbstregulationsprozessen auf AF durch Prädatoren und Parasitoide	Herbizide + Insektizide: Verzicht oder Reduktion auf 0-50 %	Rand, lineare Zonen und kleinflächige Zonen im Acker	Honorierungshöhe der ökologischen Leistungen auf Ackerflächen: Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel		127,83 €/ha	1,5	127,83/5 = x/ 1,5 = 38,35 €/ha	€/ha	38,35	38,35	Nottmeyer-Linden et al. (2000)	

15	Erhaltung und Förderung blütenreicher Ackerbereiche	Herbizide: Verzicht oder Reduktion auf 0-25 %	Zahlungsbereitschaft Rügen	3 €/Person entspricht 14,558 €/ha		2,5	2003: 82,532 Mio. Einwohner BRD, LF = 17,007968 Mio. ha. 3 €/Person* 82 Mio. E = 247,596 Mio. €/17,009 Mio. ha LF = 14,558 €/ha	€/ha	7,28			
			durchschnittliche Zahlungsbereitschaft Rügen		70,93 €/Person entspricht 344,19 €/ha			2003: 82,532 Mio. Einwohner BRD, LF = 17,007968 Mio. ha. 70,93 €/Person*82 Mio. E = 5853,9 Mio. €/17,009 Mio. ha LF = 344,19 €/ha	€/ha		172,10	Karkow (2003), Stat. Bundesamt Deutschland 2006
			Honorierung der Landwirte, um auf einem Acker 10 % Blühstreifen einzurichten anstatt 100 % Getreideacker. Voraussetzung: 300 € Flächenprämie für Einhaltung Cross Compliance	1,8 Mrd. €/Jahr/ BRD entspricht 106,19 €/ha	3,2 Mrd. €/Jahr/ BRD entspricht 188,78 €/ha			2006: LF = 16,951 Mio. ha LF. 1,8 Mrd.. = 1800 Mio. 1800/16,951 = 106,19 €/ha. Max: 3200 / 16,951 = 188,78 €/ha	€/ha	53,10	94,39	Oppermann (2006), Stat. Bundesamt Deutschland 2006
16	Schutz von auf AF brütenden Vogelarten: Feldlerche	auf intensiv bew. Getreideflächen werden künstlich kleinflächige Defektareale für Feldvögel als Brut- und Nahrungshabitate angelegt	Prämie bei Wiesenbrütterschutz, Schleswig Holstein		25 €/ha	1,5		€/ha	7,50	7,50	Güthler und Opperman (2005)	
			Berechnung Bruttogewinn aus der Differenz für Standardfruchtfolge und optimierter Fruchtfolge, um die Vogel-dichte bei Feldlerchen von 3.8/100 auf 4.1/100 zu erhöhen		25 €/ha			€/ha	7,50	7,50	Fuchs et al. (2006)	
									Min gew.	Max gew.		

			Summe Nutzen Biotik						€/ha	92,82	392,44	
			Summe Nutzen indirekte Wirkungen									
			Umweltwirkungen Abiotik						€/ha	1,58	25,57	
			Umweltwirkungen Biotik						€/ha	92,82	392,44	
			Umweltwirkungen gesamt						€/ha	94,40	418,01	
		Nutzen gesamt							€/ha	94,40	418,01	
Gegenüberstellung indirekter Nutzen und Kosten												
			Summe Kosten indirekt									
			Umweltwirkungen gesamt						€/ha	0,00	0,00	
			Summe Nutzen indirekt									
			Umweltwirkungen gesamt						€/ha	94,40	418,01	
			Nettonutzen indirekt						€/ha	94,40	418,01	

*NQZ: Naturschutzqualitätsziele

Anhang, Tabelle 4: Indirekte Bewertung 2007

Appendix, Table 4: Indirect quantification 2007

	NQZ *	Beschreibung der Wirkung	weitere Beschreibung	Erläuterung	Studienwert			Mehrwert Precision Farming (ZEGt)	Berechnung	Quantifizierung für Nutzen-Kosten-Analyse			Quelle
					Art	Höhe Min	Höhe Max	Expertenbefragung 2007 (auf Schlag 221)		Einheit	gew. Wert MIN*	gew. Wert MAX*	
Kosten - Indirekte Effekte													
Summe Kosten													
		Umweltwirkungen gesamt		keine Umweltkosten zu identifizieren und zu quantifizieren						€/ha	0,00	0,00	
Nutzen - indirekte Effekte													
Umweltwirkungen - Abiotik													
	1	Erhaltung des bestehenden Humus- und Torfgehaltes in ursprünglich hydromorphen Böden	Anmoorige und Moorböden					nicht relevant			0,00	0,00	
	2	Minimierung der Bodenerosion/ Bodenschutz (on-farm)	keine wendende BB auf Flächen mit Hangneigung > 10 %	hier solche Flächen nicht anzutreffen, nicht relevant,				keine Aussage			0,00	0,00	
	3	Schutz terrestr. Biotope vor Nährstoffausträgen aus AF	Red. N-Dg auf 50 %	nicht relevant, da Reduktion N-Dg nur 35,5 % (online), 16,1 % (offline), 24,4 % (hybrid)				keine Aussage			0,00	0,00	Schneider & Wagner 2005b

	4	Schutz von Still- und Fließgewässern vor Nährstoffausträgen aus AF	Red. N-Dg auf 50 % und Red. P auf 50 %	hat nicht stattgefunden, nicht gemessen, keine Versuche				nicht relevant			0,00	0,00		
	5	Minimierung neg. Effekte von PSM (on farm) auf den Nutzflächen	Herbizid und Insektizideinsatz in spezifischen Arealen	Effekt kann aufgrund geringer Variationsbreite der Spritzmittelapplikation vernachlässigt werden. Konstant Fungizid - Sensor Fungizid	siehe NQZ 6	siehe NQZ 6		1,0						WINJE et al. (1991), Stat. Jahrbuch 2005
	6	Minimierung neg. Effekte von PSM auf benachbarte Lebensräume und Landschaftsausschnitte (off farm)	kein Einsatz PSM an 3 m Rand von Biotop	Abschätzung Beseitigungskosten verschmutzter Gewässer zur öffentlichen Trinkwasserversorgung; zusätzliche Sanierungskosten bzgl. PSM: potentielle Belastung PSM	134,32 Mio. € (pro 17 Mio. ha LF 1991)		0,5		134,32 Mio. €/17,0469 Mio. ha LF = 7,88 €/ha LF; 7,88/5 x 0,5 = 0,798		0,79			WINJE et al. (1991), Stat. Jahrbuch 2005
														Honorierungshöhe der ökologischen Leistungen auf Ackerflächen: Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel
											Min gew.	Max gew.		
			Summe Nutzen Abiotik							€/ha	2,36	38,35		
Umweltwirkung - Biotik														
	7	Erhalt der Kulturlandschaft	reduzierte Saatstärke, reduzierte Dg und keine Kalkung	CV: Zahlungsbereitschaft der Bevölkerung in bestimmten Regionen für Erhalt oder Maßnahmen zum Erhalt der Kulturlandschaft	6,07 €/Jahr/Hh		0,0			€/ha	0,00	0,00	0,00	JUNG (1996)
														23,01 €/Jahr/Hh

10	Erhalt der Nahrungshabitatfunktion von AF	Herbizide: Verzicht, oder Reduktion auf 0-50 %	Parallel zu Hecken, Waldrand vorhanden	Honorierungshöhe der ökologischen Leistungen auf Ackerflächen: Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel		127,83 €/ha	1,0	$127,83/5 = x/1$; $x = 25,566 \text{ € /ha}$	€/ha	25,57	25,57	Nottmeyer-Linden et al. (2000)
12	Aufbau interner Biotop-Verbundsysteme auf Äckern	PSM: Verzicht, oder Reduktion auf 0-50 %	lineare Elemente von mind. 3 m Breite, möglichst an Gehölzen, Brachen ...	Honorierungshöhe der ökologischen Leistungen auf Ackerflächen: Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel		127,83€/ha	0,5	$127,83/5 \times 0,5 = 12,78 \text{ €/ha}$	€/ha			Nottmeyer-Linden et al. (2000)
				Zahlungsbereitschaft Biotopvernetzung. Biotopvernetzung + Ausweisung 15 % der Landesfläche Schleswig-Holsteins als Naturschutzgebiet		12,78 €/Hh/Jahr entspricht 326,73 €/ha		1994: 36,695 Mio. Hh, 17,2238 Mio. ha LF. 153,36 €/Hh* 36,695 Mio. Hh = 5627,5452 Mio. €/17,2238 Mio. ha LF = 326,73 €/ha	€/ha	32,67	ALVENSLEBEN & SCHLEYER-BACH (1994), stat. Bundesamt Deutschland (1995)	
				Kosten der Realisierung eines Biotopverbundsystems nach Beeinträchtigung durch landwirtschaftliche Bodennutzung	620,2 Mio. €/Jahr entspricht 36,38 €/ha			1991: 17,0469 Mio. ha LF. 620,2 Mio. €/17,0469 Mio. ha LF = 36,38 €/ha	€/ha	3,68	HÜBLER (1991), Stat. Jahrbuch für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der BRD 2005	
13	Schutz gefährdeter Ackerwildkrautarten	Herbizide: Verzicht oder Reduktion auf 0-50 %, Reduktion Saatstärke auf 10-50 %		Honorierungshöhe der ökologischen Leistungen auf Ackerflächen: Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel		127,83 €/ha	0,0		€/ha	0,00	0,00	Nottmeyer-Linden et al. (2000)
				Zahlungsbereitschaft Rügen	3 € /Person			€/ha	0,00	0,00	Karkow (2003), Stat. Bundesamt Deutschland 2006	
				durchschnittliche Zahlungsbereitschaft Rügen		70,93 €/Person		€/ha	0,00	0,00		

14	Erhaltung und Förderung von Selbstregulationsprozessen auf AF durch Prädatoren und Parasitoide	Herbizide + Insektizide: Verzicht oder Reduktion auf 0-50 %	Rand, lineare Zonen und kleinflächige Zonen im Acker	Honorierungshöhe der ökologischen Leistungen auf Ackerflächen: Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel		127,83 €/ha	1,0	$127,83/5 = x1=25,57 \text{ €/ha}$	€/ha	25,57	25,57	Nottmeyer-Linden et al. (2000)
15	Erhaltung und Förderung blütenreicher Ackerbereiche	Herbizide: Verzicht, oder Reduktion auf 0-25 %		Zahlungsbereitschaft Rügen	3 €/Person entspricht 14,558 €/ha		1,0	2003: 82,532 Mio. Einwohner BRD, LF = 17,007968 Mio. ha. 3 €/Person* 82 Mio. E= 247,596 Mio. € / 17,009 Mio. ha LF = 14,558 €/ha	€/ha	2,91		Karkow (2003), Stat. Bundesamt Deutschland 2006.
				durchschnittliche Zahlungsbereitschaft Rügen		70,93 €/Person entspricht 344,19 €/ha		2003: 82,532 Mio. Einwohner BRD, LF = 17,007968 Mio. ha. 70,93 €/Person* 82 Mio. E = 5853,9 Mio. € / 17,009 Mio. ha LF = 344,19 €/ha	€/ha		68,84	
				Honorierung der Landwirte, um auf einem Acker 10 % Blühstreifen einzurichten anstatt 100 % Getreideacker. Voraussetzung 300 € Flächenprämie für Einhaltung Cross Compliance	1,8 Mrd. €/Jahr/ BRD entspricht 106,19 €/ha	3,2 Mrd. €/Jahr/BRD entspricht 188,78 €/ha		2006: LF = 16,951 Mio. ha LF. 1,8 Mrd. = 1800 Mio. 1800/16,951= 106,19 €/ha. Max: 3200 / 16,951 =188,78 €/ha	€/ha	21,24	37,76	
16	Schutz von auf AF brütenden Vogelarten: Feldlerche	auf intensiv bew. Getreideflächen werden		Prämie bei Wiesenbrüterschutz, Schleswig-Holstein		25 €/ha	2,0		€/ha	10,00	10,00	Güthler und Oppermann (2005)

Anhang, Tabelle 5: Sensitivität der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming, hoch***

Appendix, Table 5: Sensitivity of the cost-benefit-analysis of precision farming, high***

		hoch						
		2005		2006		2007		Mittelwert**
		Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Sensor*)	Max (Karte*)	
Nutzen	Gesamtnutzen direkt in €/ha	8,50	17,00	-117,00	0,65	5,15	-70,20	
	Gesamtnutzen indirekt in €/ha	47,21	209,01	47,21	209,01	35,05	100,50	
	Summe Nutzen in €/ha	55,71	226,01	-69,79	209,66	40,20	30,30	82,01
Kosten	Gesamtkosten direkt in €/ha	44,90	53,30	44,90	55,30	44,90	55,30	
	Gesamtkosten indirekt in €/ha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Summe Kosten in €/ha	44,90	53,30	44,90	55,30	44,90	55,30	49,77
	Nettonutzen Precision Farming in €/ha (Nettowert)	10,81	172,71	-114,69	154,36	-4,70	-25,00	32,25
	Verhältniskriterium (Nutzen/Kosten)	1,24	4,24	-1,55	3,79	0,90	0,55	1,53

*Precision Farming-Strategie, ** über 3 Jahre mal 2 Varianten, ***Sensitivität wird geprüft über Verdopplung der Kosten und Halbierung des positiven Nutzens und Verdopplung des negativen Nutzens!

Anhang, Tabelle 6: Sensitivität der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming, mittel***

Appendix, Table 6: Sensitivity of the cost-benefit-analysis of precision farming, middle***

	mittel						Mittelwert**
	2005		2006		2007		
	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Sensor*)	Max (Karte*)	
Gesamtnutzen direkt in €/ha	8,50	17,00	-117,00	0,65	5,15	-70,20	
Gesamtnutzen indirekt in €/ha	47,21	209,01	47,21	209,01	35,05	100,50	
Summe Nutzen in €/ha	55,71	226,01	-69,79	209,66	40,20	30,30	82,01
Gesamtkosten direkt in €/ha	22,45	26,65	22,45	26,65	22,45	26,65	
Gesamtkosten indirekt in €/ha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Summe Kosten in €/ha	22,45	26,65	22,45	26,65	22,45	26,65	24,55
Nettonutzen Precision Farming in €/ha (Nettowert)	33,26	199,36	-92,24	183,01	17,75	3,65	57,46
Verhältniskriterium (Nutzen/Kosten)	2,48	8,48	-3,11	7,87	1,79	1,14	3,11

*Precision Farming-Strategie, ** über 3 Jahre mal 2 Varianten, ***Sensitivität wird geprüft über Verfünfachung der Kosten und Halbierung des positiven Nutzens und Verdopplung des negativen Nutzens.

Anhang, Tabelle 7: Sensitivität der Nutzen-Kosten-Analyse des Precision Farming, gering***

Appendix, Table 7: Sensitivity of the cost-benefit-analysis of precision farming, low***

	gering						Mittelwert**
	2005		2006		2007		
	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Karte*)	Max (Sensor*)	Min (Sensor*)	Max (Karte*)	
Gesamtnutzen direkt in €/ha	8,50	17,00	-117,00	0,65	5,15	-70,20	
Gesamtnutzen indirekt in €/ha	47,21	209,01	47,21	209,01	35,05	100,50	
Summe Nutzen in €/ha	55,71	226,01	-69,79	209,66	40,20	30,30	82,01
Gesamtkosten direkt in €/ha	8,98	10,66	8,98	10,66	8,98	10,66	
Gesamtkosten indirekt in €/ha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Summe Kosten in €/ha	8,98	10,66	8,98	10,66	8,98	10,66	9,82
Nettonutzen Precision Farming in €/ha (Nettowert)	46,73	215,35	-78,77	199,00	31,22	19,64	72,19
Verhältniskriterium (Nutzen/Kosten)	6,20	21,20	-7,77	19,67	4,48	2,84	7,77

*Precision Farming-Strategie, ** über 3 Jahre mal 2 Varianten, ***Sensitivität wird geprüft über Verzehnfachung der Kosten und Halbierung des positiven Nutzens und Verdopplung des negativen Nutzens.

6.3 Naturschutzfachliche Bedeutung des Precision Farming im Landschaftskontext

Meaning of Precision Farming with respect to the landscape concerning nature conservation

Susanne Jörns, Gert Berger & Ilse Wolf

Zusammenfassung

Das Teilprojekt 4 untersuchte hinsichtlich der Bedeutung des Precision Farming für den Naturschutz zwei Fragestellungen.

Zum einen sollte geprüft werden, welche naturschutzfachlichen Auswirkungen die betriebsübliche pflanzenbaulich und ökonomisch optimierte Teilflächenbewirtschaftung auf Indikatororganismen aus den Gruppen der Carabidae und Segetalvegetation haben. Ein weiterer Schwerpunkt bestand in der gezielten Anpassung und Nutzung der aktuellen Precision Farming Technologien zur Erhaltung bzw. zum Schutz der Biodiversität auf intensiv genutzten Agrarflächen.

Auf standörtlich heterogenen Ackerflächen mit betriebsüblicher Bewirtschaftung wurde ein Monitoring der Carabidae und Segetalvegetation bei beiden Projektbetrieben durchgeführt. Dabei wurden jeweils eine einheitlich und eine hinsichtlich Aussaat und/oder Stickstoff-Düngung teilflächenspezifisch differenziert bewirtschaftete Ackerfläche miteinander verglichen. Die Teilflächenbewirtschaftung auf den standörtlich heterogenen Ackerflächen hatte keine statistisch eindeutig nachweisbaren Wirkungen auf die Gruppe der Carabidae und die Segetalvegetation. Die Analysen ergaben, dass eher die standörtlichen Unterschiede als die geringe Variation in Aussaat und Düngung zwischen den untersuchten Teilflächen die Artenzusammensetzung und -verteilung auf den Ackerflächen beeinflussen.

Hinsichtlich der Aufwertung von homogenen dichten Wintergetreideflächen als Lebensraum für Feldvögel wie die Feldlerche, wurden jeweils auf einer Hälfte des Ackerschlag systematisch verteilt kleinflächige Areale (18 – 180 m²) während der Aussaat ausgelassen. Diese sogenannten Defektflächen sollten als Brut- und Nahrungshabitate dienen. Unter den auf den untersuchten Ackerflächen gegebenen Bedingungen hinsichtlich des Kulturpflanzenbestandes konnte keine positive Wirkung der Teilfläche mit Defektflächen gegenüber der Referenzfläche ohne Defektflächen ermittelt werden. Als Ursachen werden vor allem die für Feldlerchen bereits günstigen Habitatvoraussetzungen durch die niedrigere Bestandesdichte sowie die bewirtschaftungsbedingt teilweise sehr breiten Fahrspuren angenommen. Die aus den Untersuchungen abgeleiteten Trends sowie Ergebnisse aus Voruntersuchungen stützen jedoch die Hypothese, dass der gezielte Einsatz und Nutzen der Precision Farming Technologie ein hohes Potenzial für den Naturschutz bietet und weiterer Forschungs- und Entwicklungsarbeit bedarf.

Summary

In the subproject 4 we investigated the importance of precision farming for nature conservation, with regard to two major research topics.

The first was to analyse and evaluate a precision farming approach from the view of enhancing biodiversity of agricultural landscapes.

The second main focus was to develop new applications of precision farming approaches aimed on biodiversity conservation.

On conventionally (not with Precision Agriculture) cultivated fields, which were heterogeneous in site conditions, we conducted a monitoring of ground beetles (Carabidae) and segetal vegetation. At the two farms of the project comparisons were made between a field with homogeneously cultivation and a field with differences in sowing density and/or amount of nitrogen fertilizers applied. The results showed, that the variable rate technology on heterogeneous fields made no impact on ground beetles and segetal vegetation, which was clearly statistical detectable. The spatial site variability had a more distinct effect on the species diversity and composition on subfields than small variations of sowing and nitrogen fertilization.

For improving large winter wheat fields with homogenous and dense crop vegetation as habitat for farmland birds like skylark, we established "skylark plots" (18 – 180 m²), where no wheat was sown. From 2005 to 2007 we compared fields both with and without skylark plots at the WIMEX farm close to Wulfen (Sachsen Anhalt). On one half of a winter wheat field (65 – 120 ha) we established 24 – 28 "skylark plots" per year. The other half was left without plots. These plots serve as breeding and feeding habitat for the skylark. However, under the given conditions no positive effects of the subfields including skylark plots could be detected. Causes may be the already favourable local characteristics for skylarks on the investigated fields, determined by low vegetation soil cover and the partly wide tramlines. But, all observations and studies support the hypothesis that the targeted use of precision farming technologies provides a high potential for nature conservation and must be object of further research and development.

6.3.1 Einleitung und Problemstellung

Moderne Pflanzenproduktion steht unter erheblicher gesellschaftlicher Kritik für den Verlust der Biodiversität von Agrarlandschaften verantwortlich zu sein. Teilflächenspezifische Bewirtschaftung als eine Form zukunftsfähiger Landbewirtschaftung wird ein erhebliches Potenzial zur Verbesserung der ökologischen Bedingungen in Agrarlandschaften zugesprochen (WERNER et al. 2005). Während bezüglich abiotischer Umweltgüter eine Reihe von wissenschaftlichen Belegen für die Bedeutung der Teilflächenbewirtschaftung erbracht worden sind, gibt es für den Schutz der Biodiversität mittels Präzisionslandwirtschaft lediglich erste Ansätze. Es fehlen grundlegende Kenntnisse zur Wirkung der Teilflächenbewirtschaftung auf die Lebensgemeinschaften der Agrarräume sowie praxisnahe Konzepte zur naturschutzfachlichen Ausrichtung einer teilflächenspezifischen Pflanzenproduktion.

Das Teilprojekt 4 bearbeitete im Wesentlichen zwei Forschungsschwerpunkte.

1. Nachweis der naturschutzfachlichen Wirkung einer aus pflanzenbaulicher und ökonomischer Sicht optimierten Teilflächenbewirtschaftung:

Die Arbeiten dieses Schwerpunktes waren darauf ausgerichtet, geeignete Indikatoren zu untersuchen, um eine naturschutzfachliche Bewertung der pflanzenbaulichen Bewirtschaftungsmaßnahmen, wie z. B. der teilflächenspezifischen Stickstoff-Düngung oder Aussaat vornehmen zu können.

Als Indikatoren wurden die epigäischen Raubarthropoden (Laufkäfer) sowie die Segetalvegetation ausgewählt. Über diese beiden gut erfassbaren Organismengruppen sind umfangreiche Kenntnisse zur Verbreitung, Ökologie, Gefährdung und Habitatbindung vorhanden.

2. Gezielte Anpassung bzw. Nutzung von Teilflächenbewirtschaftung für Aspekte des Biodiversitätsschutzes:

Unabhängig von den Ansprüchen der landwirtschaftlichen Produktion wurden in diesem Schwerpunkt die Möglichkeiten einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung für die Verbesserung der biotischen Situation in Agrarlandschaften ermittelt und gezielt eingesetzt.

Auf intensiv bewirtschafteten homogenen, dichten Getreidefeldern bestehen ungünstige Habitatbedingungen für bodenbrütende Feldvögel. Während der teilflächenspezifischen Aussaat wurden zielgerichtet kleine Areale ausgespart, um bessere Voraussetzungen für Brut- sowie Nahrungshabitats für z. B. die Feldlerche zu schaffen.

6.3.2 Naturschutzfachliche Bewertung von Precision Farming

6.3.2.1 Material und Methoden

Im ersten Projektjahr 2005 führte das Teilprojekt ein begleitendes Monitoring der pflanzenbaulichen Feldversuche des Teilprojektes 9 durch. Die Ergebnisse sind im *pre agro*-Zwischenbericht 2005 (JÖRNS & BERGER 2006) dargestellt.

In den Versuchsjahren 2006 und 2007 erfolgte ein Monitoring standörtlich heterogener Ackerflächen mit betriebsüblicher Bewirtschaftung auf dem Projektbetrieb WIMEX. Je Untersuchungsjahr wurde eine Ackerfläche einheitlich, eine weitere teilflächenspezifisch differenziert bewirtschaftet. Die teilflächenspezifische Bewirtschaftung erfolgte hinsichtlich Aussaat und Stickstoff-Düngung.

Als Indikatoren wurden die Laufkäferfauna sowie die Segetalvegetation hinsichtlich ihrer Artenzusammensetzung und -abundanz untersucht.

Die untersuchten Ackerflächen waren zwischen 24 und 54 ha groß und lagen in der Region Wulfen/Köthen. Weitere Standort- und Bewirtschaftungsparameter der Ackerflächen sind im Anhang, Tabelle 16 und Anhang, Tabelle 17, aufgelistet.

Zur Erfassung der epigäischen Raubarthropodenfauna wurden je Untersuchungsschlag 27 Bodenfallen nach BARBER (1931) von April bis Juli gestellt. Als Fangflüssigkeit diente 4%ige Formaldehyd-Lösung. Die Fallen wurden 14-täglich geleert. Die Verteilung der Barberfallen erfolgte hauptsächlich nach standörtlichen Bedingungen. Neben Standortdaten aus der Reichsbodenschätzung richtete sich die Verteilung der Fallen vor allem nach den betriebseigenen Ertragszonen¹⁷. Je Ertragszone (1 = höchster Ertrag, 2 = mittlerer, 3 = geringster Ertrag) wurden 3 Wiederholungen mit jeweils 3 Fallen im Abstand von 10 m gestellt (Abbildung 166). Die Entfernung zum Feldrand betrug mindestens 50 m. Zur Bestimmung und Nomenklatur der Arthropoden wurde MÜLLER-MOTZFELD (2006) verwendet.

Die Segetalvegetation wurde an neun Aufnahmepunkten je Versuchsfläche nahe den Barberfallenstandorten nach der Schätzskala von LONDO (1975) erfasst. Zu jeder Vegetationsaufnahme wurde ebenfalls die Gesamtdeckung der lebenden Phytomasse, der Kulturpflanzen sowie der Segetalvegetation notiert. Als einheitliche Flächengröße für die Vegetationsaufnahmen wurde ein Quadrat von 5 x 5 m (25 m²) gewählt. Die Bestimmung der Segetalvegetation erfolgte nach ROTHMALER (2002), die Nomenklatur richtete sich nach WISSKIRCHEN & HAEUPLER (1998). Die Position der Vegetationsaufnahmen ist in Abbildung 166 dargestellt.

¹⁷ Ertragszonen nach 3-Zonen-Applikationskarte (Ertragsersparungszone) des Betriebes WIMEX, ausgewiesen von der AGROSAT GmbH (DOHMEN et al. 2002)

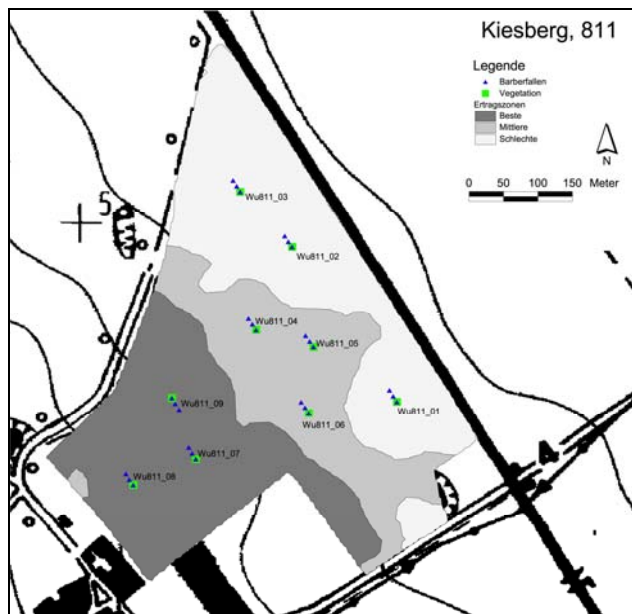


Abbildung 166: Verteilung der Barberfallen- und Vegetationsaufnahmestandorte

Figure 166: Distribution of sample plots (pitfall-traps and vegetation surveys)

Tabelle 68: Untersuchungsperioden und -termine der Laufkäfer- und Spinnenfauna sowie der Segetalvegetation

Table 68: Periods and dates of investigations

Jahr year	Stellzeitraum Barberfallen date pitfall-traps	Vegetationsaufnahmen vegetation survey	
		Frühjahr spring	Sommer summer
2006	04.05. – 25.07.	09.05. – 12.05.	29.06.
2007	18.04. – 11.07.	09.05.	04.07. – 05.07.

Statistische Auswertung

Zur statistischen Auswertung der Laufkäferfauna wurden Einzelfunde, d. h. Arten, die in einer Untersuchungsperiode mit nur einem Individuum auftraten, nicht berücksichtigt. Diese Arten wurden im Vorfeld der Analysen aus den Datensätzen ausgeschlossen.

Zur weiteren Analyse wurden die Daten transformiert ($\log_{10}(\text{variable}+1)$).

Die Datensätze wurden auf Normalverteilung und Homogenität der Varianzen geprüft. Ein Vergleich der Stichproben erfolgte bei Normalverteilung der Daten mittels t-Test für unabhängige Stichproben oder einfaktorieller Anova. Wenn keine Normalverteilung und/oder Homogenität der Varianzen vorlag, wurden die nicht-parametrischen Tests Mann-Whitney-U-Test oder Kolmogorov-Smirnov-Test genutzt.

Zur Darstellung der Verteilung und Klassifizierung des Artenspektrums wurde die Dominanz aller Arten berechnet. Dabei entspricht die Dominanz einer Art dem relativen Anteil der Individuen der jeweiligen Art an der gesamten Individuenzahl der entsprechenden Stichprobe. Des Weiteren erfolgte eine Einordnung der Arten in Dominanzklassen (ENGELMANN 1978).

Zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Laufkäferfauna, Standortparametern und Bewirtschaftungsmaßnahmen wurden zwei Ordinationsmethoden eingesetzt. Die Detrended Correspondence

Analysis (DCA) ist eine unimodale Methode der indirekten Ordinationstechniken. Die Umweltparameter aus Standort und Bewirtschaftungsmaßnahmen werden hier nicht mit in die Analyse einbezogen. Bei der DCA wird eine theoretische Umweltvariable erzeugt, die die Varianz der Arten im Datensatz am besten erklärt (JONGMAN et al. 2002). Die direkte Ordinationsmethode Canonical Correspondence Analysis (CCA) wurde zur Analyse der Beziehung zwischen der Artenverbreitung und des Spektrums von Umweltfaktoren und -gradienten genutzt (KENT & COKER 2000). Die Signifikanz des Arten-Umweltvariablen-Zusammenhangs wurde mit dem Monte Carlo-Permutationstest geprüft (TER BRAAK & SMILAUER 1998).

Die Variablen¹⁸ BDges 1, BDges 2 und BDges MW wurden nicht in die Analyse einbezogen, da sie den gleichen Informationsgehalt wie der Parameter LAI enthalten und damit redundant und/oder autokorreliert sind. Des Weiteren blieb auch der Parameter Ertragszone als Variable ausgeschlossen, da die Kategorien der Ertragszonen keine einheitliche Qualität beinhalten.

Die Vegetationsdaten wurden zur Berechnung mit multivariaten Analysemethoden transformiert. Dabei erfolgte die Umwandlung der Deckungsgrade der Abundanzskala in mittlere Deckungsprozentage bzw. in eine Ordinalskala.

Die Analyse der Beziehungen zwischen Vegetation, Standortparametern und Bewirtschaftungsmaßnahmen erfolgte ebenfalls mit den Ordinationsmethoden Detrended Correspondence Analysis (DCA) und Canonical Correspondence Analysis (CCA).

Die Beurteilung der Gefährdung der auf den Untersuchungsflächen erfassten Laufkäferfauna erfolgte nach den Roten Listen für Sachsen-Anhalt (SCHNITTER et al. 2004) und Deutschland (TRAUTNER et al. 1998).

6.3.2.2 Ergebnisse Carabidae

6.3.2.2.1 Arten- und Individuenbestand Carabidae

In den beiden Versuchsjahren 2006 und 2007 wurden auf 4 Ackerflächen jeweils zwischen 33 und 61 Arten mit zwischen 2.470 und 11.704 Individuen je Fangperiode (April bis Juli) erfasst (Tabelle 69).

Tabelle 69: Anzahl Arten und Individuen je Ackerfläche und Jahr

Table 69: Number of species and individuals per arable field and year

Jahr year	Schlag-nummer field number	Schlagname field name	Arten species	Individuen individuals	Bewirtschaftung Cultivation ¹⁹	
2006	2006_0	Kiesberg (811)	35	7.117	einheitlich	H
	2006_1	Mausewinkel (821)	33	4.795	teilflächenspezifisch differenziert in Aussaat und N-Düngung	S
2007	2007_0	Zuchauer Straße (721)	61	2.470	einheitlich	H
	2007_1	Paschlebener Feld (441)	42	11.704	teilflächenspezifisch differenziert in N-Düngung	S

¹⁸ Umweltvariablen: BDges 1: Bodendeckung Kulturpflanzen und Ackerwildkräuter [%] im Frühjahr; BDges 2: Bodendeckung Kulturpflanzen und Ackerwildkräuter [%] im Frühsommer; BDges MW: Bodendeckung Kulturpflanzen und Ackerwildkräuter [%], MW aus Frühjahr- und Frühsommernaufnahmen; Zone: ausgewiesene Ertragszone des Betriebes WIMEX (1-3 oder 1-5)

¹⁹ H = einheitlich/ homogeneous; S = teilflächenspezifisch differenziert/ site specific

Die Gesamtartenlisten sind in Kapitel 6.3.4 (Anhang, Tabelle 8 bis Anhang, Tabelle 11) aufgelistet.

Hinsichtlich der Anzahl der Arten je Untersuchungszeitraum konnten zwischen den Ackerflächen 2006 keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden. 2007 hingegen zeigten sich hoch signifikante Unterschiede in der Anzahl der Arten zwischen den beiden einheitlich und differenziert bewirtschafteten Versuchsschlägen (Abbildung 167).

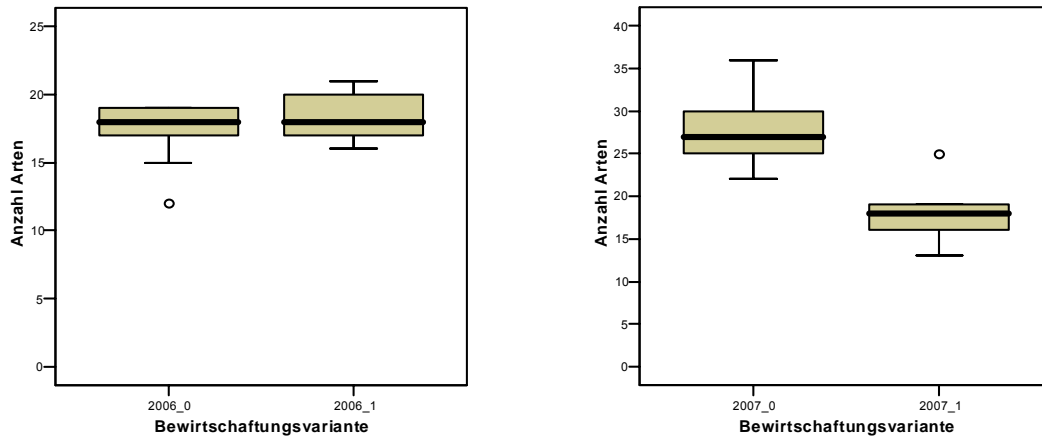
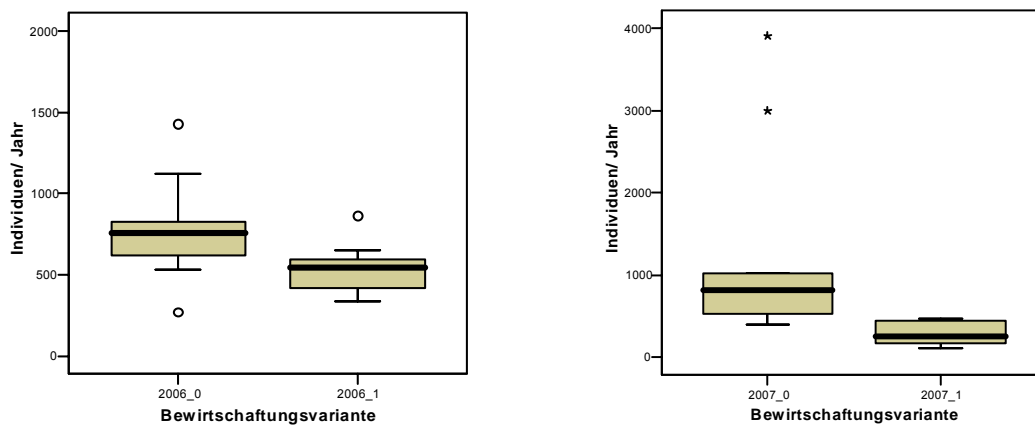


Abbildung 167: Anzahl Arten je Bewirtschaftungsvariante und Jahr (2006_1, 2007_0, 2007_1 = normalverteilt; 2006: $p = 0,699 > 0,05$; 2007: $p = 0,000 < 0,001$ ***)

Figure 167: Number of species in the two management types and years (2006_1, 2007_0, 2007_1 = normally distributed; 2006: $p = 0,699 > 0,05$; 2007: $p = 0,000 < 0,001$ ***)



2006: $p = 0,054 > 0,05$

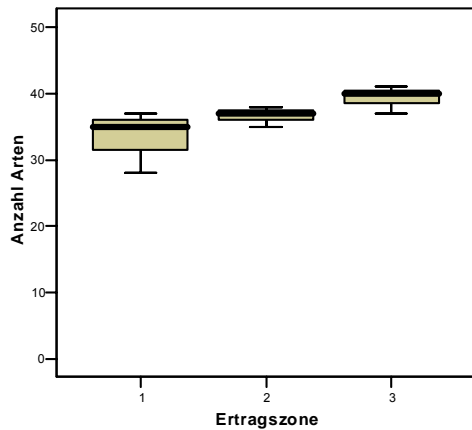
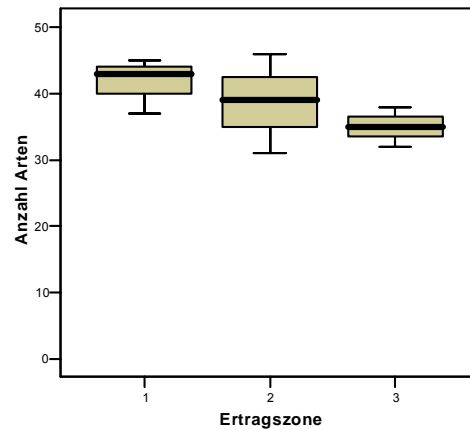
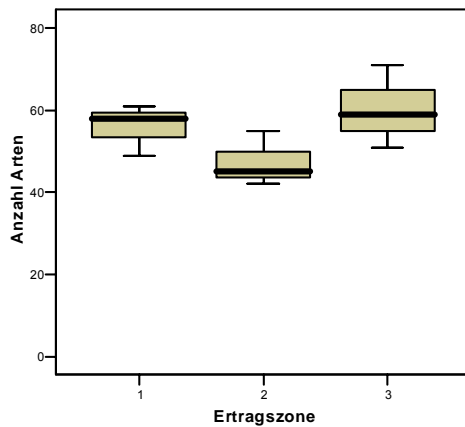
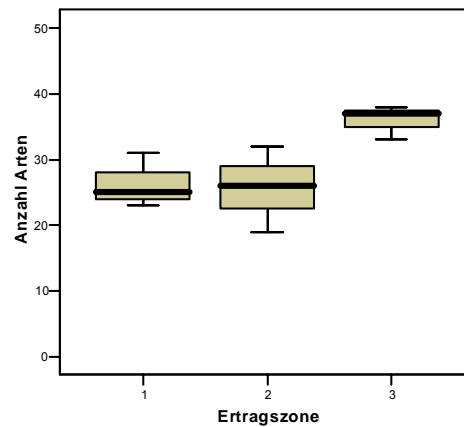
2007: $p = 0,009 < 0,01$ **

Abbildung 168: Anzahl Individuen je Bewirtschaftungsvariante und Jahr (2006_0, 2006_1, 2007_1 = normalverteilt)

Figure 168: Number of species in the two management types and years (2006_0, 2006_1, 2007_1 = normally distributed)

Betrachtet man die Anzahl der erfassten Individuen je Fangzeitraum zeigt sich 2006 kein signifikanter Unterschied zwischen den Ackerflächen. 2007 waren die Ackerflächen hinsichtlich ihrer Individuenzahl signifikant verschieden.

Auch innerhalb der untersuchten Ackerflächen wurde eine unterschiedliche Verteilung der Arten und ihrer Häufigkeit ermittelt. Die in Abbildung 169 und Abbildung 170 dargestellten Diagramme zeigen die Anzahl der Arten bzw. Individuen je Ertragszone für die beiden Versuchsjahre und die jeweils einheitlich bzw. differenziert bewirtschafteten Ackerflächen.

2006_0
 $F(2,6) = 2,805; p = 0,138$
**2006_1**
 $F(2,6) = 1,214; p = 0,361$
**2007_0**
 $F(2,6) = 2,112; p = 0,202$
**2007_1**
 $F(2,6) = 4,515; p = 0,064$
**Ertragszonen/ yield zone**

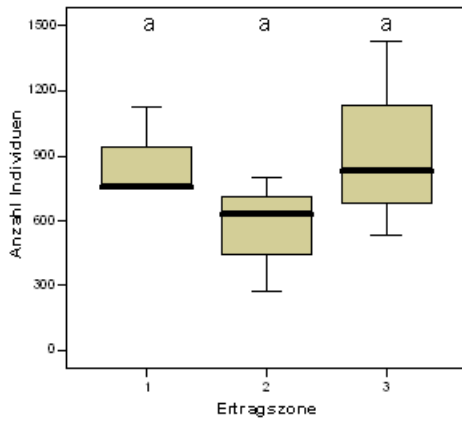
1 = höchster Ertrag/ highest yield ; 2 = mittlerer Ertrag/ mean yield ;

3 = geringster Ertrag/ lowest yield

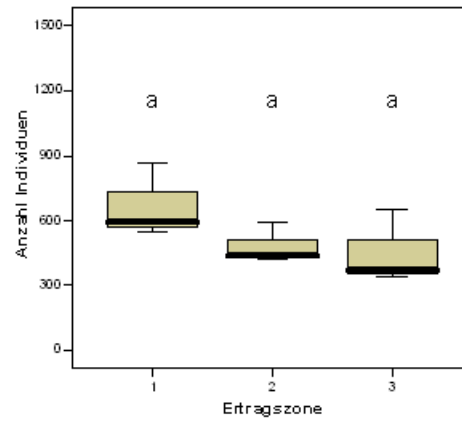
Abbildung 169: Anzahl Arten je Ertragszone und Jahr (Oneway ANOVA, ° = Normalverteilung)

Figure 169: Number of species in areas of different yields per year (Oneway ANOVA, ° = normal distribution)

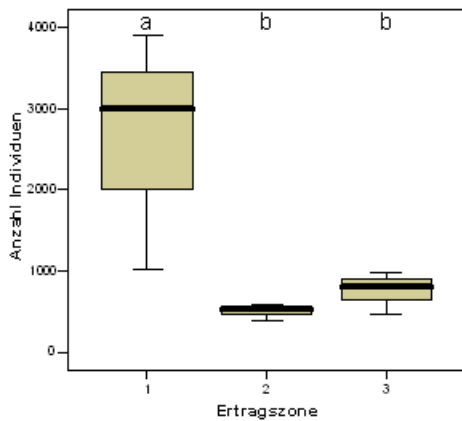
2006_0



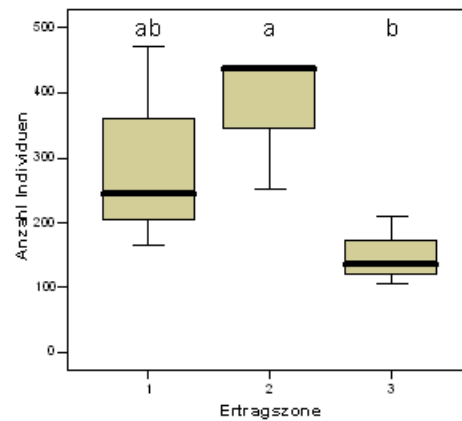
2006_1



2007_0



2007_1



Ertragszonen/ yield zone

- 1 = höchster Ertrag/ highest yield ; 2 = mittlerer Ertrag/ mean yield ;
- 3 = geringster Ertrag/ lowest yield

Abbildung 170: Anzahl Individuen je Ertragszone und Jahr (Mann-Whitney-U-Test)

Figure 170: Number of individuals in areas of different yields per year (Mann-Whitney U test)

Das Artenspektrum auf allen vier untersuchten Ackerflächen setzt sich aus einigen wenigen Hauptarten und wenigen Begleitarten, die mit mehr als 1 % Dominanz vorkommen, zusammen. Dabei sind die Artenspektren ähnlich, d. h. es traten nahezu die gleichen Arten auf.

Die nach ENGELMANN (1978) als eudominant und dominant klassifizierten Arten sind auf allen Flächen *Poecilus cupreus* und *Pterostichus melanarius* (Abbildung 171 bis Abbildung 174). Lediglich auf der einheitlich bewirtschafteten Ackerfläche 2006 (2006_0) trat *Carabus auratus* als dominante Art auf (Abbildung 171). Mit einer Dominanz von mehr als 1 % traten 2006 auf beiden Ackerflächen sieben Arten, 2007 auf der einheitlich bewirtschafteten neun Arten und auf der differenziert bewirtschafteten fünf Arten auf.

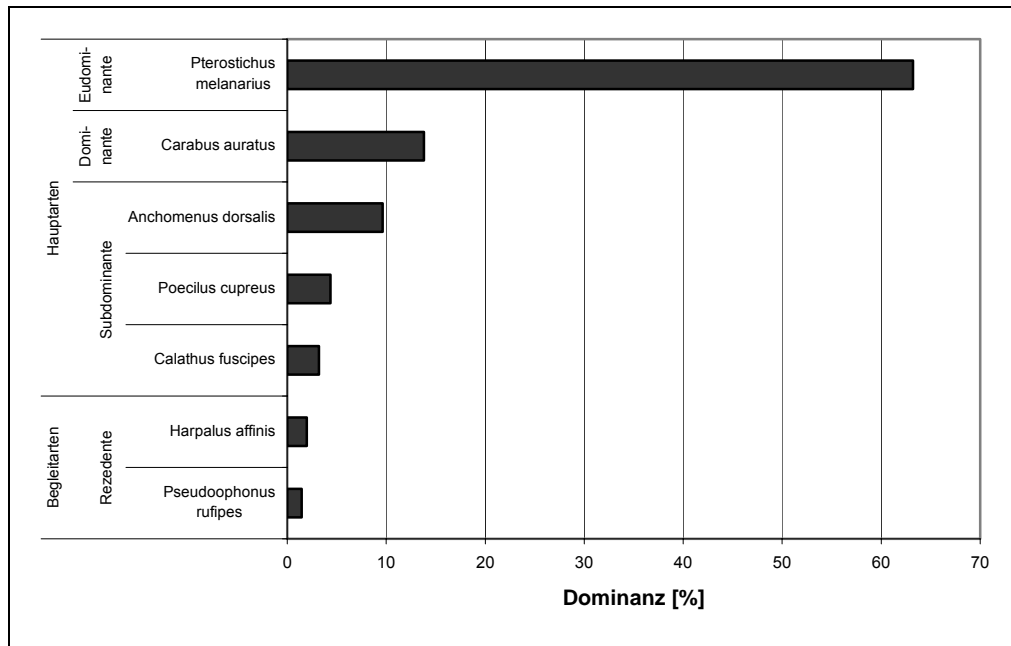


Abbildung 171: Artenspektrum mit Dominanz [%] der einheitlich bewirtschafteten Ackerfläche 2006 (2006_0; Arten mit Dominanz > 1 %, Klassifikation nach ENGELMANN 1978)

Figure 171: Dominance of species [%] on uniformly farmed field 2006 (2006_0; species with dominance > 1 %, classification according to ENGELMANN 1978)

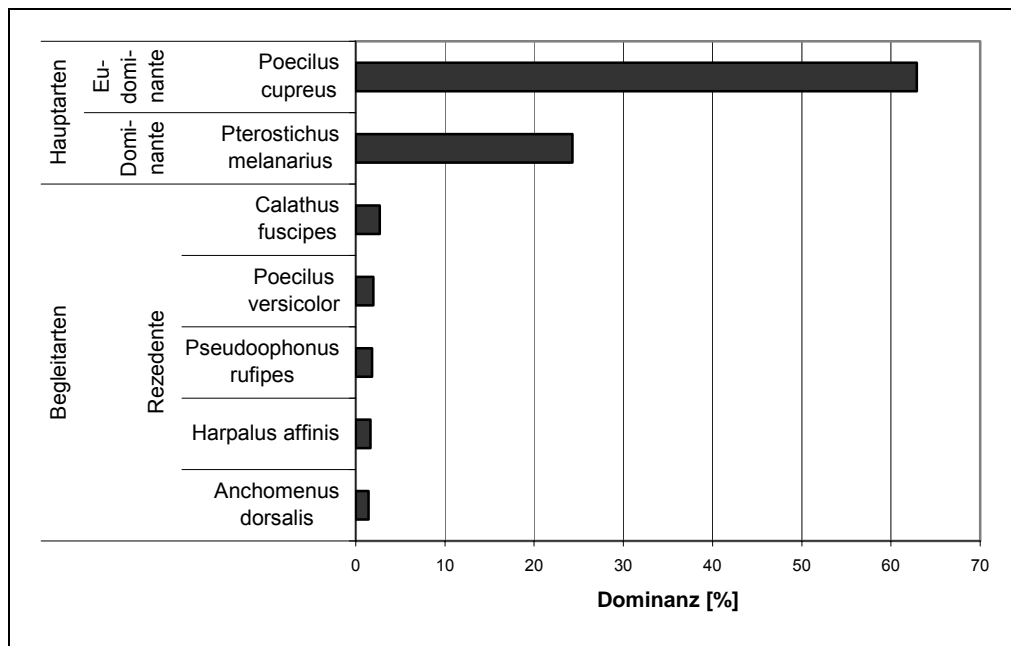


Abbildung 172: Artenspektrum mit Dominanz [%] der teilflächenspezifisch differenziert bewirtschafteten Ackerfläche 2006 (2006_1; Arten > 1 % Dominanz, Klassifikation nach ENGELMANN 1978)

Figure 172: Dominance of species [%] on site specific variable farmed field 2006 (2006_1; species with dominance > 1 %, classification according to ENGELMANN 1978)

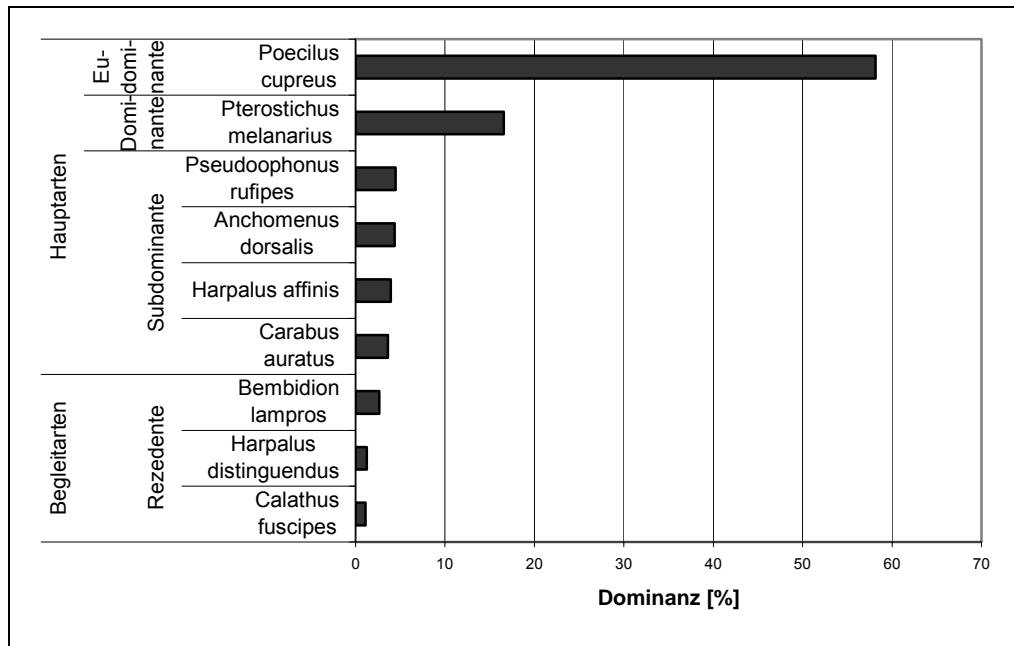


Abbildung 173: Artenspektrum mit Dominanz [%] der einheitlich bewirtschafteten Ackerfläche 2007 (2007_0; Arten > 1 % Dominanz, Klassifikation nach ENGELMANN 1978)

Figure 173: Dominance of species [%] on uniformly farmed field 2007 (2007_0; species with dominance > 1 %, classification according to ENGELMANN 1978)

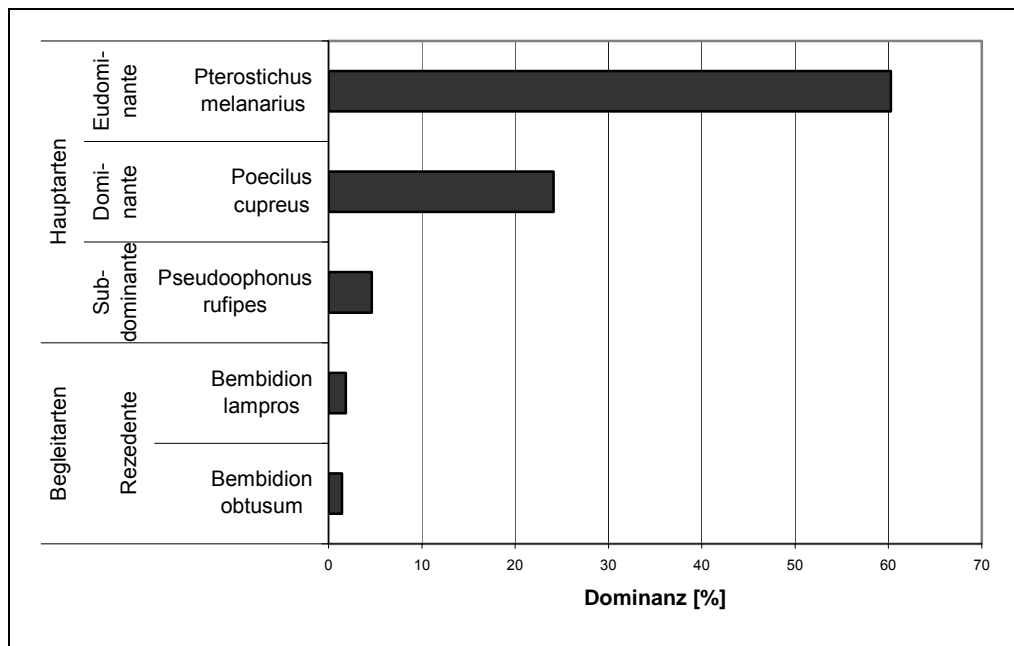


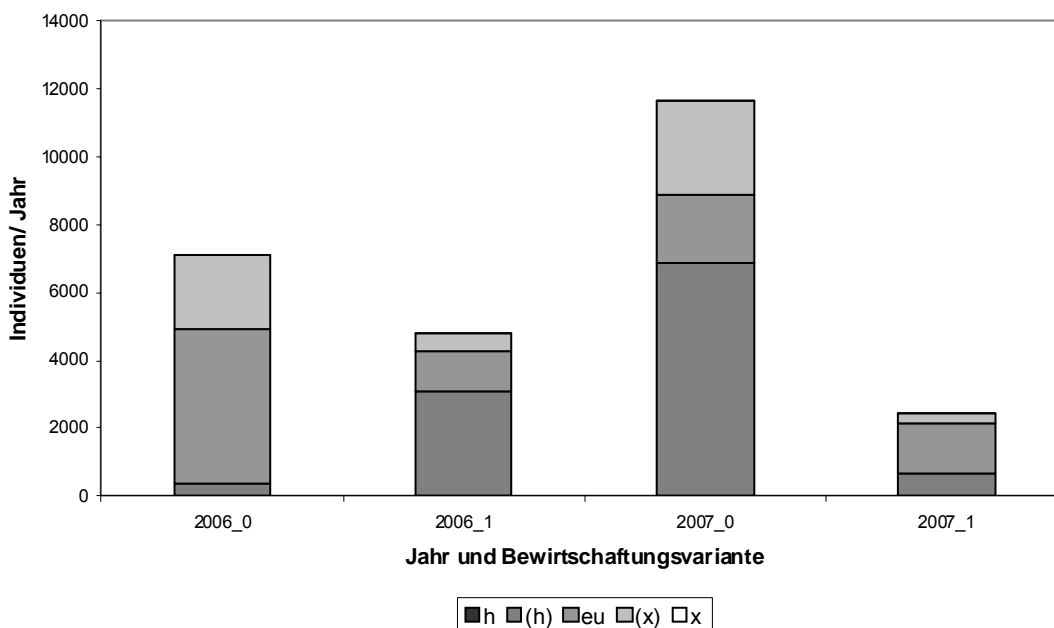
Abbildung 174: Artenspektrum mit Dominanz [%] der teilflächenspezifisch differenziert bewirtschafteten Ackerfläche 2007 (2007_1; Arten > 1 % Dominanz, Klassifikation nach ENGELMANN 1978)

Figure 174: Dominance of species [%] on site specific variable farmed field 2007 (2007_1; species with dominance > 1 %, classification according to ENGELMANN 1978)

6.3.2.2.2 Ökologische Typisierung der Laufkäferzönosen nach Feuchtigkeitspräferenzen

Die ökologische Typisierung der Laufkäfer auf den untersuchten Ackerflächen nach der Feuchtepräferenz der Arten, dargestellt in Abbildung 175, zeigt, dass hauptsächlich mäßig hygrophile und mäßig xerophile sowie euryöke Arten auftraten. Auf der einheitlich bewirtschafteten Fläche 2006 (2006_0) und auf der differenziert bewirtschafteten Fläche 2007 (2007_1) dominierten die euryöken Arten. Auf den beiden anderen Ackerflächen 2006_1 und 2007_0 waren die mäßig hygrophilen Arten dominant. Hygrophile als auch xerophile Arten traten nur mit sehr geringen Individuenzahlen auf.

Dabei ist zu beachten, dass sich die ein bis zwei dominanten Hauptarten je Versuchsfläche auch hier widerspiegeln. Für eine naturschutzfachliche Bewertung der unterschiedlich bewirtschafteten Ackerflächen sind die Anteile der weiteren, mit geringeren Individuenzahlen auftretenden Arten bedeutend.



Feuchtepräferenz/ moisture preference (BARNDT et al. 1991)

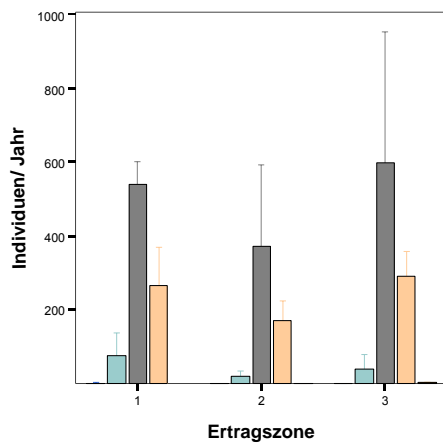
h = hygrophil (feuchtepräferierend)/ hygrophilous; (h) = überwiegend hygrophil/ predominant hygrophilous; eu = euryök/ euryoecious; (x) = überwiegend xerophil/ predominant xerophilous; x = xerophil (trockenpräferierend)/ xerophilous

Abbildung 175: Verteilung der Anzahl Individuen nach der Feuchtepräferenz der Arten je Bewirtschaftungsvariante und Jahr (vereinfacht, ökologische Typen nach BARNDT et al. 1991)

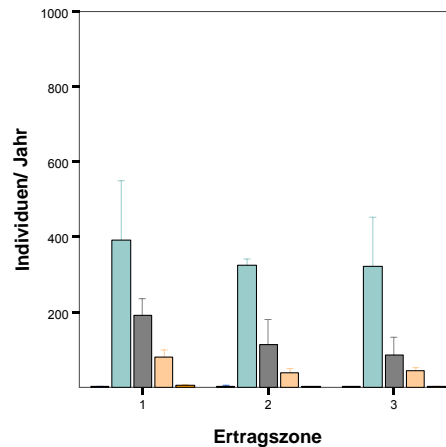
Figure 175: Number of individuals with regard to moisture preference of the species in different management types and years (simplified; ecological types according to BARNDT et al. 1991)

Wie sich die Arten mit unterschiedlichen Feuchtepräferenzen auch innerhalb der jeweiligen Ackerflächen hinsichtlich der Individuenzahlen verteilen, wird aus Abbildung 176 ersichtlich. Die Individuenzahlen je Feuchtepräferenztyp wurden je Ertragszone dargestellt. Daraus können die heterogenen Umweltbedingungen, vor allem im Mikroklima vermutet werden.

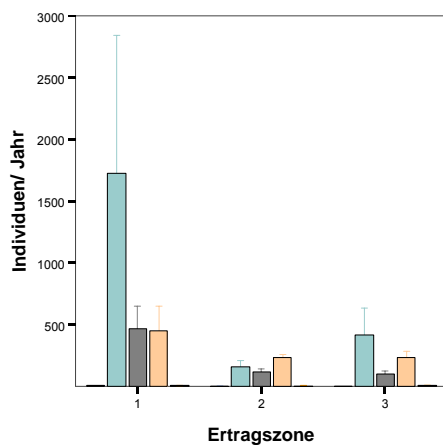
2006_0



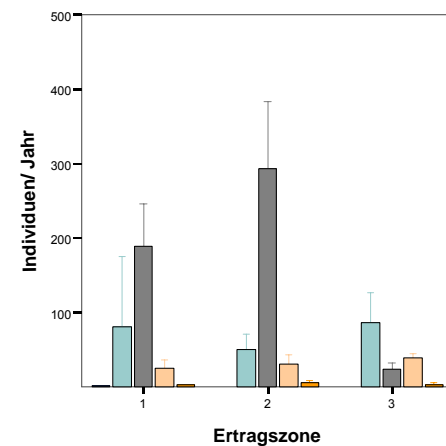
2006_1



2007_0



2007_1



Feuchtepräferenz/ moisture preference (BARNDT et al. 1991)
 h = hygrophil/ hygrophilous; (h) = überwiegend hygrophil/ predominant hygrophilous; eu = euryök/ euryoecious; (x) = überwiegend xerophil/ predominant xerophilous; x = xerophil/ xerophilous



Ertragszonen/ yield zone

1 = höchster Ertrag/ highest yield; 2 = mittlerer Ertrag/ mean yield; 3 = geringster Ertrag/ lowest yield

Abbildung 176: Verteilung der Anzahl Individuen nach der Feuchtepräferenz der Arten je Ertragszone und Jahr (vereinfacht, ökologische Typen nach BARNDT et al. 1991)

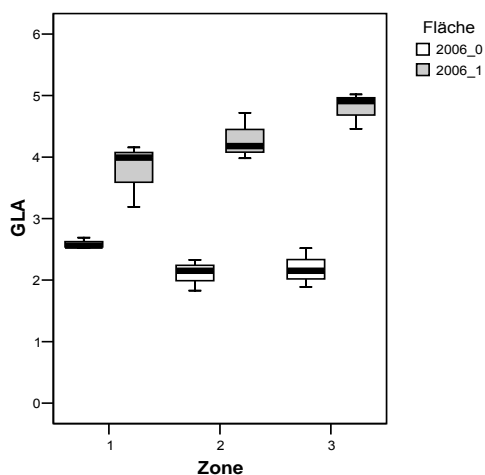
Figure 176: Number of individuals with regard to moisture preference of species in areas with different yields and years (simplified; ecological types according to BARNDT et al. 1991)

Innerhalb der Ackerfläche zeigten die beiden Standorte 2006 kaum Unterschiede. Allerdings war das Mikroklima auf der Fläche 2006_1 vermutlich durch eine höhere Feuchte gekennzeichnet. Die Anzahl mäßig hygrophiler Arten ist deutlich höher als die Anzahl der mäßig xerophilen Arten. Und die Anzahl mäßig hygrophiler Arten ist deutlich höher als die Anzahl der mäßig hygrophilen Arten auf der Fläche 2006_0. Auf letztgenannter Fläche war das Verhältnis umgekehrt. Die mäßig xerophilen Arten dominierten, was auf ein trockeneres Mikroklima schließen lässt. Arten mit hygrophiler oder xerophi-

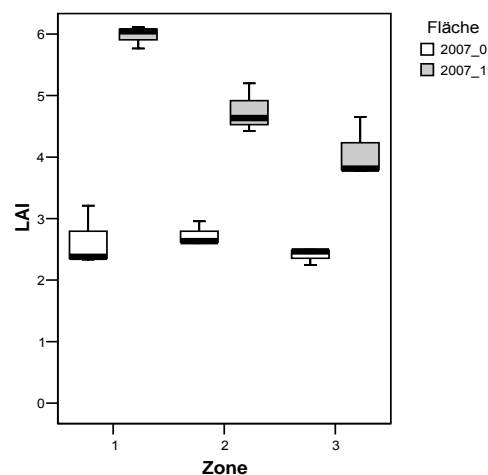
ler Präferenz traten in allen drei Ertragszonen mit geringen Individuenzahlen auf. Abbildung 177 zeigt, dass die Bestandesdichte auf der gesamten Fläche 2006_0 niedriger war als auf der Fläche 2006_1. Dass die Bestandesdichte in Zone 2 (mittlere) und 3 (schlechte) der Fläche 2006_1 höher war als im Bereich der Zone 1 (beste), ist wahrscheinlich auf die Beregnungsmaßnahmen in erstgenannten Zonen zurückzuführen.

Die beiden Ackerflächen im Versuchsjahr 2007 wiesen schlagintern heterogenere Standortbedingungen als 2006 auf. In der Bestandesdichte zeigt sich dies besonders auf der Fläche 2007_1 (Abbildung 177). In der Ertragszone 1 (beste Zone) der einheitlich bewirtschafteten Ackerfläche 2007_0 dominierten die mäßig hygrophilen Arten. Insgesamt wurden in dieser Zone die höchsten Individuenzahlen erfasst. Im Bereich der Ertragszone 2 (mittlere Zone) wurde die geringste Anzahl Individuen verzeichnet. In allen drei Zonen traten hygrophile oder xerophile Arten mit etwa gleich geringen Individuenzahlen auf. Auf der differenziert bewirtschafteten Fläche 2007_1 wurden größtenteils euryöke Arten erfasst. In der Ertragszone 3 (schlechte Zone) dominierten die mäßig hygrophilen Arten, wobei sich die Individuenzahl gegenüber den Zonen 1 und 2 nicht unterscheidet. Hygrophile Arten konnten nur in Zone 1 festgestellt werden, während xerophile Arten in allen drei Ertragszonen mit etlichen Individuen erfasst wurden.

2006



2007



Ertragszonen/ yield zone

1 = höchster Ertrag/ highest yield; 2 = mittlerer Ertrag/ mean yield; 3 = geringster Ertrag/ lowest yield

Abbildung 177: Bestandesdichte, dargestellt durch den grünen LAI (=GLA) bzw. LAI je Ertragszone je Ackerfläche und Jahr

Figure 177: Crop plant density in areas with different yields and years (GLA and LAI)

6.3.2.2.3 Klassifizierung der Laufkäfer nach Größenklassen

Auf den vier untersuchten Ackerflächen kamen überwiegend Laufkäfer in den Größenklassen 9 – 12,9 mm und 13 – 18 mm vor. Während auf den Flächen 2006_0 und 2007_1 die Laufkäferarten mit 13 – 18 mm Größe die höchsten Individuenzahlen aufwiesen, traten auf den Flächen 2006_1 und 2007_0 hauptsächlich Arten mit einer Größe von 9 – 12,9 mm auf (Abbildung 178). Die hohen Individuenzahlen in ein oder zwei Größenklassen spiegeln auch hier die Eigenschaften der Hauptarten der jeweiligen Ackerflächen wider.

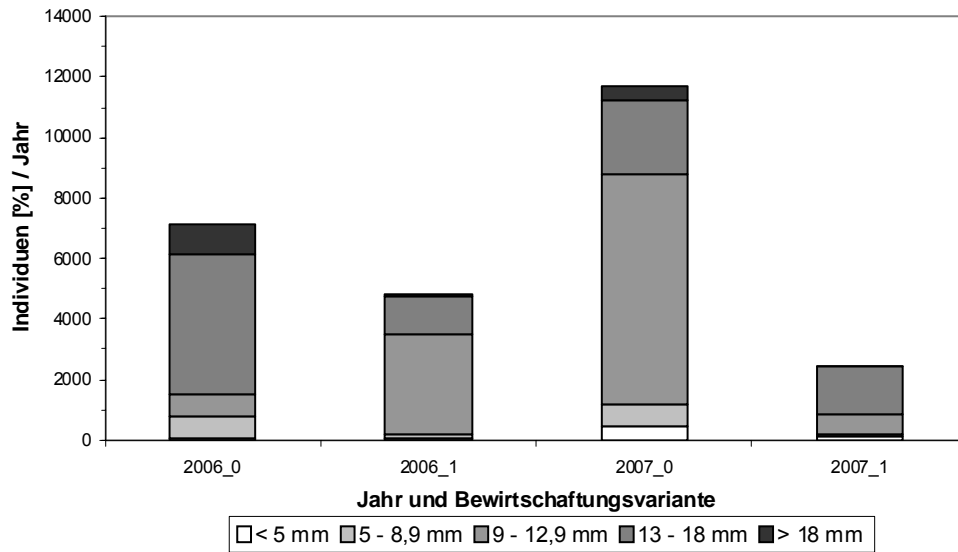
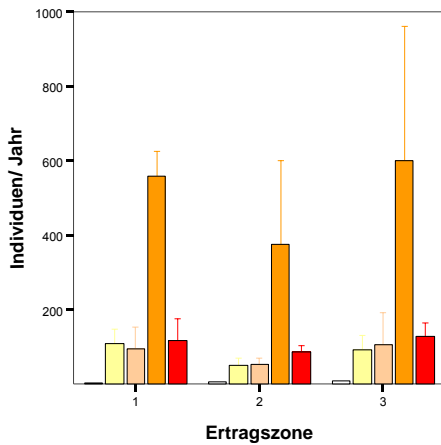


Abbildung 178: Verteilung der Individuen nach Größenklassen der Arten je Bewirtschaftungsvariante und Jahr (Klasseneinteilung nach BARNDT et al. 1991)

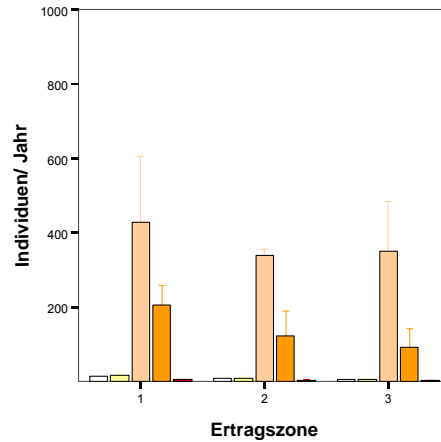
Figure 178: Distribution of number of individuals with regard to the body size of species in the management types and years (body size classes according to BARNDT et al. 1991)

In Hinblick auf die Verteilung der Individuen nach den Größenklassen innerhalb der Ackerflächen je Ertragszone zeigte sich auf den beiden Flächen 2006 eine ähnliche Verteilung der Individuenzahl je Ertragszone. Auf der Fläche 2006_1 dominierten vor allem die beiden Größenklassen 9 – 12,9 mm und 13 – 18 mm, während kleinere Arten (Größenklassen < 8,9 mm) und größere Arten (> 18 mm) nicht oder nur mit sehr geringen Individuenzahlen vorkamen. Auf den beiden einheitlich bewirtschafteten Flächen 2006_0 und 2007_0 traten gegenüber den anderen beiden Flächen deutlich mehr Individuen in der Größenklasse > 18 mm auf.

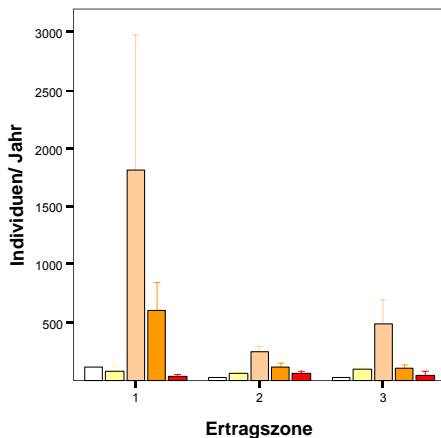
2006_0



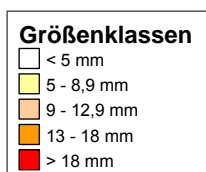
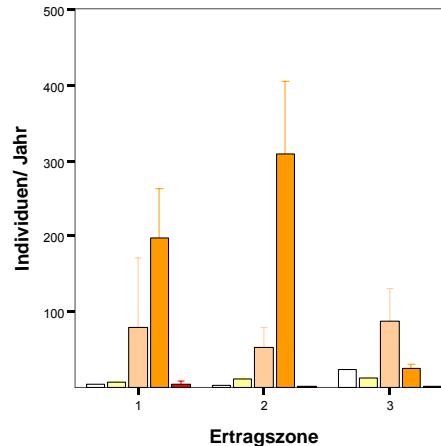
2006_1



2007_0



2007_1



Ertragszonen/ yield zone
 1 = höchster Ertrag/ highest yield;
 2 = mittlerer Ertrag/ mean yield;
 3 = geringster Ertrag/ lowest yield

Abbildung 179: Verteilung der Individuen nach Größenklassen je Ertragszone und Jahr (Klasseneinteilung nach BARNDT et al. 1991)

Figure 179: Number of individuals with regard to the body size of species in the management types and years (body size classes according to BARNDT et al. 1991)

6.3.2.2.4 Multivariate Analyse: Carabidae

Die Beziehungen zwischen Laufkäferfauna, Standort und Bewirtschaftungsmaßnahmen wurden mittels der Ordinationsverfahren DCA und CCA analysiert und sind im Folgenden dargestellt. Die Um-

weltvariablen²⁰ des Untersuchungsjahres 2006 sowie die Korrelationen der Variablen untereinander sind aus Tabelle 70 ersichtlich.

Tabelle 70: Korrelationsmatrix der ausgewählten Umweltvariablen 2006

Table 70: Correlation matrix of selected environment variables 2006

	Aussaat				
Nges	0,3263	Nges			
Beregnung	-0,1533	-0,9270	Beregnung		
Rand	0,0477	-0,4022	0,4488	Rand	
BZ_RBS	-0,1073	-0,2860	0,3085	-0,1551	BZ_RBS
pH	0,3895	-0,4601	0,5088	0,1745	0,6123
GLA	0,1482	-0,8106	0,8233	0,3071	0,4206

Im Ordinationsdiagramm der DCA (Abbildung 180) sind die Fallenstandorte der einheitlich (2006_0) und der teilflächenspezifisch differenziert (2006_1) bewirtschafteten Ackerflächen 2006 sowie die Umweltvariablen aus Standort und Bewirtschaftungsmaßnahmen dargestellt.

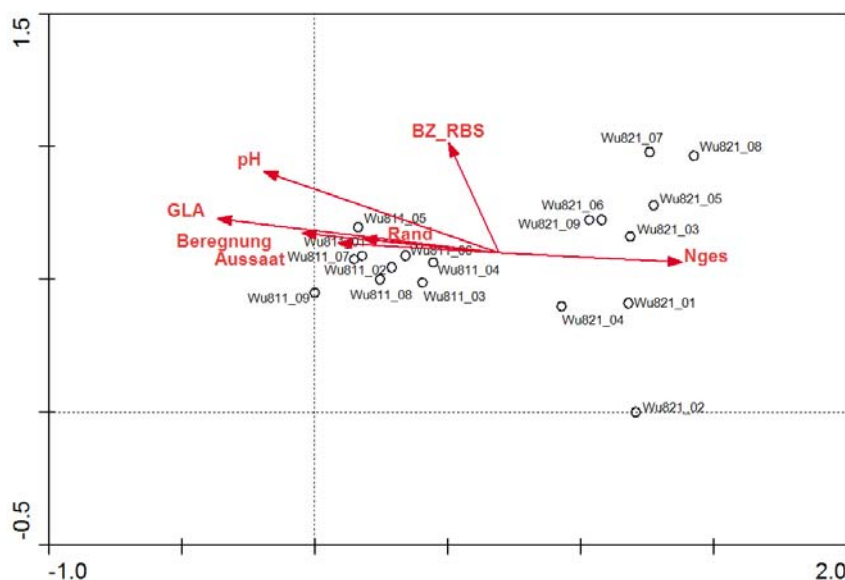


Abbildung 180: DCA-Ordination; Biplot von Standorten und Umweltvariablen 2006

Figure 180: DCA-ordination; biplot of sites and environment variables 2006

Es zeigt sich ein deutlicher Gradient durch die Variablen GLA, Nges und pH, der durch die 1. Achse dargestellt wird. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Variablen GLA und Nges autokorreliert sind (Tabelle 70). Eindeutig ersichtlich ist die unterschiedliche Artenzusammensetzung und -verteilung auf den beiden Ackerflächen, was sich in der Gruppierung der Fallenstandorte der Ackerflächen getrennt

²⁰ Umweltvariablen 2006: Beregnung: Beregnung Ja/Nein; BZ_RBS: Bodenzahl aus Reichsbodenschätzung; Nges: Stickstoff-Düngung [kg/ha]; Rand: Abstand zum Feldrand [m]; GLA: Grüner LAI, Daten TP13; pH: pH-Wert, eigene Analyse; Aussaat: betriebsübliche Aussaatmenge [K/qm]

voneinander zeigt. Auf der einheitlich bewirtschafteten Fläche besteht eine geringere Varianz innerhalb der Fläche als auf dem differenziert bewirtschafteten Acker.

Tabelle 71: Statistik der CCA-Berechnung (inter-sample distance, Hill's scaling)

Table 71: Summary of CCA-Analysis (inter-sample distance, Hill's scaling)

Gesamtvarianz total inertia	0,597			
Summe aller kanonischen Eigenwerte sum of all canonical eigenvalues	0,349			
Achsen/ axes	1	2	3	4
Eigenwerte eigenvalues	0,187	0,051	0,039	0,027
Arten-Variablen-Korrelation species-environment correlations	0,964	0,909	0,843	0,897
Kumulativer Anteil der Varianz in % cumulative percentage variance				
der Artenmatrix of species data	31,4	39,9	46,5	51,0
der Arten-Variablen-Beziehung of species-environment relation	53,6	68,2	79,4	87,2

Aus der CCA ergibt sich, wie schon aus dem DCA-Diagramm zu vermuten, dass von den einbezogenen Variablen der grüne LAI (GLA) der entscheidende Faktor für die Artenzusammensetzung und -verteilung auf den beiden Ackerflächen ist. Dieser Faktor zeigt die höchste Korrelation mit der 1. Achse der CCA-Ordination. Weitere signifikante Faktoren sind die Aussaat (höchste Korrelation mit der 3. Achse) und die N-Düngung (Nges, höchste Korrelation mit der 2. Achse). Alle anderen einbezogenen Umweltvariablen sind nicht signifikant und haben keinen zusätzlichen Erklärungswert für die Artenzusammensetzung und -verteilung (Tabelle 72).

Tabelle 72: Interset-Korrelationen mit Achsen, Signifikanzniveau, Lambda1 und Lambda A der Variablen

Table 72: Interset correlation with axes, level of significance, Lambda1 und Lambda A of environmental variables

	Achse 1 axis 1	Achse 2 axis 2	Achse 3 axis 3	Achse 4 axis 4	Lambda1	Lambda A	P (Monte Carlo-Test)
GLA	-0,8616	-0,1832	0,2414	-0,2063	0,16	0,16	0,002 **
pH	-0,7044	0,0206	0,4707	0,2300	0,12	0,02	0,778
Beregnung	-0,6187	-0,5996	0,1508	-0,2439	0,10	0,02	0,694
Nges	0,5757	0,6124	-0,1265	0,3040	0,09	0,05	0,036 *
Aussaat	-0,4860	0,4302	-0,1515	0,5463	0,07	0,05	0,014 *
Rand	-0,4190	-0,2290	-0,0745	-0,0068	0,05	0,01	0,688
BZ_RBS	-0,1310	-0,1185	0,8016	0,0333	0,04	0,04	0,052

In die Analyse der Zusammenhänge zwischen Artenspektrum und -verteilung der Ackerflächen 2007 sind die in Tabelle 73 aufgelisteten Variablen²¹ eingegangen. Hohe Autokorrelationen bestehen zwischen dem LAI und der Aussaat.

²¹ Umweltvariablen: BZ_RBS: Bodenzahl aus Reichsbodenschätzung; Nges: Stickstoff-Düngung [kg/ha]; Rand: Abstand zum Feldrand [m]; LAI: LAI gemessen mit SunScan Canopy Analysis System; Aussaat: betriebsübliche Aussaatmenge [K/qm]

Tabelle 73: Korrelationsmatrix der ausgewählten Umweltvariablen 2007

Table 73: Correlation matrix of selected environmental variables 2007

	Aussaat			
Nges	-0,4869	Nges		
Rand	-0,1842	-0,0918	Rand	
BZ_RBS	0,0858	-0,5069	0,1427	BZ_RBS
LAI	-0,8875	0,1057	0,3334	0,1664

Aus dem DCA-Ordinationsdiagramm (Abbildung 181) geht hervor, dass im Versuchsjahr 2007 die Variablen LAI und Aussaat sowie die Stickstoff-Düngung (Nges) vermutlich einen erklärenden Einfluss auf die Artenzusammensetzung und -verteilung hatten.

Diese Vermutung wird durch die CCA bestätigt. Die erste Achse wird größtenteils durch den LAI erklärt (

Tabelle 75) und besitzt den höchsten Eigenwert (0,172; Tabelle 74). Die Variable Nges ist vor allem mit der zweiten Achse korreliert. Die Parameter LAI und Aussaat sind autokorreliert (Tabelle 73). Der Erklärungswert (Lambda1) der Aussaat wurde bereits durch den LAI in die Analyse einbezogen.

Tabelle 74: Statistik der CCA-Berechnung (inter-sample distance, Hill's scaling)

Table 74: Summary of CCA-analysis (inter-sample distance, Hill's scaling)

Gesamtvarianz total inertia	0,814			
Summe aller kanonischen Eigenwerte sum of all canonical eigenvalues	0,357			
Achsen/ axes	1	2	3	4
Eigenwerte eigenvalues	0,172	0,075	0,060	0,028
Arten-Variablen-Korrelation species-environment correlations	0,981	0,963	0,922	0,942
Kumulativer Anteil der Varianz in % cumulative percentage variance				
der Artenmatrix of species data	21,1	30,2	37,7	41,1
der Arten-Variablen-Beziehung of species-environment relation	48,0	68,9	85,8	93,6

Tabelle 75: Interset-Korrelationen mit Achsen, Signifikanzniveau, Lambda1 und Lambda A der Variablen

Table 75: Interset correlation with axes, level of significance, Lambda1 und Lambda A of environmental variables

	Achse 1 axis 1	Achse 2 axis 2	Achse 3 axis 3	Achse 4 axis 4	Lambda1	Lambda A	P (Monte Carlo-Test)
LAI	0,9422	0,1655	-0,0755	0,1612	0,16	0,16	0,002 **
Aussaat	-0,9351	0,1185	-0,2377	-0,0905	0,16	0,04	0,294
Nges	0,2532	-0,7889	0,4145	0,2264	0,08	0,07	0,004 **
BZ_RBS	0,1816	0,1166	-0,7725	-0,3730	0,06	0,06	0,068
Rand	0,3002	-0,0870	-0,2414	-0,3205	0,04	0,03	0,790

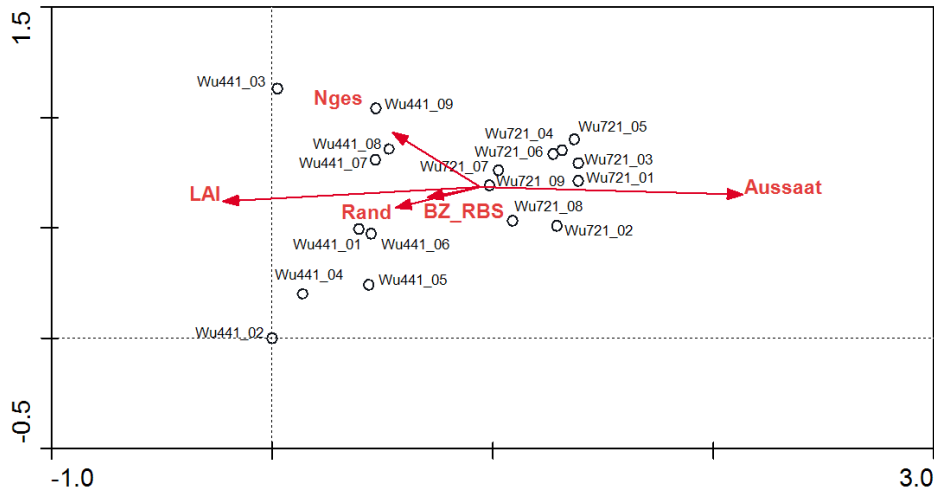


Abbildung 181: DCA-Ordination; Biplot von Standorten und Umweltvariablen 2007

Figure 181: DCA-ordination; biplot of sites and environmental variables 2007

6.3.2.2.5 Rote Liste

Auf den vier Untersuchungsflächen traten insgesamt vier Arten der Roten Liste Sachsen-Anhalt in den Kategorien gefährdet bis stark gefährdet auf. Alle vier Arten kamen nur sporadisch als Begleitarten mit geringen Dominanzen vor (Tabelle 76). Nur *Dolichus halensis* und *Poecilus punctulatus* sind auch in der Roten Liste Deutschland verzeichnet und als stark gefährdet eingestuft.

Tabelle 76: Arten der Roten Liste mit ihrer Dominanz je Ackerfläche (Kategorien Rote Liste: 1 = vom Aussterben bedroht, 2 = stark gefährdet, 3 = gefährdet, R = extrem selten, G = Gefährdung anzunehmen, V = Vorwarnliste)

Table 76: Red List species and dominance per field (Red List classes: 1 = endangered, 2 = high vulnerable, 3 = vulnerable, R = extremely rare, G = endangering assumed, V = potentially endangered (“Vorwarnliste”))

Jahr	Fläche	Art	RL SA ²²	RL D ²³	Dominanz	Sporadische Arten	Begleitarten
2006	2006_0	<i>Amara littorea</i>	2		< 0,32		
		<i>Brachinus explodens</i>	3		< 0,32		
	2006_1	<i>Dolichus halensis</i>	2	2	< 0,32		
2007	2007_0	<i>Dolichus halensis</i>	2	2	< 0,32		
		<i>Poecilus punctulatus</i>	3	2	< 0,32		
		<i>Brachinus explodens</i>	3		< 0,32		
	2007_1	<i>Dolichus halensis</i>	2	2	< 0,32		

²² Rote Liste Sachsen-Anhalt (SCHNITTER et al. 2004)

²³ Rote Liste Deutschland (TRAUTNER et al. 1998)

6.3.2.3 Ergebnisse Vegetation

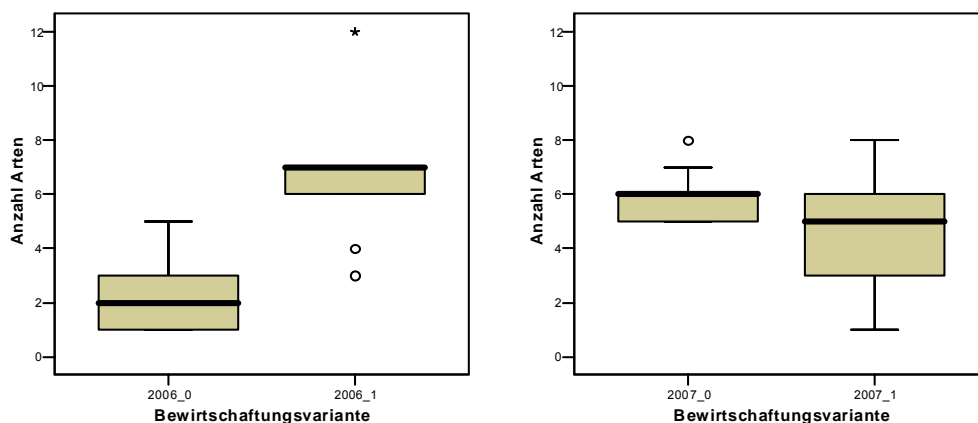
6.3.2.3.1 Artenbestand und Pflanzengesellschaften

In den beiden Untersuchungsjahren 2006 und 2007 wurden 8 bis 22 Segetalarten auf den vier Ackerflächen erfasst (Tabelle 77). Hinsichtlich ihrer Artenzahl unterscheiden sich die Ackerflächen 2006 signifikant voneinander. Die Flächen 2007 zeigten keine signifikanten Unterschiede. Die teilflächenspezifisch differenziert bewirtschaftete Fläche wies allerdings die höhere Varianz in den Artenzahlen je Vegetationsaufnahme auf (Abbildung 182).

Tabelle 77: Anzahl Arten je Ackerfläche und Jahr

Table 77: Number of weed species and individuals per arable field and year

Jahr year	Schlagnummer field number	Schlagname field name	Arten species	Bewirtschaftung Cultivation ²⁴	
2006	2006_0	Kiesberg (811)	8	einheitlich	H
	2006_1	Mausewinkel (821)	22	teilflächenspezifisch differenzierte Aussaat und N-Düngung	S
2007	2007_0	Zuchauer Straße (721)	15	einheitlich	H
	2007_1	Paschlebener Feld (441)	11	teilflächenspezifisch differenzierte N-Düngung	S



2006: $p = 0,001 \leq 0,001$ ***

2007: $p = 0,334 > 0,05$

Abbildung 182: Anzahl Arten je Bewirtschaftungsvariante und Jahr (2006_0, 2006_1 und 2007_1 = normalverteilt)

Figure 182: Number of species in the two management types and years (2006_0, 2006_1 und 2007_1 = normally distributed)

Auf allen Untersuchungsflächen wurden Arten der weit verbreiteten, aber arten- und individuenarmen Vogelmieren-Klatschmohn-Gesellschaft (*Stellario mediae-Papaveretum rhoeadis*) erfasst. Nach SCHUBERT (2001) kommen nur noch stickstoffliebende und weiter verbreitete Arten des Verbandes, der Ordnung oder der Klasse vor. Vermutlich stellen die aufgenommenen Arten Reste der früher weit verbreiteten Gesellschaft der Kleinen Wolfsmilch und des Ackerleimkrautes (*Euphorbio exiguae-*

²⁴ H = einheitlich/ homogeneous; S = teilflächenspezifisch differenziert/ site specific

Silenetum noctiflorae) dar. Im früheren Verbreitungsgebiet sind heute „artenarme, an Intensivnutzung angepasste Bestände“ zu finden (SCHUBERT 2001). Etliche der aufgenommenen Arten werden nach HOFMEISTER & GARVE (1998) als Problemunkräuter bezeichnet (siehe Kapitel 6.3.4, Anhang, Tabelle 12 bis Anhang, Tabelle 15). Als Problemunkräuter werden Arten eingestuft, die „in großen Mengen auftreten und deutlichen Schaden verursachen“ (HOFMEISTER & GARVE 1998). Zusätzlich wurden nach eigener Beobachtung und Einschätzung der Landwirte vor Ort *Polygonum aviculare* und *Chenopodium album* als Problemunkräuter eingestuft.

6.3.2.3.2 Multivariate Analyse: Vegetation

Zur Analyse der Zusammenhänge zwischen Vegetation, standörtlichen Bedingungen und Bewirtschaftungsmaßnahmen 2006 wurden die in Tabelle 78 angeführten Variablen²⁵ genutzt. Die Variablen Beregnung und Stickstoff-Düngung (Nges) sind sehr hoch korreliert, was auf die Lokalität der Maßnahmen auf der Ackerfläche 2006_1 zurückzuführen ist. Die Beregnung erfolgte überwiegend auf den Teilflächen mit niedrigerer Stickstoff-Gabe (Ertragszonen 2 und 3). In dem Bereich mit höherer Stickstoff-Gabe (Ertragszone 1) wurde nicht beregnet.

Tabelle 78: Korrelationsmatrix der ausgewählten Umweltvariablen 2006

Table 78: Correlation matrix of selected environmental variables 2006

	Aussaat					
Nges	0,1097	Nges				
Beregnung	-0,0106	-0,9492	Beregnung			
Rand	0,0233	-0,2690	0,3130	Rand		
BZ_RBS	-0,0053	-0,1157	0,1219	-0,4031	BZ_RBS	
pH	0,4083	-0,3106	0,3304	-0,2163	0,6980	pH
GLA	0,4439	-0,7078	0,7086	0,0959	0,3212	0,7169

²⁵ Umweltvariablen: BZ_RBS: Bodenzahl aus Reichsbodenschätzung; Nges: Stickstoff-Düngung [kg/ha]; Rand: Abstand zum Feldrand [m]; GLA: Grüner LAI, Daten TP13; Aussaat: betriebsübliche Aussaatmenge [K/qm]; pH: pH-Wert, eigene Analyse

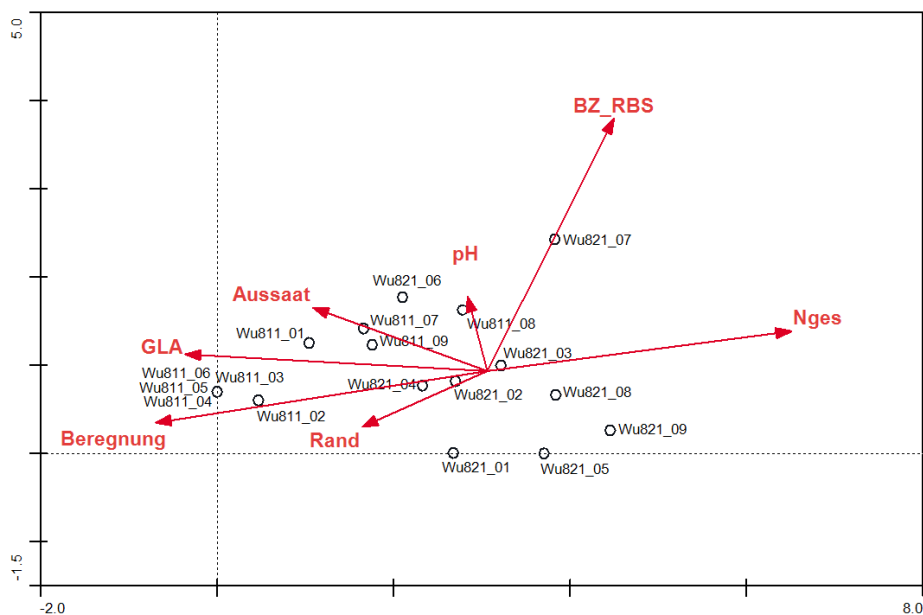


Abbildung 183: DCA-Ordination; Biplot von Standorten und Umweltvariablen 2006

Figure 183: DCA-ordination; biplot of sites and environmental variables 2006

Bereits aus dem DCA-Ordinationsdiagramm gehen die Variablen Beregnung sowie Bodenzahl (BZ_RBS) als erklärende Parameter für die Artenzusammensetzung und -verteilung auf den beiden Ackerflächen 2006 hervor und werden durch die CCA bestätigt. Ohne Berücksichtigung der oben genannten Variablen würden der grüne LAI (GLA) und die Stickstoff-Düngung (Nges) die höchsten Erklärungswerte besitzen (Tabelle 80, Lambda1). Werden die Variablen nacheinander und abhängig voneinander betrachtet, so wird nach den Variablen Beregnung und Bodenzahl (BZ_RBS) auch für den grünen LAI (GLA) ein zusätzlicher, aber knapp nicht signifikanter Erklärungswert angegeben (Tabelle 80).

Tabelle 79: Statistik der CCA-Berechnung (inter-sample distance, Hill's scaling)

Table 79: Summary of CCA-Analysis (inter-sample distance, Hill's scaling)

Gesamtvarianz total inertia	3,344			
Summe aller kanonischen Eigenwerte sum of all canonical eigenvalues	1,851			
Achsen/ axes	1	2	3	4
Eigenwerte eigenvalues	0,616	0,440	0,297	0,238
Arten-Variablen-Korrelation species-environment correlations	0,969	0,935	0,925	0,821
Kumulativer Anteil der Varianz in % cumulative percentage variance				
der Artenmatrix of species data	18,4	31,6	40,5	47,6
der Arten-Variablen-Beziehung of species-environment relation	33,3	57,1	73,1	86,0

Tabelle 80: Inter-set-Korrelationen mit Achsen, Signifikanzniveau, Lambda1 und Lambda A der Variablen

Table 80: Inter-set correlation with axes, level of significance, Lambda1 und Lambda A of environmental variables

	Achse 1 axis 1	Achse 2 axis 2	Achse 3 axis 3	Achse 4 axis 4	Lambda1	Lambda A	P (Monte Carlo-Test)
Berechnung	0,8709	-0,0303	-0,3513	-0,0570	0,55	0,55	0,002 **
BZ_RBS	-0,0403	-0,7829	-0,3201	0,1463	0,37	0,37	0,006 **
GLA	0,7700	-0,2196	0,0726	0,3565	0,47	0,28	0,060
Nges	-0,7855	0,0199	0,2728	0,0752	0,45	0,10	0,720
Aussaat	0,3299	-0,1481	0,5144	0,3875	0,26	0,17	0,270
pH	0,2749	-0,3894	-0,2204	0,5793	0,28	0,25	0,098
Rand	0,3158	0,0996	-0,0356	0,1130	0,15	0,13	0,546

Für die Auswertung des Versuchsjahres 2007 gingen lediglich fünf Variablen²⁶ in die Ordinationsanalysen ein. Autokorreliert waren die Variablen Aussaat und LAI.

Als Einflussgröße für die Artenzusammensetzung und -verteilung auf den beiden unterschiedlich bewirtschafteten Ackerflächen wird durch die Ordinationsmethoden der LAI ermittelt. Dies zeigt sich auch im DCA-Ordinationsdiagramm (Abbildung 184). Alle weiteren Parameter sind nicht signifikant und zeigen keinen zusätzlichen Erklärungswert für die Artenmatrix der Ackerflächen 2007 (Tabelle 83).

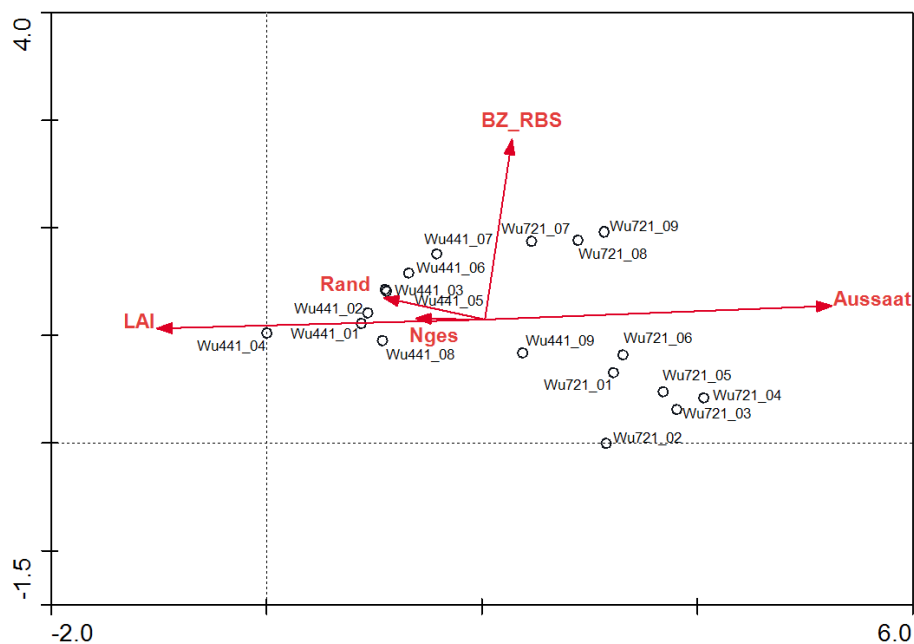


Abbildung 184: DCA-Ordination; Biplot von Standorten und Umweltvariablen 2007

Figure 184: DCA-ordination; biplot of sites and environmental variables 2007

²⁶ Umweltvariablen: BZ_RBS: Bodenzahl aus Reichsbodenschätzung; Nges: Stickstoff-Düngung [kg/ha]; Rand: Abstand zum Feldrand [m]; LAI: LAI gemessen mit SunScan Canopy Analysis System; Aussaat: betriebsübliche Aussaatmenge [K/qm]

Tabelle 81: Korrelationsmatrix der ausgewählten Umweltvariablen

Table 81: Correlation matrix of selected environmental variables 2007

	Aussaat			
Nges	-0,2496	Nges		
Rand	-0,2056	-0,3958	Rand	
BZ_RBS	-0,0216	-0,3548	-0,0145	BZ_RBS
LAI	-0,9031	-0,1286	0,4329	0,1819

Tabelle 82: Statistik der CCA-Berechnung (inter-sample distance, Hill's scaling)

Table 82: Summary of CCA-Analysis (inter-sample distance, Hill's scaling)

Gesamtvarianz total inertia	2,171			
Summe aller kanonischen Eigenwerte sum of all canonical eigenvalues	1,096			
Achsen/ axes	Achse 1	Achse 2	Achse 3	Achse 4
Eigenwerte eigenvalues	0,663	0,204	0,116	0,095
Arten-Variablen-Korrelation species-environment correlations	0,973	0,811	0,874	0,639
Kumulativer Anteil der Varianz in % cumulative percentage variance				
der Artenmatrix of species data	30,5	39,9	45,3	49,6
der Arten-Variablen-Beziehung of species-environment relation	60,5	79,0	89,6	98,3

Tabelle 83: Interset-Korrelationen mit Achsen, Signifikanzniveau, Lambda1 und Lambda A der Variablen

Table 83: Interset correlation with axes, level of significance, Lambda1 und Lambda A of environmental variables

	Achse 1 axis 1	Achse 2 axis 2	Achse 3 axis 3	Achse 4 axis 4	Lambda1	Lambda A	P (Monte Carlo-Test)
Aussaat	0,9707	0,0233	-0,0310	0,0137	0,66	0,66	0,002 **
LAI	-0,9045	0,0692	-0,1378	0,1122	0,58	0,08	0,508
Rand	-0,2412	0,1686	-0,7560	0,2410	0,15	0,12	0,204
BZ_RBS	-0,0320	-0,5762	0,0376	0,3294	0,13	0,13	0,126
Nges	-0,1872	-0,0003	0,4974	-0,0070	0,07	0,11	0,372

6.3.2.4 Diskussion

Die Frage, ob sich die betriebsübliche teilflächenspezifisch differenzierte Variation von Aussaat und/oder Stickstoff-Düngung gegenüber der betriebsüblich einheitlichen Bewirtschaftung auf die Laufkäferzönosen sowie die Segetalvegetation in ihrer Zusammensetzung und Verteilung auswirkt, kann nicht eindeutig beantwortet werden.

In beiden Versuchsjahren 2006 und 2007 wurde die Stickstoff-Düngung auf je einem Versuchsschlag variiert, eine differenzierte Aussaat erfolgte nur 2006 (Fläche 2006_1). Die Düngemenge variierte allerdings minimal (2006: 191 – 197 kg N/ha, Anhang, Tabelle 16; 2007: 188 – 196 kg N/ha; Anhang, Tabelle 17), so dass differenzierte Auswirkungen auf den Pflanzenbestand kaum zu erwarten waren. Zu berücksichtigen ist außerdem die technisch bedingte Abweichung des Düngerstreuers selbst. Die jeweiligen Düngemengen der Versuchsschläge waren pro Jahr etwa gleich. Größere Variationen wiesen die Aussaatmengen 2006 auf (2006: 280 – 380 K/m², Anhang, Tabelle 16). Auf dem schlechteren Standort erfolgte erwartungsgemäß auch eine niedrigere Aussaat. Auffällig war 2007, dass auf der standörtlich schlechteren Ackerfläche 2007_0 (niedrigere Bodenzahl) die Aussaatmenge höher war als

auf dem besseren Schlag 2007_1. Der LAI und damit die Bestandesdichte war allerdings auf dem besseren Standort mit der niedrigeren Aussaatmenge höher. Die guten Standortbedingungen bewirkten eine höhere Bestockung der zwar geringeren Anzahl an Pflanzen, und damit eine höhere Bestandesdichte auf dem 2007_1. Die Standortbedingungen sowie die Bewirtschaftungsmaßnahmen waren auf beiden Versuchsflächen 2007 sehr verschieden.

Die Artenzahl sowie auch die Anzahl Individuen der Laufkäfer waren auf allen Untersuchungsflächen niedrig. Nur sehr wenige Arten traten mit einer Dominanz von mehr als 1 % auf, wobei auf jeder Fläche eine Art mit einem Anteil von etwa 60 % deutlich dominant war. Diese dominanten und allgemein auf Äckern meist weit verbreiteten Arten (*Pterostichus melanarius*, *Poecilus cupreus*) prägen sich in allen Analysen durch, z. B. hinsichtlich Feuchtepräferenz und Größenklassen. Die Differenzen zwischen den Ackerflächen zeigten sich in den mit wenigen Individuen auftretenden Arten, die an z. B. trockene oder feuchte Standorte angepasst sind und deren Vorkommen stärker durch die mikroklimatischen Bedingungen beeinflusst wird. Die unterschiedlichen Habitatbedingungen in der Bestandesdichte spiegeln sich in der Artenzusammensetzung und -verteilung wider und werden durch den Parameter LAI (bzw. GLA) angezeigt. Der LAI korreliert erwartungsgemäß mit Bewirtschaftungs- und Standortvariablen, denn die Bestandesdichte resultiert aus der Kombination von Standortbedingungen und Bewirtschaftungsmaßnahmen. Nur etwa 30 % der Artenzusammensetzung werden erklärt. Es ist anzunehmen, dass bisher nicht einbezogene Faktoren die Artenzusammensetzung bedingen. Somit sind zusätzliche Parameter, vor allem über aktuelle Standortbedingungen der Ackerflächen für eine weitere Analyse notwendig.

Insgesamt wurden nur wenige Segetalarten auf den Untersuchungsflächen erfasst. Die Vegetationsaufnahmen spiegeln deutlich die auch von SCHUBERT (2001) beschriebene Arten- und Individuenarmut der Ackerwildkrautgesellschaften auf den Ackerstandorten wider. Auf der Fläche 2006_1 (differenziert in Aussaat und Düngung) wurde die höchste Anzahl Arten mit teils hoher Stetigkeit aufgenommen. Als Ursache für die höhere Artenvielfalt auf der Fläche 2006_1 wird die Nachbarschaft zum NSG „Wulfener Bruchwiesen“ (Biosphärenreservat/Landschaftsschutzgebiet „Mittlere Elbe“) vermutet. Allerdings gelten etliche dieser Arten als Problemunkräuter und damit auch aus naturschutzfachlicher Sicht als nicht wünschens- und schützenswert. Zu den Problemunkräutern zählen vor allem zahlreiche nitrophytische Arten wie *Fallopia convolvulus*, *Galium aparine* und *Chenopodium album*. Empfindliche und gegenüber Kulturpflanzen konkurrenzschwache Ackerwildkräuter traten auf den Untersuchungsflächen nicht auf, nur vereinzelt an einem Feldrand.

Die Analyse der Segetalvegetation auf den Untersuchungsflächen hat als Einflussfaktoren für die Artenzusammensetzung 2006 die Beregnung sowie die Bodenzahl ergeben. Allerdings ist die Beregnung hoch mit der Bestandesdichte (GLA) korreliert. 2007 wurde zwar die Aussaatmenge als signifikanter Faktor errechnet, jedoch war die Aussaat sehr hoch mit der Bestandesdichte korreliert. Als wesentlicher Parameter gilt auch für die Zusammensetzung der Segetalvegetation die Bestandesdichte. Wie auch für die Laufkäferzönosen konnten nur etwa 30 % der Artenzusammensetzung erklärt werden. So dass weitere hier nicht erfasste Standortdaten einen vermutlich erheblichen Erklärungswert beinhalten und in eine gesicherte Analyse einbezogen werden müssen.

Vermutlich sind die Unterschiede in den Laufkäferzönosen sowie im Auftreten der Segetalarten durch die heterogenen Standortbedingungen und nicht durch die minimal differenzierte Aussaat oder Stickstoff-Düngung bedingt.

6.3.3 Entwicklung eines naturschutzorientierten Precision Farming

6.3.3.1 Material und Methoden

In den meist homogenen und dichten Getreidebeständen sind die Habitatbedingungen für Feldvögel, vor allem auch für die Feldlerche, sehr ungünstig. Um solche Ackerflächen als Lebensraum für die Feldlerche gezielt aufwerten zu können, wurden in jedem Projektjahr auf einer Teilfläche eines Winterweizenfeldes kleine Areale bei der Aussaat ausgespart. Diese zielgerichtet angelegten Areale sollen den Feldlerchen Brut- und Nahrungshabitate bieten.

Die sogenannten Defektflächen wurden auf einer Hälfte der Ackerfläche systematisch und mittig zwischen den Fahrspuren angelegt. Die andere etwa gleich große Teilfläche wurde als Referenzfläche ohne Defektflächen untersucht. Die gesamte Ackerfläche wurde für die Untersuchungen schematisch in Raster unterteilt (Abbildung 185). In den drei Versuchsjahren wurden 16 bis 24 Defektflächen je Versuchsfeld und Jahr angelegt. Die Anzahl und Verteilung der Defektflächen richtete sich nach der potentiellen Reviergröße der Feldlerchen. Auf Ackerflächen wird von 4 – 6 Revieren je 10 ha ausgegangen. Die Defektflächen wurden in drei Größen zwischen 18 und 180 m² und gleichmäßig verteilt auf den Teilflächen angelegt.

Die Ackerflächen waren zwischen 65 und 120 ha groß. Um Randeffekte zu vermeiden wurde ein Abstand von etwa 200 m vor allem zu Gehölzstrukturen eingehalten. Auf den Versuchsfeldern betrug die Arbeitsbreite bei der Applikation von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln (Regelspur) 24 oder 36 m und die Breite der Fahrspuren lag zwischen 50 und 60 cm, teilweise betrug sie bis zu 80 cm.



Abbildung 185: Untersuchungsfläche und Anlage der Defektflächen

Figure 185: Study area with skylark plots

Die Erfassung der Siedlungsdichte der Feldlerchen wurde in Anlehnung an BIBBY et al. (1995) wöchentlich von April bis Juli (2005: 19.05. – 01.07.; 2006: 20.04. – 20.07.; 2007: 13.04. – 25.07.) durchgeführt. Kartiert wurden die singenden Männchen der Feldlerchen, die als revieranzeigend gelten

und daher als Indikator für die Siedlungsdichte genutzt wurden. Die Kartierung erfolgte immer in den frühen Morgenstunden zwischen 5 Uhr und 10.30 Uhr. Bei stärkerem Wind oder Regen wurde die Kartierung nicht durchgeführt, da die Aktivität der singenden Männchen durch die ungünstige Witterung beeinflusst wird.

Aus den wöchentlichen Kartierungen wurden anschließend die Reviere abgeleitet. Ein Revier wurde festgelegt, wenn über einen Zeitraum von vier Wochen an mindestens drei Terminen ein singendes Männchen beobachtet wurde.

Weiterhin wurde auf den Ackerflächen im Untersuchungszeitraum von April bis Juli 14-täglich die Vegetationsstruktur erfasst. Je ausgewiesenem Raster wurden in einem festgelegten 5 x 5 m Quadrat die Vegetationshöhe sowie die Bodenbedeckung des Winterweizenbestandes aufgenommen. Die Untersuchungspunkte wurden mit GPS eingemessen und zusammen mit weiteren Daten in GIS (ArcView GIS 3.3) und Access (Microsoft Access 2000, © 1992 – 1999) bearbeitet und verwaltet.

Die unter 6.3.2.2 beschriebenen Untersuchungen wurden wie im Folgenden ausgewertet. Ausgehend von Ackerflächen, die als voneinander unabhängig gelten, wurden der Kolmogorov-Smirnov Test oder der Shapiro-Wilk Test für Stichproben mit weniger als 50 Datensätzen (BROSIUS 2004) zur Prüfung der Normalverteilung genutzt.

Für den Vergleich der beiden Teilflächen mit und ohne Defektflächen hinsichtlich der besetzten Reviere (Präsenz je Raster) je Brutperiode, je Ackerfläche und Jahr wurden Kontingenztafeln (2 x 2-Wegetafel) und der Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test) genutzt. Dafür wurden die besetzten und unbesetzten Reviere je Brutperiode ermittelt. Wenn während des betrachteten Zeitraumes von vier Wochen in wenigstens 3 Wochen ein singendes Männchen im Raster beobachtet werden konnte, wurde das Raster als besetzt bezeichnet. Die Raster wurden als potentielle Reviere angenommen.

Zur Auswertung der Daten wurden die Programme SPSS 12.0 (© SPSS Inc., 1989 – 2003) and Microsoft Excel (© 1985 – 1999) verwendet. Als Signifikanzniveau wurde $p < 0.05$ festgelegt.

6.3.3.2 Ergebnisse

Für die Untersuchungen zur Siedlungsdichte der Feldlerche auf betriebsüblich bewirtschafteten Winterweizenflächen mit und ohne Anlage von Defektflächen (DF) wurde 2005 und 2007 der Schlag „Weinberg“ (631) und 2006 der Schlag „An der Spinne“ (460) genutzt. In allen drei Projektjahren konnten auf den Versuchsflächen ähnliche Bedingungen in der Vegetationsstruktur, d. h. Vegetationshöhe und Bodenbedeckung der Kulturpflanzen ermittelt werden (Abbildung 186, Abbildung 187). Die Vegetationsentwicklung verlief vermutlich aufgrund der jeweiligen Witterungsbedingungen in den Jahren unterschiedlich. Im Zeitraum der zweiten Brutperiode ab Anfang Juni (etwa Kalenderwoche = KW 22) waren die Vegetationshöhe sowie die Bodenbedeckung wieder etwa gleich. Die Vegetationshöhe lag im Juni jeweils bei etwa 80 cm. Die geschätzte Bodenbedeckung erreichte in allen drei Jahren maximal 75 %. 2005 wurden zunächst zu hohe, dann stark abnehmend geringere Bodenbedeckungen aufgenommen. Die Werte der Kalenderwochen 20 und 21 sind wahrscheinlich Schätzfehler.

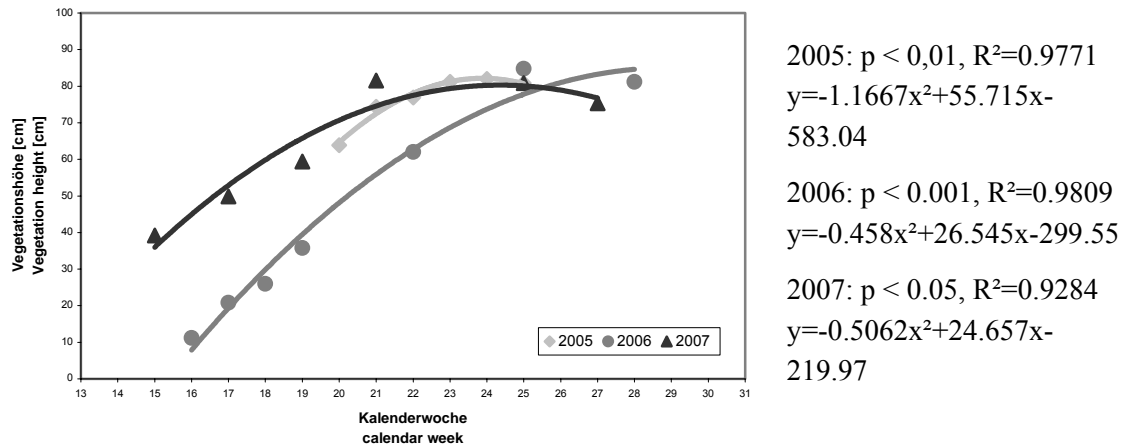


Abbildung 186: Vegetationshöhe der Kulturpflanzen (cm) während der Brutsaison der Feldlerchen von April bis Juli

Figure 186: Vegetation height of winter wheat (cm) from April to July (breeding season of skylarks)

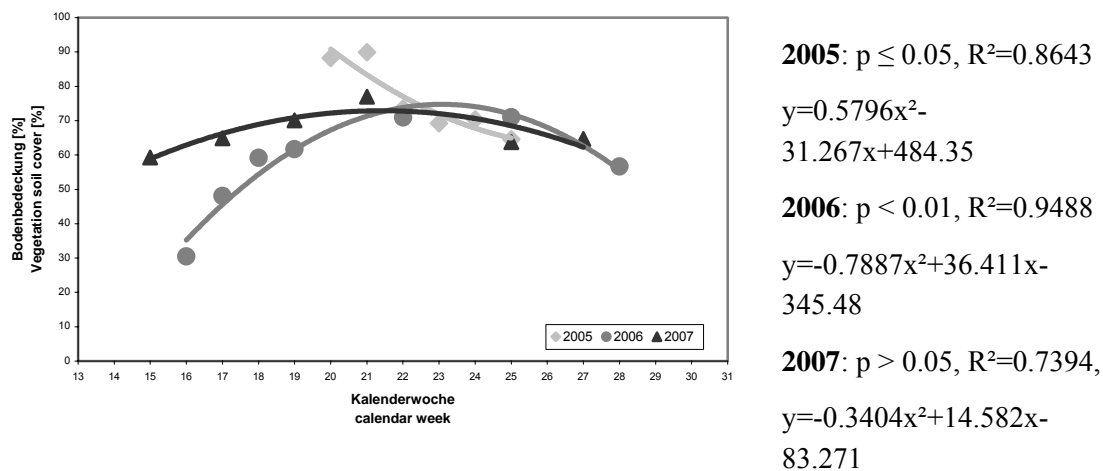
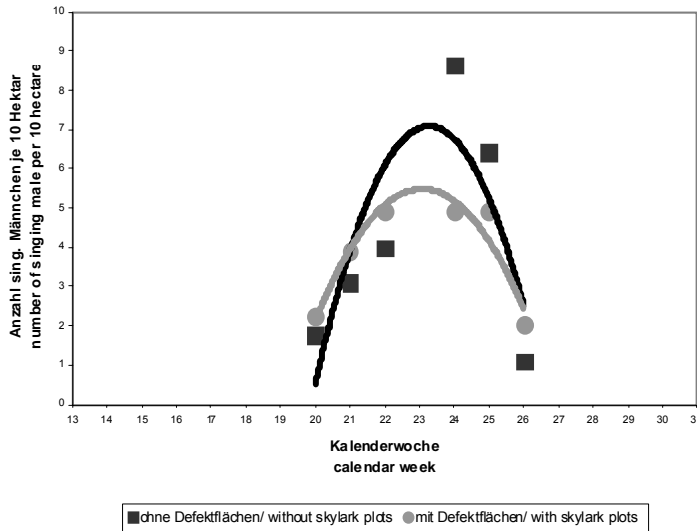


Abbildung 187: Bodenbedeckung während der Brutsaison von April bis Juli

Figure 187: Vegetation soil cover during the skylark breeding seasons from April to July

Die Anzahl singender Männchen war in allen drei Untersuchungsjahren relativ hoch. Bis zu neun singende Männchen je 10 Hektar wurden aufgenommen. Allerdings war die Anzahl auf jeweils beiden Teilflächen kaum verschieden (Abbildung 188). Die erwartete Abnahme der Feldlerchen (singende Männchen) mit zunehmender Vegetationsentwicklung auf Teilflächen ohne Defektflächen, konnte in keinem Untersuchungsjahr eindeutig beobachtet werden. Auch bei Anlage von Defektflächen wurde ein ähnlicher Verlauf in der Anzahl der singenden Männchen von April bis Juli verzeichnet. Auf den Teilflächen mit Defektflächen sollte die Anzahl der Feldlerchen wenigstens gleich bleiben oder sogar zunehmen. Dieses Verhalten der Feldlerche, dass in Voruntersuchungen in einer anderen Region untersucht und festgestellt wurde, konnte hier nicht bestätigt werden.

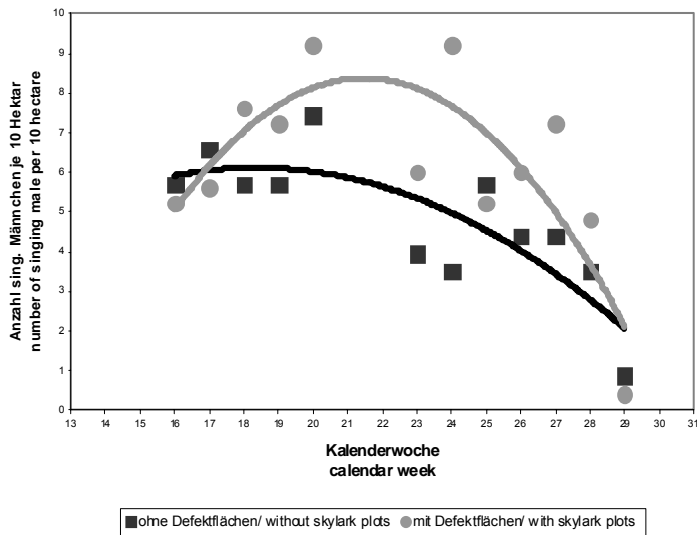
Lediglich 2006 war zumindest der Trend zu verzeichnen, dass die Teilfläche mit Defektflächen für die Feldlerchen attraktiver war und die Anzahl der singenden Männchen von April bis Juni etwas zunahm. Allerdings nahm die Anzahl auf der Teilfläche ohne Defektflächen kaum ab. Signifikante Unterschiede konnten deshalb nicht ermittelt werden (Tabelle 84).



2005

mit DF/ with skylark plots:
 $p < 0.05$, $R^2=0.9096$,
 $y = -0.3563x^2 + 16.439x - 184.15$

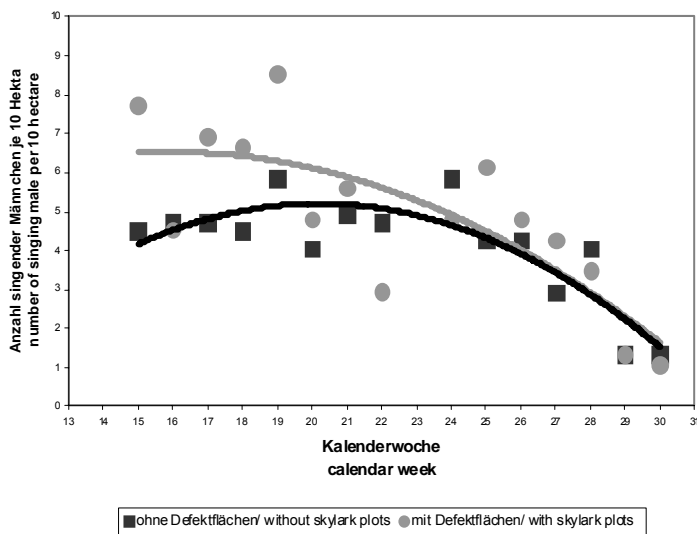
ohne DF/ without skylark plots:
 $p > 0.05$, $R^2=0.6719$,
 $y = -0.6146x^2 + 28.604x - 325.73$



2006

mit DF/ with skylark plots:
 $p < 0.01$, $R^2=0.6468$,
 $y = -0.1106x^2 + 4.7481x - 42.601$

ohne DF/ without skylark plots:
 $p < 0.01$, $R^2=0.6656$,
 $y = -0.0357x^2 + 1.3119x - 5.9158$



2007

mit DF/ with skylark plots:
 $p < 0.01$, $R^2=0.6083$,
 $y = -0.0246x^2 + 0.7814x + 0.3264$

ohne DF/ without skylark plots:
 $p < 0.001$, $R^2=0.7407$,
 $y = -0.0384x^2 + 1.5528x - 10.489$

Abbildung 188: Anzahl der singenden Männchen auf Teilflächen mit und ohne Defektfächen (DF) in den Jahren 2005 bis 2007

Figure 188: Number of singing skylark males on field parts with and without skylark plots in 2005 – 2007

Tabelle 84: Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test): Anzahl besetzter Reviere auf Teilflächen mit und ohne Defektflächen je Brutperiode und Jahr

Table 84 Chi-square (χ^2) test: Number of occupied territories on sections with and without skylark plots per breeding period and year

Jahr Year	Brutperiode breeding season	Defektflächen J/N skylark plots Y/N	Feldlerche J/N skylark Y/N		gesamt total	Signifikanz significance
			0	1		
2005	2	0	7	17	24	$\chi^2 = 0.820$ P > 0.05
		1	10	14	24	
		total	17	31	48	
2006	1	0	14	8	22	$\chi^2 = 0.006$ P > 0.05
		1	15	9	24	
		total	29	17	46	
	2	0	15	7	22	$\chi^2 = 0.947$ P > 0.05
		1	13	11	24	
		total	28	18	46	
2007	1	0	3	16	19	$\chi^2 = 2.763$ P > 0.05
		1	0	16	16	
		total	3	32	35	
	2	0	7	12	19	$\chi^2 = 1.393$ P > 0.05
		1	3	13	16	
		total	10	25	35	

6.3.3.3 Diskussion

Für die hier ermittelten, unerwarteten Ergebnisse werden verschiedene Ursachen vermutet.

Die Ausgangsbedingungen und damit die Voraussetzungen für den Versuchsansatz, d. h. hauptsächlich die Vegetationsstruktur, entsprachen nicht den im Vorfeld zugrunde gelegten Annahmen. Die Pflanzendecke auf den Ackerflächen war sehr heterogen und z. T. lückig. Die Bodenbedeckung war mit etwa 75 % Mitte Juni wesentlich niedriger als erwartet. Untersucht werden sollten homogene und dichte Wintergetreideflächen.

In einer gemeinsamen Analyse der Daten aus Voruntersuchungen und den in *pre agro* erhobenen Daten zeigte sich, dass die Bestandesdichte, hier als Bodenbedeckung erfasst, eine wesentliche Bedeutung für die Eignung der Ackerflächen für die Feldlerchen als Brut- und Nahrungshabitat hat (JÖRNS & BERGER, eingereicht). Dabei ist die zweite Brutperiode (etwa Mitte Mai bis Ende Juni) für die Reproduktion der Feldlerchen eine sehr wichtige und kritische Zeit. Im Frühjahr während der ersten Brutperiode (etwa bis Mitte Mai) können die Feldlerchen auch auf intensiv bewirtschafteten Getreidefeldern Raum zur Nahrungssuche sowie zum Nestbau und Brüten finden. Die Kulturpflanzenbestände sind noch niedriger und lückiger. Mit zunehmend dichten und hoch wachsenden Kulturpflanzenbeständen (etwa ab 90 % Bodenbedeckung) verschlechtern sich die Habitatbedingungen für die Feldlerchen erheblich. Auf den in *pre agro* untersuchten Ackerflächen waren die Bestandeseigenschaften (etwa nur 75 % Bodenbedeckung) jedoch deutlich davon abweichend, so dass hier wesentlich günstigere Habitatbedingungen für die Feldlerchen zu verzeichnen waren.

Neben der unerwartet niedrigen Bestandesdichte waren die Fahrspuren in allen drei Jahren aufgrund der im Versuchsbetrieb genutzten Technik und Technologie teilweise sehr breit. Die Feldlerchen nutzen diese zwischen 60 – 80 cm breiten Spuren ebenfalls als Brutplatz. Die Nester werden meist in der ersten Drillreihe neben oder auch mittig der Fahrspur angelegt. Dort sind sie durch das Befahren zur Düngemittel- oder Pflanzenschutzmittelapplikation und durch Prädatoren, wie z. B. den Fuchs gefährdet, so dass nur ein sehr geringer Reproduktionserfolg anzunehmen ist.

Kartiert wurden die als Revier anzeigend geltenden singenden Männchen der Feldlerche (DELIUS 1965). Aber unter ungünstigen Bedingungen singen die Männchen auch, obwohl sie kein zu ihnen gehörendes brütendes Weibchen haben (WAKEHAM-DAWSON et al. 1998). Um eine Beurteilung der Habitatbedingungen vornehmen zu können, sollten die Reviere eindeutig nachgewiesen werden. Dafür müssten die Neststandorte ermittelt und der Bruterfolg dokumentiert werden. Diese zeit- und personaufwendige Methodik war in dem Projektrahmen nicht zu leisten.

Literatur

- BARBER, H.S. (1931): Traps for cave-inhabiting insects. *Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society* 46, 259 – 266.
- BARNDT, D., S. BRASE, M. GLAUCHE, H. GRUTTKE, B. KEGEL, R. PLATEN & H. WINKELMANN (1991): Die Laufkäferfauna von Berlin (West) – mit Kennzeichnung und Auswertung der verschollenen und gefährdeten Arten (Rote Liste, 3. Fassung). In: Auhagen, A., H. Sukopp & R. Platen: Rote Listen der gefährdeten Pflanzen und Tiere in Berlin., 243 – 275.
- BIBBY, C.J., N.D. BURGESS & D.A. HILL (1995). Methoden der Feldornithologie: Bestandserfassung in der Praxis. Neumann Verlag, Radebeul.
- BROSIUS, F. (2004). SPSS 12 – Das mitp-Standardwerk. mitp, Bonn.
- DELIUS, J.D. (1965): Das Verhalten der Feldlerche. *Zeitschrift für Tierpsychologie* 20, 297 – 348.
- DOHMEN, B., U. WAGNER & A. REH (2002): Bestandesinformation. In: Precision Agriculture: Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis., 109 – 116. Werner, A. & A. Jarfe, Darmstadt.
- ENGELMANN, H.-D. (1978): Zur Dominanzklassifizierung von Bodenarthropoden. *Pedobiologia* 18,5 – 6: 378 – 380.
- HOFMEISTER, H. & E. GARVE (1998): Lebensraum Acker. Parey, Berlin.
- JONGMAN, R.H.G., C.J.F. TER BRAAK & O.F.R. van TONGEREN (2002): Data analysis in community and landscape ecology. Cambridge
- JÖRNS, S. & G. BERGER (2006): Entwicklung und Analyse von gezielten Verfahren der Teilflächenbewirtschaftung zu Aspekten des Naturschutzes. In: Autorenkollektiv *pre agro* (2006): Forschungsverbund *pre agro* II – Informationsgeleitete Pflanzenproduktion mit Precision Farming als zentrale inhaltliche und technische Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaftlichen Nutzung. Zwischenbericht 2005, 263-276.
http://www.preagro.de/Veroeff/preagro_ZB2005_Kapitel_66.pdf (zuletzt besucht am 30.6.2008)
- KENT, M. & P. COKER (2000): Vegetation description and analysis: a practical approach. Wiley, Chichester.
- LONDO, G. (1975): Dezimalskala für die vegetationskundliche Aufnahme von Dauerquadraten. In: Schmidt, W. [Hrsg.]: Berichte der internationalen Symposien der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde 17: Sukzessionsforschung 17: 613 – 617.
- MÜLLER-MOTZFELD, G. (2006): Bd. 2: Adepaha 1: Carabidae (Laufkäfer). In: Freude, H., K.W. Harde, G.A. Lohse & B. Klausnitzer: Die Käfer Mitteleuropas, 1 – 521. Spektrum-Verlag, Heidelberg, Berlin.

- ROTHMALER, W. (2002): Exkursionsflora von Deutschland. Band 4 (Gefäßpflanzen: Kritischer Band). Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- SCHNITTER, P.H., M. TROST, I. AL HUSSEIN, W. CIUPA, E. GRILL, M. LÜBKE-AL HUSSEIN, W. MALCHAU, T. PIETSCH, G. SCHMIEDTCHEN, F. TIETZE & A. RÖBLER (2004): Rote Liste der Laufkäfer (Coleoptera: Carabidae) des Landes Sachsen-Anhalt. In: Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt 39, 252 – 263. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt.
- SCHUBERT, R. (2001): Prodromus der Pflanzengesellschaften Sachsen-Anhalts. Mitteilungen zur floristischen Kartierung Sachsen-Anhalt Sonderheft 2: 1 – 668.
- TER BRAAK, C.J.F. & P. SMILAUER (1998): Canoco 4. Canoco Reference Manual and Users Guide to Canoco for Windows. Centre for Biometry Wageningen, Wageningen, Niederlande.
- TRAUTNER, J., G. MÜLLER-MOTZFELD & M. BRÄUNICKE (1998): Rote Liste der Sandlaufkäfer und Laufkäfer (Coleoptera: Cicindelidae et Carabidae). In: Bundesamt für Naturschutz [Hrsg.]: Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz Heft 55: 159 – 167. Bonn-Bad Godesberg.
- WAKEHAM-DAWSON, A., K. SZOSZKIEWICZ, K. STERN & N.J. AEBISCHER (1998): Breeding skylarks *Alauda arvensis* on Environmentally Sensitive Area arable reversion grass in southern England: survey-based and experimental determination of density. *Journal of Applied Ecology* 35, 635 – 648.
- WERNER, A., F. DREGER & J. SCHWARZ (2005): Fulfilling economic and ecological demands in crop production with information driven technologies in land use – Precision Farming as a key-stone for integrated land and water management. ICID 21st European Regional Conference 2005, Frankfurt (Oder), Slubice.
- WISSKIRCHEN, R. & H. HAEUPLER (1998): Die Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. 1. Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. Ulmer, Stuttgart.

Anschrift der Autoren:

Dipl. Biol. Susanne Jörns

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.

Institut für Landnutzungssysteme

Eberswalder Straße 84

15374 Müncheberg

Telefon: (033432) 82-114

Telefax: (033432) 82-387

E-Mail: joerns@zalf.de

Dr. Gert Berger

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.

Institut für Landnutzungssysteme

Eberswalder Straße 84

15374 Müncheberg

Telefon: (033432) 82-328

Telefax: (033432) 82-387

E-Mail: gberger@zalf.de

Dipl. Gartenbau-Ingenieurin Ilse Wolf

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.

Institut für Landnutzungssysteme

Eberswalder Straße 84

15374 Müncheberg

Telefon: (033432) 82-318

Telefax: (033432) 82-387

E-Mail: iwolf@zalf.de

6.3.4 Anhang

Anhang, Tabelle 8: Dominanztabelle der Arten (Einteilung nach ENGELMANN 1978) auf Ackerfläche 2006_0 und Klassifikation nach ökologischen Typen und Rote-Liste-Status (Kategorien Rote Liste: 1 = vom Aussterben bedroht, 2 = stark gefährdet, 3 = gefährdet, R = extrem selten, G = Gefährdung anzunehmen, V = Vorwarnliste)

Appendix, Table 8: Dominance of species (classification according to ENGELMANN 1978) on field 2006_0 and ecological types and Red Lists status (Red List classes: 1 = endangered, 2 = high vulnerable, 3 = vulnerable, R = extremely rare, G = endangering assumed, V = potentially endangered (“Vorwarnliste”))

Art	N	%	Ökol. Typen	RL SA	RL D
Eudominante					
Pterostichus melanarius	4497	63,2	eu		
Dominante					
Carabus auratus	982	13,8	(x)		
Subdominante					
Anchomenus dorsalis	686	9,6	(x)		
Calathus fuscipes	229	3,2	(x)(w)		
Poecilus cupreus	310	4,4	(h)		
Rezedente					
Harpalus affinis	141	2,0	(x)		
Pseudoophonus rufipes	103	1,4	(x)		
Subrezedente					
Amara ovata	24	0,3	(h)		
Amara similata	25	0,3	eu		
Poecilus versicolor	61	0,9	(h)		
Sporadische					
Trechus quadristriatus	18	0,3	(x)		
Bembidion lampros	12	0,2	(x)(w)		
Clivina fossor	4	0,1	eu		
Calathus ambiguus	3	0,0	x		
Harpalus distinguendus	3	0,0	(x)		
Calathus erratus	3	0,0	x		
Carabus granulatus	2	0,0	h (w)		
Microlestes minutulus	1	0,0	(x)		
Notiophilus palustris	1	0,0	h w		
Amara aenea	1	0,0	(x)		
Amara plebeja	1	0,0	eu		
Amara familiaris	1	0,0	(x)(w)		
Brachinus explodens	1	0,0	(x)	3	
Loricera pilicornis	1	0,0	(h)(w)		
Notiophilus biguttatus	1	0,0	(h) w		
Amara littorea	1	0,0	(x)	2	
Bembidion obtusum	1	0,0	(x)		
Bembidion properans	1	0,0	(x)		
Ophonus azureus	1	0,0	x		
Amara aulica	1	0,0	(x)		

Art	N	%	Ökol. Typen	RL SA	RL D
Calathus cinctus	1	0,0	x		
Demetrias atricapillus	1	0,0	(x)		
Badister bullatus	1	0,0	(x)(w)		
Calosoma auropunctatum	1	0,0	(x)		3
Harpalus signaticornis	1	0,0	(x)		

Anhang, Tabelle 9: Dominanztabelle der Arten (Einteilung nach ENGELMANN (1978)) auf Ackerfläche 2006_1 und Klassifikation nach ökologischen Typen und Rote-Liste-Status (Kategorien Rote Liste: 1 = vom Aussterben bedroht, 2 = stark gefährdet, 3 = gefährdet, R = extrem selten, G = Gefährdung anzunehmen, V = Vorwarnliste)

Appendix, Table 9: Dominance of species (classification according to ENGELMANN (1978)) on field 2006_1 and ecological types and Red Lists status (Red List classes: 1 = endangered, 2 = high vulnerable, 3 = vulnerable, R = extremely rare, G = endangering assumed, V = potentially endangered ("Vorwarnliste"))

Art	N	%	Ökol. Typen	RL SA	RL D
Eudominante					
Poecilus cupreus	3013	62,84	(h)		
Dominante					
Pterostichus melanarius	1163	24,26	eu		
Rezedente					
Anchomenus dorsalis	69	1,44	(x)		
Calathus fuscipes	128	2,68	(x)(w)		
Harpalus affinis	79	1,66	(x)		
Poecilus versicolor	95	1,98	(h)		
Pseudoophonus rufipes	88	1,83	(x)		
Subrezedente					
Bembidion lampros	23	0,47	(x)(w)		
Harpalus distinguendus	30	0,62	(x)		
Microlestes minutulus	18	0,38	(x)		
Sporadische					
Calosoma auropunctatum	14	0,29	(x)		3
Bembidion quadrimaculatum	14	0,29	(x)		
Bembidion properans	9	0,18	(x)		
Clivina fossor	6	0,13	eu		
Calathus ambiguus	6	0,12	x		
Carabus granulatus	6	0,12	h (w)		
Carabus auratus	5	0,11	(x)		
Calathus cinctus	5	0,10	x		
Trechus quadristriatus	5	0,10	(x)		
Amara similata	4	0,08	eu		
Clivina collaris	3	0,05	h		V
Dolichus halensis	2	0,04	(x)	2	2
Loricera pilicornis	2	0,04	(h)(w)		
Anisodactylus binotatus	2	0,04	(h)(w)		
Harpalus signaticornis	2	0,04	(x)		
Amara ovata	2	0,03	(h)		
Calathus erratus	1	0,02	x		

Art	N	%	Ökol. Typen	RL SA	RL D
Syntomus foveatus	1	0,01	x		
Acupalpus meridianus	1	0,01	(x)		
Bembidion tetracolum	1	0,01	eu		
Calosoma inquisitor	1	0,01	(h) w	3	3
Demetrias atricapillus	1	0,01	(x)		
Harpalus tardus	1	0,01	(x)		

Anhang, Tabelle 10: Dominanztabelle der Arten (Einteilung nach ENGELMANN (1978)) auf Ackerfläche 2007_0 und Klassifikation nach ökologischen Typen und Rote-Liste-Status (Kategorien Rote Liste: 1 = vom Aussterben bedroht, 2 = stark gefährdet, 3 = gefährdet, R = extrem selten, G = Gefährdung anzunehmen, V = Vorwarnliste)

Appendix, Table 10: Dominance of species (classification according to ENGELMANN (1978)) on field 2007_0 and ecological types and Red Lists status (Red List classes: 1 = endangered, 2 = high vulnerable, 3 = vulnerable, R = extremely rare, G = endangering assumed, V = potentially endangered (“Vorwarnliste”))

Art	N	%	Ökol. Typen	RL SA	RL D
Eudominante					
Poecilus cupreus	6795	58,06	(h)		
Dominante					
Pterostichus melanarius	1935	16,53	eu		
Subdominante					
Pseudoophonus rufipes	523	4,47	(x)		
Anchomenus dorsalis	512	4,37	(x)		
Harpalus affinis	459	3,92	(x)		
Carabus auratus	424	3,62	(x)		
Rezedente					
Bembidion lampros	309	2,64	(x)(w)		
Harpalus distinguendus	145	1,24	(x)		
Calathus fuscipes	129	1,10	(x)(w)		
Subrezedente					
Trechus quadristriatus	85	0,73	(x)		
Amara similata	79	0,67	eu		
Sporadische					
Bembidion obtusum	37	0,32	(x)		
Poecilus versicolor	35	0,30	(h)		
Bembidion properans	24	0,20	(x)		
Brachinus explosens	20	0,17	(x)	3	
Amara aenea	20	0,17	(x)		
Harpalus signaticornis	17	0,15	(x)		
Clivina fossor	13	0,11	eu		
Loricera pilicornis	13	0,11	(h)(w)		
Microlestes minutulus	12	0,10	(x)		
Calathus ambiguus	10	0,09	x		
Harpalus tardus	9	0,08	(x)		
Notiophilus biguttatus	8	0,07	(h) w		
Demetrias atricapillus	8	0,07	(x)		
Calathus melanocephalus	7	0,06	(x)		

Art	N	%	Ökol. Typen	RL SA	RL D
<i>Calathus cinctus</i>	7	0,06	x		
<i>Harpalus luteicornis</i>	6	0,05	(x)		V
<i>Calosoma auropunctatum</i>	6	0,05	(x)		3
<i>Nebria brevicollis</i>	4	0,03	(h)(w)		
<i>Poecilus lepidus</i>	4	0,03	(x)		V
<i>Poecilus punctulatus</i>	4	0,03	(x)	3	2
<i>Amara bifrons</i>	3	0,03	x		
<i>Bembidion guttula</i>	3	0,03	h		V
<i>Harpalus smaragdinus</i>	3	0,03	x		
<i>Bembidion lunulatum</i>	3	0,03	h		
<i>Anisodactylus binotatus</i>	2	0,02	(h)(w)		
<i>Amara consularis</i>	2	0,02	(x)		
<i>Amara curta</i>	2	0,02	x		V
<i>Amara familiaris</i>	2	0,02	(x)(w)		
<i>Amara ovata</i>	2	0,02	(h)		
<i>Dolichus halensis</i>	2	0,02	(x)	2	2
<i>Harpalus rubripes</i>	2	0,02	x		
<i>Acupalpus meridianus</i>	2	0,02	(x)		
<i>Stomis pumicatus</i>	2	0,02	h		
<i>Acupalpus parvulus</i>	1	0,01	h		V
<i>Notiophilus aestuans</i>	1	0,01	(x)		V
<i>Pterostichus oblongopunctatus</i>	1	0,01	(x) w		
<i>Agonum versutum</i>	1	0,01	h		2
<i>Amara apicaria</i>	1	0,01	(x)		
<i>Amara aulica</i>	1	0,01	(x)		
<i>Amara municipalis</i>	1	0,01	(x)		V
<i>Amara plebeja</i>	1	0,01	eu		
<i>Bembidion quadrimaculatum</i>	1	0,01	(x)		
<i>Calathus erratus</i>	1	0,01	x		
<i>Carabus granulatus</i>	1	0,01	h (w)		
<i>Dyschirius globosus</i>	1	0,01	h (w)		
<i>Harpalus anxius</i>	1	0,01	x		
<i>Harpalus serripes</i>	1	0,01	x		V
<i>Notiophilus palustris</i>	1	0,01	h w		
<i>Ophonus azureus</i>	1	0,01	x		
<i>Badister sodalis</i>	1	0,01	h (w)	3	

Anhang, Tabelle 11: Dominanztabelle der Arten (Einteilung nach ENGELMANN (1978)) auf Ackerfläche 2007_1 und Klassifikation nach ökologischen Typen und Rote-Liste-Status (Kategorien Rote Liste: 1 = vom Aussterben bedroht, 2 = stark gefährdet, 3 = gefährdet, R = extrem selten, G = Gefährdung anzunehmen, V = Vorwarnliste)

Appendix, Table 11: Dominance of species (classification according to ENGELMANN (1978)) on field 2006_0 and ecological types and Red Lists status (Red List classes: 1 = endangered, 2 = high vulnerable, 3 = vulnerable, R = extremely rare, G = endangering assumed, V = potentially endangered (“Vorwarnliste”))

Art	N	%	Ökol. Typen	RL SA	RL D
Eudominante					
Pterostichus melanarius	1482	60,01	eu		
Dominante					
Poecilus cupreus	593	24,02	(h)		
Subdominante					
Pseudoophonus rufipes	113	4,59	(x)		
Rezedente					
Bembidion lampros	45	1,84	(x)(w)		
Bembidion obtusum	35	1,43	(x)		
Subrezedente					
Harpalus affinis	18	0,74	(x)		
Amara similata	18	0,72	eu		
Calathus ambiguus	16	0,65	x		
Anchomenus dorsalis	14	0,58	(x)		
Loricera pilicornis	13	0,53	(h)(w)		
Calathus fuscipes	12	0,50	(x)(w)		
Poecilus versicolor	9	0,37	(h)		
Amara lunicollis	8	0,33	(h)		
Harpalus distinguendus	8	0,33	(x)		
Carabus nemoralis	8	0,33	(h)(w)		
Sporadische					
Amara ovata	8	0,32	(h)		
Demetrias atricapillus	7	0,28	(x)		
Amara plebeja	6	0,25	eu		
Clivina fossor	5	0,20	eu		
Bembidion propeans	4	0,17	(x)		
Calathus cinctus	4	0,17	x		
Harpalus signaticornis	4	0,16	(x)		
Trechus quadristriatus	4	0,16	(x)		
Calosoma auropunctatum	3	0,12	(x)		3
Amara communis	3	0,12	(h)(w)		
Harpalus tardus	3	0,12	(x)		
Carabus violaceus	3	0,11	(x) w		
Carabus granulatus	2	0,09	h (w)		
Notiophilus biguttatus	2	0,09	(h) w		
Amara convexior	2	0,08	(x)		
Harpalus rubripes	2	0,08	x		
Dolichus halensis	2	0,08	(x)	2	2
Acupalpus meridianus	1	0,04	(x)		

Art	N	%	Ökol. Typen	RL SA	RL D
<i>Carabus auratus</i>	1	0,04	(x)	3	
<i>Pterostichus vernalis</i>	1	0,04	h		
<i>Brachinus expulso</i>	1	0,04	(x)		
<i>Calathus melanocephalus</i>	1	0,04	(x)		
<i>Microlestes minutulus</i>	1	0,04	(x)		
<i>Oodes helopioides</i>	1	0,04	h		
<i>Platynus assimilis</i>	1	0,04	h (w)		
<i>Syntomus truncatellus</i>	1	0,04	(x)		
<i>Amara familiaris</i>	1	0,04	(x)(w)		

Anhang, Tabelle 12: Arten auf Ackerfläche 2006_0 und Bewertung als Problemunkraut (x = Problemunkräuter nach HOFMEISTER & GARVE (1998))

Appendix, Table 12: Species on field 2006_0 and classification with regard to noxious weeds (x = noxious weeds according to HOFMEISTER & GARVE (1998))

Art	Stetigkeit	Problemunkraut
<i>Viola arvensis</i> Murray	89	x
<i>Fallopia convolvulus</i> (L.) Å. Löve	44	x
<i>Galium aparine</i> L.	33	x
<i>Brassica napus</i> subsp. <i>napus</i>	22	
<i>Fumaria officinalis</i> L. s.l.	11	
<i>Polygonum aviculare</i> L. (s.l.)	11	
<i>Solanum nigrum</i> L.	11	x
<i>Veronica hederifolia</i> L. s. l.	11	x

Anhang, Tabelle 13: Arten auf Ackerfläche 2006_1 und Bewertung als Problemunkraut (x = Problemunkräuter nach HOFMEISTER & GARVE (1998))

Appendix, Table 13: Species on field 2006_1 and classification with regard to noxious weeds (x = noxious weeds according to HOFMEISTER & GARVE (1998))

Art	Stetigkeit	Problemunkraut
<i>Fallopia convolvulus</i> (L.) Å. Löve	89	x
<i>Elymus repens</i> (L.) Gould s. str.	78	x
<i>Chenopodium album</i> L.	67	
<i>Aethusa cynapium</i> L.	44	
<i>Persicaria maculosa</i> Gray	44	x
<i>Viola arvensis</i> Murray	44	x
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	33	
<i>Galium aparine</i> L.	33	x
<i>Trifolium repens</i> L.	33	
<i>Descurainia sophia</i> (L.) Prantl	22	
<i>Euphorbia exigua</i> L.	22	
<i>Fumaria officinalis</i> L. s.l.	22	
<i>Polygonum aviculare</i> L. (s.l.)	22	
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	11	
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	11	x
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	11	
<i>Euphorbia helioscopia</i> L.	11	
<i>Lactuca serriola</i> L.	11	
<i>Rumex obtusifolius</i> L.	11	

Art	Stetigkeit	Problemunkraut
Thlaspi arvense L.	11	x
Tripleurospermum perforatum (Mérat) Lain	11	x
Veronica hederifolia L. s. l.	11	x

Anhang, Tabelle 14: Arten auf Ackerfläche 2007_0 und Bewertung als Problemunkraut (x = Problemunkräuter nach HOFMEISTER & GARVE (1998); += Problemunkräuter nach eigener Beobachtung und Einschätzung der Landwirte)

Appendix, Table 14: Species on field 2007_0 and classification with regard to noxious weeds (x = noxious weeds according to HOFMEISTER & GARVE (1998); += noxious weeds according to own judgement and information from farmers)

Art	Stetigkeit	Problemunkraut
Matricaria recutita L.	100	x
Fallopia convolvulus (L.) Å. Löve	67	x
Veronica hederifolia L. s. l.	67	x
Viola arvensis Murray	67	x
Aphanes arvensis L.	56	
Geranium pusillum Burm. f.	56	
Polygonum aviculare L. (s.l.)	56	
Lamium amplexicaule L.	44	
Alopecurus myosuroides Huds.	11	x
Chenopodium album L.	11	+
Cirsium arvense (L.) Scop.	11	x
Convolvulus arvensis L.	11	
Descurainia sophia (L.) Prantl	11	
Rumex obtusifolius L.	11	
Thlaspi arvense L.	11	x

Anhang, Tabelle 15: Arten auf Ackerfläche 2007_1 und Bewertung als Problemunkraut (x = Problemunkräuter nach HOFMEISTER & GARVE (1998); += Problemunkräuter nach eigener Beobachtung und Einschätzung der Landwirte)

Appendix, Table 15: Species on field 2007_0 and classification with regard to noxious weeds (x = noxious weeds according to HOFMEISTER & GARVE (1998); += noxious weeds according to own judgement and information from farmers)

Art	Stetigkeit	Problemunkraut
Veronica hederifolia L. s. l.	100	x
Alopecurus myosuroides Huds.	78	x
Persicaria maculosa Gray	78	x
Cirsium arvense (L.) Scop.	56	x
Chenopodium album L.	33	
Viola arvensis Murray	33	x
Fallopia convolvulus (L.) Å. Löve	22	x
Polygonum aviculare L. (s.l.)	22	+
Amaranthus retroflexus L.	11	
Convolvulus arvensis L.	11	
Sonchus arvensis L.	11	

Anhang, Tabelle 16: Standort- und Bewirtschaftungsdaten 2006

Appendix, Table 16: Information about sites and cultivation 2006

Ackerfläche	Aufnahmepunkte	Sorte	Zone	Aussaat K/qm	Aussaat kg/ha	Nges kg/ha	Beregnung Ja/Nein	Insektizide Ja/Nein	Rand	BZ_RBS	pH-Wert	GLA	BDges MW	BDges 1	BDges 2
2006_0	Wu811_01	Terrier	3	295	135	197	0	0	73	48	6,23	2,5	45	45	45
	Wu811_02	Terrier	3	295	135	197	0	0	80	57	5,40	1,9	40	40	40
	Wu811_03	Terrier	3	295	135	197	0	0	90	62	5,35	2,2	50	45	55
	Wu811_04	Terrier	2	295	135	197	0	0	162	48	5,33	2,2	45	40	50
	Wu811_05	Terrier	2	295	135	197	0	0	132	48	5,65	2,3	58	55	60
	Wu811_06	Terrier	2	295	135	197	0	0	91	48	5,22	1,8	43	40	45
	Wu811_07	Terrier	1	295	135	197	0	0	99	76	6,70	2,6	49	30	68
	Wu811_08	Terrier	1	295	135	197	0	0	69	80	7,24	2,7	68	55	80
	Wu811_09	Terrier	1	295	135	197	0	0	83	69	7,26	2,5	50	35	65
2006_1	Wu821_01	Dekan	3	280	127	191	1	0	99	67	7,42	5,0	65	65	65
	Wu821_02	Dekan	3	280	127	191	1	0	206	67	7,44	4,9	60	65	55
	Wu821_03	Dekan	3	280	127	191	1	0	109	67	7,22	4,5	53	40	65
	Wu821_04	Dekan	2	330	149	194	1	0	81	67	7,41	4,7	73	80	65
	Wu821_05	Dekan	2	330	149	194	1	0	203	67	7,50	4,2	53	45	60
	Wu821_06	Dekan	2	330	149	194	1	0	148	67	7,41	4,0	60	60	60
	Wu821_07	Dekan	1	380	172	197	0	0	60	67	7,49	4,0	53	31	75
	Wu821_08	Dekan	1	380	172	197	0	0	154	50	7,52	3,2	45	30	60
	Wu821_09	Dekan	1	330	149	197	0	0	97	67	7,45	4,2	58	40	75

Anhang, Tabelle 17: Standort- und Bewirtschaftungsdaten 2007

Appendix, Table 17: Information about sites and cultivation 2007

Ackerfläche	Aufnahmepunkte	Sorte	Zone	Aussaat K/qm	Aussaat kg/ha	Nges kg/ha	Beregnung Ja/Nein	Insektizide Ja/Nein	Rand	BZ_R BS	LAI	BDges MW	BDges 1	BDges 2
2007_0	Wu721_01	Biscay	3	392	140	190	0	1	53	60	2,24	68	70	65
	Wu721_02	Biscay	3	392	140	190	0	1	68	60	2,47	65	65	65
	Wu721_03	Biscay	3	392	140	190	0	1	83	52	2,49	70	70	70
	Wu721_04	Biscay	2	392	140	190	0	1	174	62	2,96	65	70	60
	Wu721_05	Biscay	2	392	140	190	0	1	79	62	2,60	63	65	60
	Wu721_06	Biscay	2	392	140	190	0	1	151	64	2,63	68	70	65
	Wu721_07	Biscay	1	392	140	190	0	1	153	74	2,38	63	60	65
	Wu721_08	Biscay	1	392	140	190	0	1	145	74	3,21	55	45	65
	Wu721_09	Biscay	1	392	140	190	0	1	120	74	2,33	70	65	75
2007_1	Wu441_01	Brilliant	1	338	128	188	0	1	248	51	5,77	80	75	85
	Wu441_02	Brilliant	1	338	128	188	0	1	209	87	6,11	88	85	90
	Wu441_03	Brilliant	1	338	128	188	0	1	92	87	6,04	90	90	90
	Wu441_04	Brilliant	2	338	128	192	0	1	133	51	5,20	85	80	90
	Wu441_05	Brilliant	2	338	128	192	0	1	94	51	4,42	70	65	75
	Wu441_06	Brilliant	2	338	128	192	0	1	71	87	4,63	80	80	80
	Wu441_07	Brilliant	3	338	128	196	0	1	97	51	4,66	84	87	80
	Wu441_08	Brilliant	3	338	128	196	0	1	181	51	3,78	70	75	65
	Wu441_09	Brilliant	3	338	128	196	0	1	97	51	3,81	83	90	75

Kapitel 7

Integration von Informationsflüssen des landwirtschaftlichen Betriebes in die Wertschöpfungskette

7.1 Anforderungen von Verbrauchern, Lebensmittelhandel, Verarbeitungsindustrie und Landwirten an die Entwicklung von Precision Farming Technologien

Shaping Technology by Participation along the Agro-Food Chain

Jesko Hirschfeld & Gerd Scholl

Zusammenfassung

Von Precision Farming werden von den Akteuren entlang der Wertschöpfungskette Lebensmittel positive Nachhaltigkeitseffekte erwartet, und außerdem die Möglichkeit, Informationen über den Prozess der landwirtschaftlichen Produktion in größerer Menge und Qualität bereitstellen zu können.

Precision Farming ist bei Verbrauchern bislang nicht oder nur sehr wenig bekannt. Wie die Verbraucher-Fokusgruppen jedoch gezeigt haben, gibt es eine grundsätzliche Aufgeschlossenheit dieser neuen Technik gegenüber. Das Meinungsbild fällt bezogen auf die möglichen Vor- und Nachteile des Precision Farming sogar bemerkenswert differenziert aus. Die Schlüsselkriterien Lebensmittelsicherheit, Transparenz und Nachhaltigkeit stellen dabei relevante Bezugspunkte dar. Aus Sicht der befragten Verbraucher kann Precision Farming zur Umsetzung von mehr Transparenz beitragen, auch zu mehr Lebensmittelsicherheit. Der mögliche Beitrag zum Umweltschutz wird nachrangig eingestuft. Spezifische Anforderungen formulieren die Verbraucher vor allem mit Blick auf die Erzeuger und Verarbeiter der Lebensmittel (im Hinblick auf die Produktqualität) sowie bezogen auf staatliche Akteure (im Hinblick auf die Lebensmittelsicherheit). Methodisch hat sich das Instrument der Fokusgruppe für den vorliegenden Untersuchungszusammenhang und insbesondere vor dem Hintergrund der Unbekanntheit des Precision Farming bewährt.

Die Ergänzung dieses Vorgehens mit der Durchführung von Produktpanels erwies sich als sehr zielführend. In diesen jeweils auf eine bestimmte Produktgruppe fokussierten Panels konnten Akteure aus allen Stufen der Wertschöpfungsketten an einen Tisch gebracht werden. Dies ermöglichte die Erörterung kettenübergreifender Fragestellungen und die eingehende Diskussion der Schnittstellenproblematik in Bezug auf die Weitergabe von Produkt- und Prozessinformationen. Dabei wurden neue, in der bisherigen Literatur noch nicht behandelte Probleme identifiziert – wie beispielsweise die Rolle der Lagerhaltung im Zusammenspiel mit Erntetechnik und Prozessdatendokumentation. Zur Lösung dieser Probleme bietet Precision Farming vielversprechende Ansätze, es müssen aber bei der weiteren Technikentwicklung jeweils die ganz spezifischen, kritischen Anforderungen der einzelnen Akteure entlang der Wertschöpfungskette berücksichtigt werden, um beispielsweise ein Abreißen des Dokumentationsflusses zu vermeiden und die Potenziale für die Qualitätssicherung voll auszuschöpfen.

Summary

Precision farming has been dealt with so far mostly from technical and on-farm perspectives. The integrated project *pre agro* has complemented the analysis by the perspective of the value added food chain: food processing industry, retailers and consumers. Subproject 2 (“Shaping a new technology by participation of consumers and co-operation along the agro-food chain”) has analysed communication and participation processes between farmers, food industry, retailers and consumers. Focus groups and product panel sessions were used to investigate current practices and discuss priorities concerning the key criteria in which precision farming could make the difference: food safety, transparency and sus-

tainability (economic, ecological and social sustainability). The results were shared within the project and used to optimise the development of the new technology (machinery, software and data processing) with respect to the demands of consumers and the actors of the agro-food chain.

Results from focus group sessions with consumers and farmers replicated findings from experts interviews and literature review: Most relevant criteria in food purchase decisions are taste, freshness, appearance, safety (no health risks, no genetically modified organisms), confidence in the quality of brands, ingredients (less additives are judged better), environmental effects, regional origin and of course the price. The farmers have to comply with standards and/or certification processes requested by their customers (ranging from consumers at farmer's markets to the directly contracting food processing industry). Among these criteria are some that might give precision farming an advantage in comparison with other production techniques: food safety, transparency and sustainability. That precision farming is able to contribute to an improvement of food safety and transparency of the production process along the agro-food-chain was agreed upon by nearly all participants in the mentioned focus group sessions. But farmers as well as consumers pointed out that the information collected by the precision farming system must be reliable and resistant to manipulation – which might be a nontrivial challenge to developers. The potential environmental effects were estimated positive, while the potential social effects were judged more critically. Both consumers and farmers feared an acceleration of structural change from smaller to larger farms and a possible loss of jobs in agriculture. For the farmers it is crucial if the new technology “pays” in economic terms. Facilitating compliance with documentation requests and positive effects on environmental dimensions are welcomed, but will not be crucial in investment decisions.

Focus Groups and Product Panels proved to be fruitful methods to investigate actors' attitudes and demands towards a new technology whose potentials are not yet widely considered.

7.1.1 Einleitung und Problemstellung

Precision Farming wurde bisher in erster Linie unter produktionsorientierten Gesichtspunkten betrachtet, wobei technische Aspekte und die Perspektive der landwirtschaftlichen Betriebe meist im Vordergrund standen. Vom Einsatz dieser neuen Technik werden positive Nachhaltigkeitseffekte erwartet, und außerdem die Möglichkeit, Informationen über den Prozess der landwirtschaftlichen Produktion in größerer Menge und Qualität bereitstellen zu können. Um die Nachhaltigkeitsaspekte der Produktion von Nahrungsmitteln jedoch angemessen erörtern und innerhalb der Wertschöpfungskette vermitteln zu können, müssen neben der landwirtschaftlichen Produktionsstufe auch die auf den weiteren Stufen der Wertschöpfungskette stattfindenden Produktions- und Kommunikationsprozesse sowie die Qualitäts- und Informationsansprüche der jeweiligen Akteure berücksichtigt werden.

Kommunikations- und Partizipationsprozesse entlang der Wertschöpfungskette – also zwischen Landwirten, Verarbeitern, Handel und Verbrauchern – entscheiden über die Gestaltung der Produktionsprozesse und definieren die jeweils relevanten Qualitätsanforderungen an Produkte und Zwischenprodukte. Daraus ergeben sich Implikationen für das wirtschaftliche, soziale und umweltbezogene Nachhaltigkeitspotenzial von Precision Farming, die bei der Technikentwicklung Berücksichtigung finden sollten.

Das Verbundprojekt *pre agro* II hat den bisher überwiegend technisch orientierten Betrachtungshorizont um die Perspektive der Verbraucher, des Handels und der Verarbeiter erweitert. Diese Erkenntnisse wurden in die laufende Arbeit von *pre agro* II einbezogen, um eine Rückkoppelung mit Ver-

brauchern und Akteuren aus der Wertschöpfungskette herzustellen und die Technikentwicklung im Sinne der ermittelten Anforderungen optimieren zu können.

Aus Sicht der Wertschöpfungskette gibt es eine große Zahl von Anforderungen und Kriterien zur Bewertung der Agrarprodukte und des Produktionsprozesses im Hinblick auf die verschiedenen Erzeugungs- und Verarbeitungsstufen. Die meisten davon gelten jedoch allgemein für alle Anbautechniken (wie z. B. Preis, Frische, Geschmack, Nährwert). Es stellte sich daher zunächst die Frage, im Hinblick auf welche Kriterien aus den neuen Informationsmöglichkeiten, die sich mit der Precision Farming Technologie bieten, zusätzliche Vorteile für Verbraucher und andere Akteure in der Wertschöpfungskette generiert werden können – kurz: Wo macht Precision Farming den Unterschied?

7.1.2 Vorgehensweise

Um Ansatzpunkte zur Ausschöpfung von Nachhaltigkeitspotenzialen bei der technischen Entwicklung der Precision Farming-Technologie abzuleiten, wurden zunächst die Anforderungen der Akteure an den Produktionsprozess entlang der Wertschöpfungskette der Lebensmittelerzeugung analysiert.

Als Methoden wurden dabei eingesetzt:

Literaturanalyse zur Auswertung zahlreicher bereits durchgeführter Studien zur Untersuchung von Verbraucherwahrnehmungen in Bezug auf Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion, von bestehenden gesetzlichen und privatwirtschaftlich institutionalisierten Qualitätssicherungsanforderungen (z. B. Zertifizierungssysteme) und zur Charakterisierung der Struktur der Kommunikation innerhalb der Wertschöpfungskette.

Telefonische Experteninterviews zur Überprüfung und Vertiefung der im Rahmen der Literaturstudie herausgearbeiteten zentralen Anforderungskriterien der Akteure an Produktionsprozess und Produktqualität im Lebensmittelbereich sowie die Perspektiven von Precision Farming in diesem Zusammenhang.

Fokusgruppengespräche zur Exploration der Wahrnehmungen, Interessen und Anforderungen der Akteure an Produktionsprozess und Produktqualität im Lebensmittelbereich sowie die Kommunikationsanforderungen untereinander bzw. gegenüber den anderen Akteuren der Wertschöpfungskette. Die Fokusgruppengespräche dienten ferner zur Überprüfung der Relevanz der bisher als zentral herausgearbeiteten Akteursanforderungen.

Produktpanels zu Kartoffel- und Getreideprodukten zur Erfassung und Diskussion der Ansprüche der verschiedenen Akteure entlang der Wertschöpfungsketten Kartoffel- und Getreideprodukte an die jeweils anderen Akteure der Wertschöpfungskette. Daran anknüpfend sollten dann die Potenziale erörtert werden, die Precision Farming Technologien zu einer Erfüllung dieser gegenseitigen Ansprüche leisten können.

7.1.2.1 Fokusgruppen

Fokusgruppen sind ein Instrument der qualitativen Sozialforschung. Es handelt sich dabei um moderierte Gruppendiskussionen, bei denen sich die Gruppenteilnehmer mit einem vorgegebenen Thema meist anhand vorbereiteter Materialien befassen (vgl. LAMNEK 1998, DÜRRENBARGER & BEHRINGER 1999). In einer Fokusgruppe versammeln sich cirka acht Teilnehmer für die Dauer von etwa zwei bis drei Stunden, um in strukturierter Weise ein bestimmtes Thema zu diskutieren. Anders als quantitative

Umfragen sind deren qualitativen Ergebnisse grundsätzlich nicht statistisch repräsentativ und verallgemeinerbar und in ihrer Reproduzierbarkeit begrenzt. Ergebnisse von Fokusgruppen haben aber den Vorteil, ein sehr differenziertes Einstellungs- und Meinungsbild der Teilnehmer zu einem bestimmten Thema wiederzugeben, das von quantitativen Umfragen kaum oder gar nicht erfasst werden kann. Fokusgruppen bieten dabei den Vorteil der „Tiefe statt Breite“.

Da es sich bei Precision Farming um eine relativ neue bzw. nicht sehr weit verbreitete Technologie handelt, konnte davon ausgegangen werden, dass wenn überhaupt, dann nur wenige Verbraucher mit dieser Thematik vertraut sind. In solch einer Situation, d. h. relative Unbekanntheit des Befragungsgegenstandes, sind qualitative Methoden im Vergleich zu standardisierten, quantitativen Verfahren (z. B. repräsentative Telefonbefragung) besonders vorteilhaft. Sie bieten die Möglichkeit, die Befragten über das Thema zu informieren und dann auf gemeinsamer Wissensgrundlage beispielsweise die wahrgenommenen Vor- und Nachteile der Technologie zu erörtern.

Im Rahmen des Projektes wurden insgesamt sechs Fokusgruppen mit Verbrauchern und Landwirten durchgeführt. Vorgesehen waren ursprünglich auch Fokusgruppen mit Akteuren aus den Bereichen Verarbeitungsindustrie und Handel. Hierbei erwies sich aufgrund des hohen Arbeits- und Zeitdrucks, unter denen Führungskräfte in diesen Bereichen stehen, die Teilnehmerakquise als sehr schwierig, sodass die kritischen Untergrenzen für die Gruppengröße von Fokusgruppen nicht erreicht werden konnten. Diese Akteursgruppen wurden daher im Rahmen einzelner Expertengespräche befragt. Außerdem gelang es, einzelne Vertreter aus dem Handel und der Verarbeitungsindustrie in die Produktpanel-Workshops einzubeziehen, sodass die Positionen aus diesen Bereichen der Wertschöpfungskette insgesamt als gut abgedeckt betrachtet werden können.

7.1.2.2 Verbraucher-Fokusgruppen: Zusammensetzung und Aufgabenstellung

Für den vorliegenden Untersuchungszusammenhang wurden folgende Aufgabenstellungen für die Verbraucher-Fokusgruppen formuliert:

- Erhebung der allgemeinen Anforderungen von Verbrauchern an die Produkt- und Prozessqualität (pflanzlicher) landwirtschaftlicher Erzeugnisse,
- Bewertung der Technologie Precision Farming aus Verbraucherperspektive,
- Einschätzung des möglichen Beitrags von Precision Farming zur Erfüllung der Schlüsselkriterien Lebensmittelsicherheit, Transparenz und Nachhaltigkeit.

Für die Fokusgruppen wurden Kartoffel- und Getreideprodukte als Beispiele ausgewählt. Beide Agrarfrüchte stellen mögliche Anwendungsbereiche für Precision Farming dar. Während Kartoffeln häufig als unverarbeitetes Erzeugnis nachgefragt werden, wird Getreide üblicherweise nur selten unverarbeitet verzehrt, sondern zu verschiedenen Endprodukten weiterverarbeitet (z. B. Brot und Backwaren, Teigwaren, Müsli, Kekse). Die typische Kartoffel-Wertschöpfungskette ist damit in der Regel kürzer als die von Getreideprodukten. Beide Produkttypen werden über den Lebensmitteleinzelhandel bzw. Fachhandel vertrieben. Bei Kartoffeln spielt darüber hinaus, anders als bei Getreide, die Direktvermarktung (Ab-Hof-Verkauf) eine gewisse Rolle.

Es wurden 5 Verbraucher-Fokusgruppen mit insgesamt 40 Personen durchgeführt, eine erste im November 2005, die aus 10 Personen bestand, die überwiegend in konventionellen Supermärkten (Vollsortimenter) ihre Lebensmitteleinkäufe tätigen. In einer zweiten Phase (Oktober 2006) wurden 4 wei-

tere Gruppendiskussionen durchgeführt. Hierbei wurde nach Einkaufsstätten und Alter bzw. Familienlebenszyklus differenziert. Rekrutiert wurden Bio-Intensivkäufer, die überwiegend Produkte aus ökologischem Landbau kaufen, Discount-Kunden, die hauptsächlich bei Aldi, Lidl und Co. einkaufen, sowie jüngere Supermarktkunden mit Kindern („volles Nest“) und ältere Supermarktkunden ohne Kinder im eigenen Haushalt („leeres Nest“). Auswahl leitend war die Annahme, dass sich die Anforderungen an die Produkt- und Prozessqualität je nach Einkaufsstättenpräferenz bzw. Familienstatus signifikant unterscheiden. Ferner wurde vermutet, dass insbesondere Bio-Intensiv-Käufer, die in der Regel über ein höheres Formalbildungsniveau als der Bevölkerungsdurchschnitt verfügen (z. B. MICHELS et al. 2003, KROPP & SEHRER 2004, S. 11ff.), einer neuen Technologie wie dem Precision Farming eher kritisch gegenüber eingestellt sein könnten. Die (soziodemografischen) Merkmale der verschiedenen Gruppen können der folgenden Tabelle 85 entnommen werden.²⁷

Tabelle 85: Merkmale der Stichprobe

	Anzahl der Teilnehmer	Einkaufsverhalten	Altersdurchschnitt (Spanne)	Kinder	Berufsstellung
Bio-Intensiv-Käufer	8	Lebensmitteleinkauf besteht überwiegend aus Bioprodukten; Einkauf im Bio-Laden, im Bio-Supermarkt	39 (28 – 59)	4 mit Kindern	2 Studenten, 2 Hausfrauen, 3 Berufstätige, 1 Rentner
Discount-Kunden	8	Lebensmitteleinkauf besteht überwiegend aus preiswerten Discount-Produkten; Einkauf beim Discounter	39 (24 – 51)	5 mit Kindern	1 Student, 4 Hausfrauen, 3 Berufstätige
Supermarktkunden 0	10	Lebensmitteleinkauf besteht überwiegend nicht aus preiswerten Discount-Produkten; Einkauf beim Vollsortimenter	40 (20 – 60)	7 mit und 3 ohne Kinder	5 Hausfrauen, 4 Berufstätige, 1 Rentner
Supermarktkunden 1	6	Lebensmitteleinkauf besteht überwiegend nicht aus preiswerten Discount-Produkten; Einkauf beim Vollsortimenter	41 (29 – 54)	alle mit Kindern zuhause („volle Nester“)	2 Hausfrauen, 4 Berufstätige
Supermarktkunden 2	8	Lebensmitteleinkauf besteht überwiegend nicht aus preiswerten Discount-Produkten; Einkauf beim Vollsortimenter	57 (52 – 67)	alle ohne Kinder zuhause („leere Nester“)	3 Hausfrauen, 2 Rentner, 3 Berufstätige

Table 85: The composition of the five consumer focus groups

	Number of participants	Shopping behaviour	Age average (range)	children	Professional status
Organic shoppers	8	Food purchase mainly organic, shopping at health-food shops or in organic supermarkets	39 (28 – 59)	4 with children	2 students, 2 housewives, 3 employed persons, 1 retired person
Discount shoppers	8	Food purchase mainly low cost products, shopping at discount markets	39 (24 – 51)	5 with children	1 students, 4 housewives, 3 employed persons
Supermarket shoppers 0	10	Food purchase mainly no low cost products, shopping at full range distributors	40 (20 – 60)	7 with and 3 without children	5 housewives, 4 employed persons, 1 retired person
Supermarket shoppers 1	6	Food purchase mainly no low cost products, shopping at full range distributors	41 (29 – 54)	all with children („full nest“)	2 housewives, 4 employed persons
Supermarket shoppers 2	8	Food purchase mainly no low cost products, shopping at full range distributors	57 (52 – 67)	all without children („empty nest“)	3 housewives, 2 retired persons, 3 employed persons

²⁷ Allgemeine Anforderungen an die Teilnehmer bzw. Gruppenzusammensetzung waren: Der jeweilige Teilnehmer ist zuständig für den Einkauf und kauft regelmäßig Kartoffel- und Getreideprodukte. Pro Gruppe mindestens zwei, höchstens vier Männer.

Um Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurden alle Fokusgruppen nach demselben Grundschemata durchgeführt. Dabei wurden zunächst – zum Einstieg möglichst alltagsnah – die Anforderungen an Kartoffel- und Getreideprodukte abgefragt („Worauf achtet man beim Einkauf von Kartoffel- und Getreideprodukten?“). Neben allgemeinen Kriterien bezüglich der Produkt- und Prozessqualität ging es dabei insbesondere um die auf der Verpackung angegebenen Informationen, um die Glaubwürdigkeit unterschiedlicher Qualitätssiegel sowie um Fragen der Herkunftskennzeichnung. Um möglichst praxisnahe Befunde zu erhalten, wurden in diesem Diskussionsabschnitt verschiedene Produktbeispiele ausgelegt. Danach wurden in einer circa zehnminütigen PowerPoint-Präsentation das Precision Farming vorgestellt und in einer folgenden Blitzlichtrunde spontane Meinungen und Kommentare dazu eingeholt. Daran schloss sich eine ausführliche, gestützte Diskussion der Schlüsselkriterien Lebensmittelsicherheit, Transparenz und Nachhaltigkeit an. Dabei wurde versucht, die jeweilige Bedeutung des Kriteriums für den täglichen Lebensmittelkonsum sowie den möglichen Beitrag, den Precision Farming nach Meinung der Teilnehmer zur Erfüllung des Kriteriums leisten kann, zu erfassen.

7.1.2.3 Fokusgruppe Landwirtschaft: Aufgabenstellung und Zusammensetzung

Das Ziel der Fokusgruppe Landwirtschaft bestand darin, gemeinsam mit den anwesenden Landwirten am Beispiel des Kartoffelanbaus zusammenzutragen, welchen Anforderungen sie sich bezüglich der Informationen über die eigene Produktion und die eigenen Produkte (Rückverfolgbarkeit, Produktionsverfahren, Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln etc.) aktuell gegenüber sehen: Was wollen die Abnehmer von ihnen wissen und welche Daten sollen erfasst und gesammelt werden? Anschließend daran sollten die Landwirte einschätzen, welche Rolle dabei in den nächsten Jahren die Präzisionslandwirtschaft spielen wird oder spielen könnte.

Die Fokusgruppensitzung wurde mit einer kurzen Einführung zu Precision Farming Systemen eingeleitet, in der der gegenwärtige Stand der Entwicklungen und perspektivisch die zukünftigen technischen Möglichkeiten kurz skizziert wurden. Dabei wurde – wie auch in den Verbraucher-Fokusgruppen – auf eine möglichst neutrale Darstellungsweise geachtet.

Nach einer kurzen Vorstellungsrunde wurden zunächst die Anforderungen von Marktpartnern behandelt, denen sich die Landwirte in der Praxis gegenübersehen. Dabei wurde diskutiert, welche Ansprüche die Abnehmer an die Ware (Kartoffeln), an den Erzeuger und den Produktionsprozess stellen. Zusammengetragen wurden ferner die geforderten Systeme zur Qualitätssicherung (z. B. EurepGap, QS, IFS, sonstige) sowie die verwendeten Datenformate und Softwarelösungen zur Speicherung und Verarbeitung der Bewirtschaftungsdaten im Betrieb (z. B. GQShe, LandData, FruchtDat, Agro-Net...).

Im zweiten Teil des Fokusgruppen-Workshops wurden die Anforderungen, die sich aus den Expertenbefragungen ergeben haben vorgestellt und diskutiert: Lebensmittelsicherheit/ Rückstandsfreiheit, Transparenz/Rückverfolgbarkeit, Nachhaltigkeit: Umweltschonung, Soziales und Wirtschaftlichkeit. Dabei wurde erfragt, welche Anforderungen für den Verkauf der Ernte am wichtigsten sind und worauf daher beim Anbau besonders geachtet werden muss.

Anschließend wurde diskutiert, welche Elemente von Precision Farming die anwesenden Landwirte in ihrem Betrieb gebrauchen könnten bzw. gerne einsetzen würden – u. a. Flächenvermessung, Parallelfahrssystem, Ertragskartierung, Nährstoffkartierung, teilflächenspezifische Aussaat, differenzierte Düngemittelausbringung, differenzierter Pflanzenschutz, automatische Prozessdokumentation, Software, die bei der Dokumentation für verschiedene Institutionen hilft.

Abschließend wurden die Landwirte in einem Gedankenexperiment zu ihren Visionen in Bezug auf die zukünftige Bedeutung von Präzisionslandwirtschaft und den Handlungsspielraum der Erzeuger befragt.

Die Fokusgruppe bestand aus acht Landwirten, darunter einem landwirtschaftlichen Berater mit eigener Landwirtschaft, aus den Regionen südliches Hessen, nord-östliches Rheinland-Pfalz. Die Betriebsgrößen lagen zwischen 90 und 300 Hektar, angebaut wurden Speise-, Industrie- und Saatkartoffeln.

Die Betriebe lieferten an Landhandel, Erzeugergemeinschaften, Verarbeitungsindustrie, Lebensmittelhandel, Gastronomie und vermarkteten teilweise auch direkt.

7.1.3 Ergebnisse

Im Rahmen der Literaturrecherche und der Experteninterviews wurden folgende Schlüsselkriterien identifiziert und in einem Arbeitspapier zusammengefasst:

7.1.3.1 Lebensmittelsicherheit (Qualität, Gesundheit, Rückstandsfreiheit, Kontrolle, Sofortmaßnahmen)

Gesundheitliche Aspekte stehen für die meisten Verbraucher in der Liste der für sie wichtigsten Auswahlkriterien beim Lebensmitteleinkauf typischerweise auf einem der ersten Plätze. Lebensmittelsicherheit wird in erster Linie aus der Perspektive dieses Gesundheitsanspruchs gefordert (vgl. TAB 2003a, KUHNERT et al. 2002, S. 17, SPILLER et al. 2004, S. 26). Mit diesem Anspruch eng verbunden ist die Forderung nach Rückstandsfreiheit, verlässlicher Kontrolle und einem funktionierenden Störfallsystem zum sofortigen Rückruf möglicherweise gesundheitlich bedenklicher Produktionschargen (vgl. GD GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ 2005, VERORDNUNG (EG) Nr. 178/2002, insbesondere Artikel 50 ff.). Bei der praktischen Umsetzung der Gewährleistung von Lebensmittelsicherheit geht es einerseits um die Einhaltung von Grenzwerten (Rückstandshöchstmengen-Verordnung), andererseits aber auch um eine risikominimierende Systemgestaltung (Lebensmittelhygiene-Verordnung, HACCP: Hazard Analysis and Critical Control Point). Intensive Kommunikationsprozesse und effektive Kontrollinstanzen in der Wertschöpfungskette sind dafür wichtig – nicht nur in Krisenfällen. Insofern besteht eine enge Verbindung mit dem folgenden Schlüsselkriterium:

7.1.3.2 Transparenz (Rückverfolgbarkeit, Informationsbereitstellung, Inhaltsdeklaration)

Bei der Sicherstellung der Transparenz bis in die Verbraucherebene muss der Heterogenität der Verbraucher und unterschiedlichen Informationsbedürfnissen Rechnung getragen werden. Insbesondere bei der Produktkennzeichnung besteht ein Tradeoff zwischen Informationsgehalt und einer möglichen Überlastung der Aufnahmefähigkeit bzw. -willigkeit (information overload) der Konsumenten (vgl. TAB 2003b). Allerdings kann eine Erweiterung des Informationsangebotes möglicherweise latent vorhandene Informationsbedürfnisse bei den Verbrauchern aktivieren (vgl. WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT 2003, S. 10, 30) und zudem das Vertrauen und die Bindung zwischen Produzenten und Konsumenten stärken (vgl. MÜLLER 2003, S. 204 – 208). Umfragen weisen auf deutliche Informationsdefizite der Verbraucher in Bezug auf Lebensmittel hin (SCHÖNHEIT 2004).

Transparenz kann auch für Unternehmen deutliche Vorteile z. B. bezüglich der Risikominimierung und der Imagesicherung mit sich bringen (POIGNEÉ et al. 2004). Zusätzliche Anforderungen an die

Transparenz stellt auch das neue Lebensmittel- und Futtermittelrecht (BMVEL 2004). Auf europäischer Ebene ist seit 2002 die Rückverfolgbarkeit von Lebensmitteln gesetzlich vorgeschrieben (Verordnung (EG) Nr. 178/2002, Artikel 18).

Die Transparenzansprüche „der Verbraucher“ sind jedoch sehr heterogen – tatsächlich zerfallen die Verbraucher in zahlreiche verschiedene Gruppen, z. T. verhalten sich Verbraucher darüber hinaus wechselhaft, d. h. sie orientieren ihre Kaufentscheidungen nicht durchgehend an einheitlichen Kriterien (STIEB & HAYN 2005, MÜLLER 2005, SCHNEIDER 2001). Es gibt besonders sensibilisierte Gruppen, die Wert auf einen sehr hohen Grad an Transparenz legen – wie beispielsweise die konsequenten Bio-Konsumenten. Andere orientieren sich an Marken- oder Eigenmarken-Produkten, weil sie dabei auf eine ausreichende Qualitätssicherung vertrauen. Wieder andere orientieren sich in erster Linie am Preis, dem Aussehen oder dem Geschmack der Lebensmittel. Eine Orientierung an bestimmten Qualitätssiegeln, Zertifizierungslabels, Marken oder Eigenmarken kann zur Komplexitätsreduzierung der Informationsbeschaffung bei der Kaufentscheidung beitragen.

7.1.3.3 Nachhaltigkeit des Produktionsprozesses: Ökologie, Ökonomie, Soziales (Umweltschutz, Ressourcenschonung, Biodiversität, Landschaftsbild, effiziente Produktion, Erhalt heimischer Landwirtschaft)

Die heutige Verbraucherpolitik ist nicht mehr allein auf den Schutz des Verbrauchers vor Gesundheitsgefahren oder unlauteren Geschäftspraktiken ausgerichtet – der Verbraucher wird heute als mündiger Bürger begriffen, der auf Grundlage zuverlässiger Informationen verantwortungsbewusst konsumiert (vgl. WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT 2003, S. 13; AEC 2002). Dem gut informierten Verbraucher liegt an einer nachhaltigen Herstellungsweise der Konsumgüter, also an einer umweltfreundlichen, ökonomisch effizienten und sozial verträglichen Produktionsweise (vgl. HANSEN 2003, S. 10 – 13, RIMPAU 2003, S. 194 – 195) – es werden also Ansprüche hinsichtlich der drei Säulen der Nachhaltigkeit (Ökologie, Ökonomie, Soziales) formuliert.

Unter den drei Nachhaltigkeitskriterien (Ökologie, Ökonomie, Soziales) steht in Verbraucherumfragen häufig der Umweltaspekt im Vordergrund. Der Beitrag zum Umwelt- und Naturschutz, Verzicht auf Pflanzenschutzmittel und regionale Herkunft werden neben Gesundheits-, Preis- und Qualitätsgesichtspunkten häufig als Auswahlkriterien in der Kaufentscheidung benannt (vgl. z. B. WIRTHGEN 1999, S. 243 – 261, KUHNERT et al. 2002, S. 16 ff., TAB 2002, v. ALVENSLEBEN 2000). Das Wissen um die Umweltfreundlichkeit des Herstellungsprozesses kann dem Verbraucher neben dem unmittelbaren Konsumnutzen einen zusätzlichen ökologisch bedingten Produktnutzen bieten (vgl. SCHRADER 1995).

Kriterien wie „Bevorzugung regionaler Erzeugung“ oder „Erhalt der heimischen Landwirtschaft“, wie sie in Verbraucherumfragen ebenfalls häufig als kaufbestimmend geäußert werden, sind ebenfalls der Gruppe der Nachhaltigkeitskriterien zuzuordnen – allerdings ist dabei die Zuordnung zu den einzelnen Dimensionen der Nachhaltigkeit nicht ganz eindeutig. Die Bevorzugung regionaler Erzeugung beinhaltet zum einen den Wunsch, die Transportwege möglichst kurz zu halten, da Ferntransporte von Lebensmitteln mit negativen Umwelteffekten durch Energieverbrauch und Schadstoffemissionen assoziiert werden. Zum anderen ist damit aber – wie auch bei dem Wunsch nach Erhaltung der heimischen Landwirtschaft – eine sozial- und strukturpolitische Zielsetzung verbunden. Die landwirtschaftliche Nutzung von Flächen, die Erzeugung von Nahrungsmitteln in der eigenen Region und der Erhalt von Arbeitsplätzen im ländlichen Raum ist offenbar in weiten Kreisen der Bevölkerung ein positiv besetztes Leitbild. Die EU-Strategie zur Förderung der integrierten Entwicklung des ländlichen Raums

ist an diesem Leitbild orientiert. Der Kauf von pflanzlichen Produkten aus regionaler oder nationaler Produktion ist für viele Konsumenten mit dem überwiegend positiven Image der deutschen Landwirtschaft verbunden (vgl. z. B. i.m.a 2002). Damit wird einerseits entsprechend einer Qualitätsvermutung gekauft (Frische, Wertstoffgehalt, Rückstandsfreiheit), andererseits häufig aber auch zumindest implizit eine Unterstützung der heimischen Produzenten beabsichtigt. Obwohl diese Orientierungen in Befragungen meist nur indirekt geäußert werden, kann durchaus von einer Wertschätzung des sozialen Kriteriums der Produktion gesprochen werden. Zur Abbildung dieses Kriteriums sind Indikatoren denkbar, mit denen insbesondere die Struktur des landwirtschaftlichen Sektors im Hinblick auf Arbeitskräfte, Betriebsgrößen und regionalwirtschaftliche Funktion abgebildet werden könnte.

Das Kriterium der ökonomischen Nachhaltigkeit findet sich u. a. in dem Wunsch nach einem günstigen Preis bei hoher Qualität, in Verbindung mit den oben beschriebenen Orientierungen im Hinblick auf die soziale Dimension der landwirtschaftlichen Produktion. Es wird eine effiziente Produktionsweise gewünscht, die nicht im Übermaß subventioniert werden muss und dennoch preiswerte und qualitätsvolle Produkte liefern soll. An dieser Stelle wird deutlich, dass die Nachhaltigkeitskriterien zumindest partiell auch konfliktieren können – was sich auch an den realen Kaufentscheidungen ablesen lässt. Denn viele Konsumenten kaufen im Lebensmittelbereich überwiegend preisorientiert, was häufig im Gegensatz zu ihren in Befragungen geäußerten Werthaltungen steht (vgl. BIRNER et al. 2002, v. ALVENSLEBEN 2000).

Auf betrieblicher Ebene manifestiert sich das ökonomische Nachhaltigkeitskriterium in der einzelbetrieblichen Rentabilität und Lebensfähigkeit. Nur wenn die eingesetzten Faktoren Arbeit, Boden und Kapital durch die landwirtschaftliche Produktion dauerhaft ausreichend entlohnt werden können, kann von ökonomischer Nachhaltigkeit gesprochen werden.

7.1.3.4 Ergebnisse der Verbraucher-Fokusgruppen

Gemeinsamkeiten der Einkaufstypen

Die verschiedenen Fokusgruppendifkussionen haben zahlreiche gruppenspezifische Befunde geliefert, die an anderer Stelle ausführlicher dargestellt sind (SCHOLL 2008). Neben diesen typenspezifischen Ergebnissen, zeigen sich aber auch eine Reihe von Gemeinsamkeiten über alle Einkaufstypen hinweg:

- Die wichtigsten *Entscheidungskriterien* beim Lebensmitteleinkauf sind Preis, Qualität, Geschmack und Frische. Je nach Verbrauchergruppe werden diese unterschiedlich gewichtet. Dieser Befund deckt sich weitgehend mit den Ergebnissen repräsentativer Umfragen.²⁸
- Der Lebensmitteleinkauf ist *Alltagsroutine*. Er wird für gewöhnlich unter hohem Zeitdruck absolviert und die dabei zur Verfügung stehenden Informationsverarbeitungskapazitäten sind gering. Diese Beobachtung entspricht dem allgemeinen Befund, dass es sich bei Nahrungsmitteln um so genannte *Low-Involvement-Güter* handelt, also um Produkte, bei deren Kauf keine bewussten Entscheidungsprozesse, sondern lediglich verkürzte, gewohnheitsmäßige Entscheidungsheuristiken zur Anwendung kommen und üblicherweise nur eine sehr begrenzte Menge von Informationen

²⁸ Danach geben 69 % der Bevölkerung an auf den Preis zu achten, 48 % achten auf Qualität, 28 % achten auf Frische, 18 % auf (lange) Haltbarkeit und 12 % auf den Geschmack. Alle andere Merkmale sind demgegenüber von geringerer Bedeutung (SCHOENHEIT 2004).

verarbeitet wird (z. B. KROEBER-RIEL & WEINBERG 2003, S. 370ff., VERBEKE 2005, S. 353ff., FELDER et al. 2006).²⁹

- In die Produktqualität von *Herstellermarken* wird (nach wie vor) insgesamt großes Vertrauen gesetzt. Diese Beobachtung überrascht etwas vor dem Hintergrund der Feststellung, dass insbesondere im Lebensmittelbereich Markenhersteller angesichts der großen Preissensibilität der Verbraucher und der zunehmenden Bedeutung von Handelsmarken aktuell eher unter Druck stehen (vgl. z. B. BVE/GfK 2005). Eine wachsende Relevanz von sowie zunehmendes Vertrauen in die Qualität von *Handelsmarken* (vgl. z. B. AC NIELSEN 2005, KPMG 2006, S. 38ff.) hat sich hingegen in den Gruppendiskussionen bestätigt.
- *Qualitätsvorstellungen* beziehen sich fast ausschließlich auf die Produktqualität. Bezüglich der Prozessqualität in der Wertschöpfungskette gibt es bis auf wenige Ausnahmen nur sehr vage Vorstellungen.
- Die Gruppendiskussionen zeigen ferner, dass nach Meinung der Verbraucher die Verantwortung für die *Lebensmittelsicherheit* in erster Linie die Erzeuger bzw. Hersteller tragen und nicht der Lebensmitteleinzelhandel.
- Das Interesse an *Herkunftsinformationen* ist nur gering ausgeprägt, was sich mit einem repräsentativen Befragungsbefund von 2004 deckt.³⁰ Es ist bei Kartoffeln größer als bei Getreide – vermutlich u. a. deshalb, weil Angaben zur Warenherkunft bislang bei Kartoffeln eher vorzufinden sind als bei Getreide. Das Interesse nimmt ab, wenn der Verarbeitungsgrad des Produktes steigt, d. h. Informationen zur Getreideherkunft etwa bei Keksen sind für die befragten Verbraucher so gut wie gar nicht relevant.³¹

Unterschiede der Einkaufstypen

Die Unterscheidung nach Einkaufs(stätten)präferenzen hat sich insofern als sinnvoll erwiesen, als die Gruppendiskussionen auf der anderen Seite gezeigt haben, wie unterschiedlich die Einschätzungen bei den verschiedenen Diskussionspunkten ausfallen (vgl. Tabelle 86).

Danach fällt die Preisorientierung bei den Discount-Kunden am größten und den Bio-Kunden am geringsten aus. Spiegelbildlich ist das Verhältnis bei der Qualitätsorientierung. Hier ist zudem lediglich bei den Bio-Intensiv-Käufern das Augenmerk nicht nur auf die Produkt-, sondern teilweise auch auf die Prozessqualität gerichtet. Auch haben für diese Gruppe unabhängige Qualitätssiegel eine große Bedeutung, für alle anderen Gruppen hingegen nur eine geringe, was vor dem Hintergrund etwa der

²⁹ Erklärt werden kann das Vorliegen einer Low-Involvement-Kaufentscheidung mit der These des „rational-ignoranten Konsumenten“ (MCCLUSKEY & SWINNEN 2004): Danach werden der Preis von Informationen bzw. die Opportunitätskosten ihrer Verarbeitung als höher empfunden als der sich daraus ergebende erwartete Zusatznutzen, weshalb der Prozess der Informationsverarbeitung bei diesem Typus stark verkürzt wird.

³⁰ Danach werden bei Lebensmitteln zusätzliche Informationsangebote etwa zu Sozialstandards oder zu Allergie auslösenden Stoffen als wichtiger eingeschätzt als Angaben zur Herkunft der Rohstoffe bzw. zum Ort der Herstellung (VZBV 2004, S. 15f.). Dies passt auch zu dem Befund aus oben erwähnter Repräsentativumfrage: Danach achten beim Lebensmitteleinkauf lediglich 4 % der Befragten auf die „Herkunft“ (SCHOENHEIT 2004).

³¹ In einer aktuellen Befragung von Besuchern der (Internetseite von) Verbraucherzentralen wird hingegen ein deutlich höheres Interesse an ausführlichen Herkunftsangaben zum Ausdruck gebracht (Verbraucherzentrale HAMBURG et al. 2007) – und zwar nicht nur im Falle von Monoprodukten wie Milch, Fleisch, Obst und Gemüse, sondern auch bezüglich der Hauptzutat bei zusammengesetzten Lebensmitteln. So wurde bei der Aussage „Mir fehlt die Herkunftsangabe der Hauptzutat bei zusammengesetzten Lebensmitteln“ das höchste Teilergebnis mit 87,8% (n = 3.080) erreicht (ebd., S. 9). Die Befragungsergebnisse sind jedoch nicht repräsentativ für die deutsche Gesamtbevölkerung, sondern stehen vermutlich eher für eine überdurchschnittlich informierte und interessierte Klientel. Dennoch kann dieses Ergebnis als Indikator für ein möglicherweise wachsendes Interesse an Herkunftsinformationen betrachtet werden, was allerdings in den Gruppendiskussionen in dieser deutlichen Ausprägung noch nicht beobachtet werden konnte.

Befunde von KUHNERT et al. (2002) erstaunlich ist. Denn in der dort dokumentierten Repräsentativbefragung von 2001 zeigte sich, dass als Instrumente zur Beseitigung von Verbraucherzweifeln staatlichen Gütesiegeln und Qualitätszeichen von Verbänden insgesamt eine deutlich größere Bedeutung zukommt als den Markenzeichen bekannter Hersteller.

Tabelle 86: Unterschiede der Einkaufstypen³²

	Discount-Kunden	Supermarkt-Kunden, volles Nest	Supermarkt-Kunden, leeres Nest	Bio-Intensiv-Käufer
Preisorientierung	hoch	mittel	mittel	gering
Qualitätsorientierung	niedrig / produktbezogen	mittel / produktbezogen	niedrig / produktbezogen	hoch / produkt- und tlw. prozessbezogen
Bedeutung unabhängiger Qualitätssiegel	gering	gering	gering	hoch
Umweltorientierung	gering	gering – mittel	gering	hoch
Markenaffinität	gering	mittel	hoch	mittel

Table 86: Differences between the four types of food shoppers³³

	Discount shoppers	Supermarket shoppers, full nest	Supermarket shoppers, empty nest	Organic shoppers
Relevance of price	high	medium	medium	small
Relevance of quality	low/ product-related	medium / product-related	small / product-related	high / product- and partly process-related
Relevance of independent quality labelling	small	small	small	high
Green attitudes	small	small – medium	small	high
Brand affinity	small	medium	high	medium

Dass auch die Umweltorientierung bei den Bio-Käufern am größten ausfällt, überrascht nicht. Bemerkenswerter ist der Befund, dass auch die jungen Supermarktkunden mit Kindern ihren Lebensmitteleinkauf zwar nicht so stark, aber teilweise etwas an der ökologischen Qualität der Produkte ausrichten. Dies korrespondiert mit der Beobachtung aus anderen Umfragen, dass Bioprodukte bevorzugt von Familien mit Kindern konsumiert werden (z. B. STIEB 2004, HERDE & SCHÄFER 2006, SCHÄFER et al. 2007).

Die Markenaffinität scheint demgegenüber vor allem mit dem Alter zu korrelieren. Sie ist bei der Gruppe der älteren Supermarktkunden am größten.

Neben dem Einkaufsverhalten bezieht sich ein weiteres zentrales Erkenntnisinteresse des Projektes darauf, welche Anforderungen die Verbraucher an die unterschiedlichen Akteure in der Wertschöpfungskette von (pflanzlichen) Lebensmitteln sowie an den Staat als Rahmen setzenden Akteur stellen. Auch hier haben die Gruppendiskussionen wichtige Ergebnisse geliefert und gezeigt, dass diese Anforderungen je nach Einkaufstypus variieren (vgl. Tabelle 87).

Mit Blick auf die Landwirte stellt dabei die Einhaltung guter fachlicher Praxis eine übergreifende Anforderung dar. Bei bio-affinen Verbrauchern geht dies mit besonderen Umweltschutzanforderungen an

³² Die Gruppe „Supermarktkunden 0 (gemischt)“ ist hier nicht wiedergegeben, weil sie im direkten Vergleich zu den Gruppen „Supermarktkunden 1 (volles Nest)“ und „Supermarktkunden 2 (leeres Nest)“ keinen Erkenntnisgewinn liefert.

³³ The „supermarket shoppers 0“ are not reproduced here, since they provide no additional insights as compared to the two other supermarket groups.

die Landwirtschaft einher. Ist die Preissensibilität besonders hoch, wie etwa bei den Discount-Kunden, wird den Landwirten zudem eine Verantwortung für die Sicherstellung günstiger Preise zugeschrieben. Soziale Anforderungen an die landwirtschaftliche Erzeugung, etwa im Sinne des Erhalts oder der Schaffung von Arbeitsplätzen, spielen eher eine marginale Rolle.

Tabelle 87: Verbraucheranforderungen an die Akteure in der Wertschöpfungskette

Anforderungen an	Discount-Kunden	Supermarkt-Kunden, volles Nest	Supermarkt-Kunden, leeres Nest	Bio-Intensiv-Käufer
Landwirte	Einhaltung guter fachlicher Praxis Sicherstellung günstiger Preise	Einhaltung guter fachlicher Praxis Umweltschutz	Einhaltung guter fachlicher Praxis	Einhaltung guter fachlicher Praxis Umweltschutz (Arbeitsplatzerhalt/-ausbau)
Hersteller	Sicherstellung günstiger Preise verständliche Produktinformation (auf Verpackung)	Qualitätssicherung, Rückstandsfreiheit	Qualitätssicherung, Rückstandsfreiheit Markenhersteller: Einhaltung Qualitätsversprechen verständliche Produktinformation (auf Verpackung)	zusätzliche Herkunftsinformationen (z. B. via Internet) Markenhersteller: Einhaltung Qualitätsversprechen Einhaltung sozialer Standards (Bsp. Großbäckerei)
Händler	Sicherstellung günstiger Preise Qualitätssicherung (z. B. wie bei Aldi)	keine konkreten Anforderungen	keine konkreten Anforderungen	Herkunftsangabe bei (losen) landwirtschaftlichen Erzeugnissen z. B. Angebot von Betriebsbesichtigungen
Staat	Gewährleistung zuverlässiger Lebensmittelkontrolle Subventionierung neuer Technologien in LW	Gewährleistung zuverlässiger Lebensmittelkontrolle Veröffentlichung bei Skandalen	Gewährleistung zuverlässiger Lebensmittelkontrolle	Gewährleistung zuverlässiger Lebensmittelkontrolle Unabhängige Produktinformation (s. Biosiegel)

Table 87: Consumer expectations with respect to different actors along the value-chain

Expectations towards	Discount shoppers	Supermarket shoppers, full nest	Supermarket shoppers, empty nest	Organic shoppers
Farmers	Keeping good agricultural practice Ensuring attractive prices	Keeping good agricultural practice Environmental protection	Keeping good agricultural practice	Keeping good agricultural practice Environmental protection (ensuring/extending employment)
Food producers	Ensuring attractive prices Comprehensible product information (on packaging)	Quality assurance, being free of harmful residues	Quality assurance, being free of harmful residues Brand manufacturers: keeping quality promise Comprehensible product information (on packaging)	Additional information on origin (e.g., by internet) Brand manufacturers: keeping quality promise Keeping social standards (e.g., in large bakeries)
Retailers	Ensuring attractive prices Quality assurance	No specific requirements	No specific requirements	Information on origin of agricultural produce e.g., offering farm visits
Government	Ensuring reliable food control systems Subsidizing new technologies in agricultural production	Ensuring reliable food control systems Publishing in case of food scandals	Ensuring reliable food control systems	Ensuring reliable food control systems Independent product information (e.g., organic labelling)

Die Lebensmittelhersteller werden – praktisch über alle Gruppen – für die Sicherstellung der Produktqualität verantwortlich gemacht. Vor allem Markenhersteller werden diesbezüglich in die Verantwortung genommen. Eine weitere Anforderung bezieht sich auf die Produktinformation auf der Verpa-

ckung. Insbesondere die Discount-Kunden und älteren Supermarktkunden legen dabei auf Verständlichkeit großen Wert. Lediglich die Bio-Intensiv-Käufer formulieren zumindest ansatzweise darüber hinaus gehende Anforderungen. Diese betreffen etwa die Einhaltung von sozialen Standards, z. B. bei der Entlohnung, oder die Bereitstellung zusätzlicher Herkunftsinformationen, z. B. via Internet. Für Discount-Kunden steht auch mit Blick auf diese Akteursgruppe das Angebot preiswerter Lebensmittel im Vordergrund.

Wenn es um die Formulierung von Anforderungen geht, steht der Handel als Point-of-Sale erstaunlicherweise weniger im Blickpunkt als die anderen Stufen der Wertschöpfungskette. Dass er, wie etwa im Falle des häufig zitierten Beispiels von Aldi, wichtige Aufgaben im Rahmen der Qualitätssicherung wahrnimmt, ist zwar bekannt. Qualitätssicherung wird jedoch kaum als explizite und generelle Anforderung an ihn gestellt. Die wenigen anderen handelsbezogenen Anforderungen, die den Gruppendiskussionen entnommen werden können, haben eher marginale Bedeutung. Dieser Befund lässt zwei mögliche Interpretationen zu: Entweder wird der Lebensmitteleinzelhandel (LEH) als aktiver Akteur mit eigenständigen Handlungsmöglichkeiten in den Bereichen der Qualitätssicherung und Informationsvermittlung kaum wahrgenommen oder er erfüllt diese Aufgabe so gut, dass die Verbraucher diesbezüglich keine weitergehenden Ansprüche formulieren. Eine repräsentative Verbraucherbefragung zur Wahrnehmung des LEHs kommt zu dem Ergebnis, dass die Aussage „die Produkte sind insgesamt von sehr guter Qualität“ eine große Zustimmung erfährt und beispielsweise für den Discounter Aldi ähnlich groß ausfällt wie für den Vollsortimenter Edeka (KPMG 2005, S. 12). Dies deutet daraufhin, dass es zumindest keine grundsätzlichen Qualitätsvorbehalte gegenüber dem LEH gibt – was eher für die zweite Interpretationsmöglichkeit spricht.

Aus Sicht aller befragten Verbraucher hat der Staat in erster Linie eine zuverlässige Lebensmittelkontrolle sicherzustellen. Für Verbraucher mit überdurchschnittlichen Informationsansprüchen, im vorliegenden Sample als beispielsweise die Bio-Intensiv-Käufer, spielt er noch eine gewisse Rolle im Rahmen unabhängiger Produktkennzeichnungen, also etwa als Herausgeber des Biosiegels. Darüber hinaus wird der Staat als aktiver und gestaltender Akteur im Lebensmittelsektor von den Verbrauchern kaum in die Pflicht genommen.

Bewertung von Precision Farming

Alles in allem hat die Vorstellung des Precision Farming in den Gruppendiskussionen zu eher positiven Reaktionen geführt. Eine pauschale, womöglich ideologisch motivierte Kritik wurde praktisch nicht geäußert. Insgesamt werden mit dieser neuen Technologie zahlreiche Vorteile in Verbindung gebracht, die sich auf ökologische, soziale und ökonomische Aspekte des Einsatzes von Precision Farming beziehen:

- stabilere Qualität der landwirtschaftlichen Erzeugnisse,
- weniger Schadstoffe im Endprodukt,
- Umweltentlastung durch Einsparung von Pflanzenschutz- und Düngemitteln,
- erleichterte Kontrolle des Anbaus,
- mehr Transparenz,
- Ertragszuwachs, dadurch gegebenenfalls mehr Beschäftigung und Spielraum für Preissenkungen,
- Arbeitserleichterung im Pflanzenbau,
- mehr Informationen für Verbraucher.

Demgegenüber stehen die wahrgenommenen Nachteile, die in den Fokusgruppen ebenfalls zum Ausdruck kommen. Diese beziehen sich vor allem auf die sozioökonomischen Aspekte der Techniknutzung:

- hoher Investitionsbedarf für die landwirtschaftlichen Betriebe,
- zusätzlicher Qualifizierungsbedarf auf Seiten der Landwirte,
- Benachteiligung kleiner landwirtschaftlicher Betriebe, die sich die Anschaffung nicht leisten können,
- Gefahr des Abbaus von Arbeitsplätzen in der Landwirtschaft durch forcierte Rationalisierung,
- Fehleranfälligkeit der Technik,
- Gefahr einer Erhöhung der Endverbraucherpreise durch höhere Erzeugerkosten,
- (weitere) Industrialisierung der Landwirtschaft.

Die zusammenfassende Bewertung der Technologie, die die Diskussionsteilnehmer am Ende der Fokusgruppen mittels eines Kurz-Fragebogens abgaben, unterstreicht die allgemeine Aufgeschlossenheit gegenüber der neuen Technik. Ihr Nutzen wird vor allem mit den beiden Schlüsselkriterien Lebensmittelsicherheit bzw. Rückstandsfreiheit sowie Transparenz bzw. Rückverfolgbarkeit assoziiert. Interessanterweise bewerten die Bio-Intensiv-Kunden Precision Farming insgesamt am positivsten, dicht gefolgt von den Discount-Kunden.

Tabelle 88: Bewertung von Precision Farming in Bezug auf die Schlüsselkriterien

Was bringt Precision Farming für ...	Discount-Kunden	Supermarkt-Kunden, volles Nest	Supermarkt-Kunden, leeres Nest	Bio-Intensiv-Käufer
mich als Verbraucher	o/+	o	o/+	+
Lebensmittelsicherheit, Rückstandsfreiheit	+	o	o/+	+
Transparenz, Rückverfolgbarkeit	+	o	+	+
Umweltschutz	o/+	o	o/+	o/+
Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Betriebe	o/+	-	o/+	o/+
Arbeitsbedingungen auf dem Land	-/o	-/o	o	-/o

Legende: „-“ = geringe Bedeutung, „o“ = mittlere Bedeutung, „+“ = große Bedeutung

Table 88: Assessment of precision farming against selected criteria

Benefits of PF for ...	Discount shoppers	Supermarket shoppers, full nest	Supermarket shoppers, empty nest	Organic shoppers
... me as a consumer	o/+	o	o/+	+
... food safety	+	o	o/+	+
... transparency and traceability	+	o	+	+
... environmental protection	o/+	o	o/+	o/+
... economic performance of agricultural business	o/+	-	o/+	o/+
... labour conditions in agricultural production	-/o	-/o	o	-/o

Caption: „-“ = little importance, „o“ = medium importance, „+“ = great importance

Die größten Befürchtungen werden geäußert mit Blick auf mögliche negative soziale Effekte der Technikverwendung: eine dadurch ausgelöste Beschleunigung des Strukturwandels in der Landwirtschaft, die Bedrohung von Arbeitsplätzen in der Primärproduktion sowie die Gefahr von Preiserhöhungen durch den Einsatz kapitalintensiver Technologien.

Transparenz in der Wertschöpfungskette landwirtschaftlicher Produkte wird insgesamt für wichtig erachtet und die Beiträge, die Precision Farming diesbezüglich leisten kann, werden als hoch eingeschätzt. Ein Nutzen ergibt sich dabei aus der Sicht der befragten Verbraucher zum Beispiel im Falle von Lebensmittelskandalen. Ein unmittelbarer, auf das eigene Kaufverhalten bezogener Nutzen, der aus mehr Transparenz resultieren könnte, wird hingegen nicht artikuliert. Eher wird in diesem Zusammenhang die Sorge um eine Informationsüberfrachtung zum Ausdruck gebracht.

7.1.3.5 Ergebnisse der Fokusgruppe Landwirte

Je nach Absatzweg sehen sich die Landwirte unterschiedlichen Qualitäts- und Dokumentationsanforderungen ausgesetzt: Bei Direktvermarktung fragen die Kunden in erster Linie nach Frische, Geschmack, Aussehen und Preis. Es besteht für die Landwirte dabei eine direkte Rückkoppelung mit Verbraucheranforderungen, die in der Regel ein Vertrauensverhältnis begründet. Beim Vertrieb der Ernte über den Landhandel stehen die Qualitätsprüfung der Produkteigenschaften nach bestimmten Parametern (z. B. Größe, Farbe, Zucker, Stärke, Fleckstellen) sowie die Zertifizierung des Produktionsprozess (z. B. nach EurepGap oder QS) im Vordergrund der Anforderungen. Bei direktem Verkauf an die Verarbeitungsindustrie werden in der Regel Zertifizierungen verlangt (u. a. EurepGap oder QS) und spezielle Parameter der Produktqualität vorgegeben, die zur Entscheidung über Annahme oder Ablehnung der Lieferung sowie deren Preis herangezogen werden. Einige Hersteller machen ihren Lieferanten außerdem genaue Vorgaben zum Anbau, die in Anbauverträgen festgehalten werden.

Zentrale Anforderung der Landwirte an Precision Farming Technologie ist deren Wirtschaftlichkeit. Insbesondere kleine und mittlere Betriebe bewerten zur Zeit die Rentabilitätsschwelle als noch zu hoch. Sie erwarten jedoch, dass im weiteren Zeitverlauf und bei größerer Nachfrage nach der neuen Technik die Einstiegsschwelle sinken könnte. Gewannebewirtschaftung wird nicht als Perspektive gesehen, denn dort, wo Flurbereinigung möglich gewesen sei, habe sie bereits stattgefunden. Als weiteres Erfolgskriterium für die neue Technik wird ihre Zuverlässigkeit angesehen: Vorteile entstehen nur, wenn Eingangsdaten korrekt erfasst werden (was mit erheblichem zeitlich und auch finanziellen Aufwand verbunden sein kann) und das System insgesamt zuverlässig arbeitet.

Durchweg positiv waren die Erwartungen in Bezug auf die Wirkung auf die erzielbare Produktqualität: Durch den Einsatz von Precision Farming Technologien wird eine größere Gleichmäßigkeit der Erntequalität erwartet. Die neue Technik kann helfen, die Qualität zu verbessern und Anforderungsstandards der Abnehmer zu erfüllen. In Bezug auf die Erweiterung der Dokumentationsmöglichkeiten werden Vorteile nur dann gesehen, wenn die erfassten Daten rechtsverwertbar gesichert werden können (vergleichbar einem LKW-Fahrtenschreiber). Datenformate und Software sollten für alle Dokumentationsformulare kompatibel sein, sodass nicht weiterhin viele von Hand ausgefüllt werden müssen. Bedenken wurden geäußert, wie das System Bedingungs- oder Befüllungsfehler ausschließen sollte – wie können z. B. Fehler bei der Tankbefüllung mit Pflanzenschutzmitteln ausgeschlossen werden – z. B. falsche Konzentration?

Im Hinblick auf potenzielle soziale Aspekte einer verbreiteten Einführung der neuen Technik ergab sich ein überwiegend kritisches Bild: Aufgrund von Rationalisierungseffekten könnte es zu einem

verstärkten Arbeitsplatzabbau in der Landwirtschaft kommen und der Strukturwandel würde weiter beschleunigt, was von den Teilnehmern negativ bewertet wurde. Höhere technische Anforderungen an die Arbeitskräfte könnten einerseits zu einem – zumindest partiell – verbesserten Ausbildungsstand der landwirtschaftlichen Beschäftigten und Betriebsleiter führen, Minderbegabte bzw. weniger Technik-Versierte würden jedoch ausgegrenzt und ihre Chancen im Wettbewerb und auf dem Arbeitsmarkt könnten sich verschlechtern.

In Bezug auf Umweltaspekte wurden durchweg Vorteile benannt – insbesondere Einsparungen bei der Pflanzenschutz- und Düngemittelausbringung wurden als sehr wahrscheinlich angesehen.

Insgesamt bestand ein großes Interesse an den von der Technik eröffneten Möglichkeiten, die überwiegend positiv bewertet wurden. Zentraler Prüfstein war für die anwesenden Landwirte die Wirtschaftlichkeit – dies wird für sie das Hauptentscheidungskriterium für die Einführung der Technik auf ihren Betrieben sein. Positive Nachhaltigkeitseffekte und die möglichen Erleichterungen in Bezug auf die Dokumentationsanforderungen, denen sie sich von Seiten ihrer Marktpartner ausgesetzt sehen, können einer Einführung förderlich sein, wären allein jedoch keine hinreichenden Gründe für die Anschaffung der neuen Technik

7.1.3.6 Ergebnisse aus den Produktpanels

Im Unterschied zu den homogen strukturierten Fokusgruppen mit Verbrauchern und Landwirten bestand in den durchgeführten Produktpanels die Möglichkeit, die Kommunikations- und Abstimmungsprozesse über Produkt- und Prozessqualitäten, Dokumentationsanforderungen und Nachhaltigkeitsorientierung unmittelbar nachzuzeichnen und zu diskutieren.

Zwei Produktpanels wurden durchgeführt – eines zu Kartoffel- und eines zu Getreideprodukten. Dafür konnten Vertreter aller Akteursgruppen entlang der Wertschöpfungskette Nahrungsmittelerzeugung gewonnen werden: Landwirte, Landhändler, Berater, Verarbeitungsindustrie, Handel, Zertifizierungsunternehmen und Verbrauchervertreter. Um eine konzentrierte Diskussion zu ermöglichen, wurden jeweils 8 bis 10 Teilnehmer eingeladen.

Auch hier gilt – wie weiter oben in Bezug auf die Fokusgruppen angesprochen – dass die Ergebnisse aus den durchgeführten Produktpanels selbstverständlich nicht als repräsentativ für alle an der Wertschöpfungskette Nahrungsmittel beteiligten Akteure gewertet werden können. Darum ging es in diesem Fall auch nicht. Es ging vielmehr darum, kritische Punkte in der Qualitätskommunikation zwischen den verschiedenen Gliedern der Wertschöpfungskette zu identifizieren und zu diskutieren, welche Potenziale die beteiligten Akteure dabei jeweils in einem verstärkten Einsatz von Precision Farming Technologien sehen.

Für den Handel und die Verarbeitungsindustrie erwies sich der Bereich der *Lebensmittelsicherheit* als zentrales Interesse. Nichts wird von diesen Akteuren mehr gefürchtet als Nahrungsmittelskandale und ein damit verbundener, möglicherweise dauerhafter Vertrauensverlust auf Seiten der Verbraucher. Qualitätskontroll- und Zertifizierungssysteme werden intensiv genutzt und durch die jeweiligen Einkäufer von den jeweiligen Zulieferern eingefordert. Dabei werden zusätzlich zu gesetzlich geforderten Dokumentationen eigene Anforderungskataloge eingesetzt – insbesondere seitens großer Markenfirmen und Handelshäuser.

Rückverfolgbarkeit, Datendokumentation- und Weitergabe sowie damit verbundene *Zertifizierungssysteme* sind daher zentrale Aspekte der Zusammenarbeit und Kommunikation zwischen den Akteuren entlang der Wertschöpfungskette. Die Landwirte sehen sich dabei mit komplexen, z. T. sehr unter-

schiedlich angelegten und zeitaufwändigen Dokumentationsanforderungen konfrontiert – sowohl seitens der gesetzlichen und der Verwaltungsanforderungen, als auch seitens ihrer Abnehmer.

Inwieweit die Produktion von Nahrungsmitteln den Prinzipien der *Nachhaltigkeit* entspricht, interessiert die Akteure in erster Linie mittelbar über die manifestierten, abgeschätzten oder vermuteten Verbraucherinteressen. Hier ist es vor allem der Handel, der über Listung/Auslistung und die Formulierung von Lieferbedingungen wahrgenommene Kundenanforderungen weiterreicht. Im Bereich der Verarbeitungsindustrie kann die demonstrative Beachtung von Nachhaltigkeitskriterien Wettbewerbsvorteile in Bezug auf Qualitätsprodukte erbringen. In Bezug auf Produkte, die vor allem in einem scharfen Preiswettbewerb stehen, werden Nachhaltigkeitskriterien als eher nachrangig betrachtet.

Die Rolle von Precision Farming

Die befragten Akteure aus der Wertschöpfungskette Nahrungsmittel sahen überwiegend positive Potenziale für den Einsatz von Precision Farming Technologien.

Von Seiten der Landwirte konnten die Ergebnisse aus der Fokusgruppendifkussion reproduziert werden: Zentral ist aus ihrer Perspektive die Frage der Wirtschaftlichkeit. Im Produktpanel wurde aber darüber hinaus sehr deutlich, dass die durch Precision Farming erweiterten und automatisierbaren Dokumentationsmöglichkeiten gerade in Bezug auf die Anforderungen der Abnehmer (Landhandel, Verarbeitungsindustrie und Einzelhandel) deutliche Vorteile gegenüber der jetzigen Praxis bieten können. Hier wurden allerdings auch die hohen Anforderungen hinsichtlich der Zuverlässigkeit und Kompatibilität von Datenverarbeitungssystemen und Landtechnik hervorgehoben.

Ein Punkt, der erstmals in den Produktpanels so deutlich problematisiert wurde, ist das Problem der Erfassung des Erntegutes, seiner Lagerung und seines Transportes. Bei Kartoffeln und Getreide bedarf es erheblicher Anstrengungen, auf einzelnen Schlägen geerntete Partien bei weiteren Transport- und Lagerungsprozess jeweils separat zu behandeln und damit die Rückverfolgbarkeit bis auf den einzelnen Ackerschlag zu erhalten. Auch innerhalb eines einzelnen Schlages können unterschiedliche Qualitäten anfallen, die mit der bisher eingesetzten Erntetechnik nicht differenziert werden können. Denkbar wären hier beispielsweise Kartoffelernter oder Mähdrescher mit mehr als einer Bunkerammer. Die Erntetechnik könnte dann minderwertige Qualitäten (z. B. Kartoffelpartien aus „nassen Löchern“) separieren, einer gesonderten Verwertung zuführen und die Wertigkeit der Hauptpartie damit erhöhen.

Auch bei der Lagerung gehört es durchaus noch nicht zur gängigen Praxis, einzelne Erntepartien von einzelnen Schlägen getrennt zu lagern und diese Differenzierung auch beim Weitertransport an die Verarbeiter aufrechtzuerhalten. Hier wurde von den Akteuren aus Landwirtschaft, Handel und Industrie die Kostenfrage solcher aufwändigeren Lager- und Logistiklösungen problematisiert – mit dem Tenor, dass letztlich die Verbraucher bereit sein müssten, für höhere Qualitäts- und Dokumentationsanforderungen dann auch einen höheren Preis in Kauf zu nehmen.

7.1.4 Diskussion

Precision Farming ist bei Verbrauchern bislang nicht oder nur sehr wenig bekannt. Wie die Verbraucher-Fokusgruppen jedoch gezeigt haben, gibt es – wenn die Thematik vorgestellt wird – eine grundsätzliche Aufgeschlossenheit dieser neuen Technik gegenüber. Das Meinungsbild fällt bezogen auf die möglichen Vor- und Nachteile des Precision Farming sogar bemerkenswert differenziert aus. Die Schlüsselkriterien Lebensmittelsicherheit, Transparenz und Nachhaltigkeit stellen dabei relevante Bezugspunkte der Bewertung dar. Aus Sicht der befragten Verbraucher kann Precision Farming am ehes-

ten zur Umsetzung von mehr Transparenz beitragen, gefolgt vom Kriterium Lebensmittelsicherheit. Der mögliche Beitrag zum Umweltschutz wird als geringer eingestuft.

Das Mehr an Informationen, welches durch den Einsatz von Precision Farming erreicht werden kann, wird positiv bewertet. Gleichwohl wird deutlich, dass die Verbraucher selbst nicht mehr Informationen verarbeiten können bzw. wollen. Daher wird der Informationsgewinn vor allem den vorgelagerten Stufen der Wertschöpfungskette zugeschrieben bzw. staatlichen Stellen, die etwa im Falle von Lebensmittelskandalen bessere Handlungsmöglichkeiten erhalten. Sollten den Verbrauchern zusätzliche Informationen, etwa zur Herkunft bestimmter Rohstoffe, zur Verfügung gestellt werden, so müssen sie geeignet aufbereitet und verständlich sein. Die Bereitstellung von zusätzlichen Informationen via Internet stößt bei bestimmten Verbrauchergruppen auf Interesse.

Spezifische Anforderungen formulieren die Verbraucher vor allem mit Blick auf die Erzeuger und Verarbeiter der Lebensmittel (im Hinblick auf die Produktqualität) sowie bezogen auf staatliche Akteure (in Hinblick auf die Lebensmittelsicherheit). Der Lebensmitteleinzelhandel wird nur sehr selten zum Adressaten konkreter Ansprüche gemacht.

Methodisch hat sich das Instrument der Fokusgruppe für den vorliegenden Untersuchungszusammenhang und insbesondere vor dem Hintergrund der Unbekanntheit des Precision Farming bewährt. Darüber hinaus wäre eine weitere Vertiefung des Themas mit besonders aufgeschlossenen Verbrauchern, etwa mit Blick auf geeignete Informationsstrategien, wünschenswert. Eine standardisierte Repräsentativbefragung zur Einschätzung von Precision Farming aus Verbrauchersicht wird jedoch vermutlich erst zu einem späteren Zeitpunkt, wenn die Technik bekannter geworden ist, sinnvolle Ergebnisse liefern können.

Die Ergänzung dieses Vorgehens mit der Durchführung von Produktpanels erwies sich als sehr zielführend. In diesen jeweils auf eine bestimmte Produktgruppe fokussierten Panels konnten Akteure aus allen Stufen der Wertschöpfungsketten an einen Tisch gebracht werden. Dies ermöglichte die Erörterung kettenübergreifender Fragestellungen und die eingehende Diskussion der Schnittstellenproblematik in Bezug auf die Weitergabe von Produkt- und Prozessinformationen. Dabei wurden neue, in der bisherigen Literatur noch nicht behandelte Probleme identifiziert – wie beispielsweise die Rolle der Lagerhaltung im Zusammenspiel mit Erntetechnik und Prozessdatendokumentation. Zur Lösung dieser Probleme bietet Precision Farming vielversprechende Ansätze, es müssen aber bei der weiteren Technikentwicklung jeweils die ganz spezifischen, kritischen Anforderungen der einzelnen Akteure entlang der Wertschöpfungskette berücksichtigt werden, um beispielsweise ein Abreißen des Dokumentationsflusses zu vermeiden und die Potenziale für die Qualitätssicherung voll auszuschöpfen.

Tabelle 89 fasst die Ergebnisse der Experteninterviews, Fokusgruppen und Produktpanels noch einmal überblickartig zusammen und kennzeichnet die jeweils zentralen Anforderungen der verschiedenen Akteursgruppen in Bezug auf Lebensmittelsicherheit, Transparenz und Nachhaltigkeit.

Tabelle 89: Zentrale Aspekte der Schlüsselkriterien aus Sicht der verschiedenen Akteursgruppen entlang der Wertschöpfungskette

	Verbraucher	Handel	Verarbeiter	Landwirte
Lebensmittelsicherheit	Geschmack, Gesundheit	Vertrauenssicherung	Absicherung	Absicherung
Transparenz	Qualitätssicherung	Absicherung	Rückverfolgbarkeit	gesicherter Absatz
Ökologie	Umweltfreundlichkeit	gesicherter Absatz	Ansprüche des Handels	Ansprüche der Abnehmer
Ökonomie	Gutes Preis-Leistungs-Verhältnis	günstiger Einkaufspreis	günstiger Einkaufspreis	Minimierung von Kosten
Soziales	Erhalt heimischer Landwirtschaft	regionale Lieferbeziehungen	regionale Lieferbeziehungen	Erhalt von Arbeitsplätzen

Table 89: Different aspects of the key criteria from point-of-view of the chain actors

	Consumers	Retailers	Food producers	Farmers
Food safety	taste, health	ensuring trust	safeguarding	ensuring sales
Transparency	quality assurance	safeguarding	traceability	ensuring sales
Ecology	environmental soundness	ensuring sales	requirements of retailers	requirements of customers
Economy	good value-for-money	good purchase price	good purchase price	minimising costs
Social issues	preservation of domestic agriculture	regional supply relationships	regional supply relationships	securing jobs

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Das Teilprojekt 2 leistete mit seiner Arbeit einen Betrag zur Vorbereitung von Marktpotenzialen für die in naher bis mittlerer Zukunft zu entwickelnden Precision Farming Technologien. Die in Expertengesprächen, Fokusgruppen und Produktpanels generierten Informationen über Orientierungen und Nutzeransprüche der verschiedenen Akteursgruppen entlang der Wertschöpfungskette wurden dem Gesamtprojekt (und nach Abschluss des Projektes der Öffentlichkeit) zugänglich gemacht und konnten dazu genutzt werden, die verschiedenen Komponenten der Precision Farming Technologie bedarfsgerecht und damit nachfrageorientiert weiterzuentwickeln. Damit können zusätzliche Nutzen für Verbraucher, Handel, Verarbeiter, Landwirte, Landtechnik- und Softwareindustrie realisiert werden.

Wissenschaftlich und/oder technische Erfolgsaussichten der Verwertung

Der Transfer der Ergebnisse des Teilprojekts 2 zu potenziellen Nutzergruppen fand bereits im Zuge der laufenden Projektarbeit im Rahmen der Expertengespräche, Fokusgruppengespräche und Produktpanels statt. Ferner dienten die projektinternen und teilöffentlichen Treffen der *pre agro*-Teilprojekte, sowie die Teilnahme an Fachtagungen unter anderem auch diesem Ziel, nämlich die im *pre agro*-Projekt erarbeiteten Lösungen potenziellen Anwendergruppen bekannt und nutzbar zu machen. Das IÖW selbst verspricht sich durch das im *pre agro*-Projekt generierte Know-How ebenfalls eine Steigerung seiner wissenschaftlichen Konkurrenzfähigkeit.

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Aus der Arbeit des Teilprojektes 2 werden spillover-Effekte zu potenziellen Verwertern bzw. Nutzern und Akteuren entlang der Wertschöpfungskette der Nahrungsmittelproduktion erwartet. Der im Projektverlauf hergestellte direkte Austausch zwischen verschiedenen Akteursgruppen und Vertretern des *pre agro*-Projektes aus verschiedenen Teilprojekten, sowie die Teilnahme an öffentlichen Fachtagun-

gen sichert die wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit im Hinblick auf eine Verwertung der Projektergebnisse.

Literatur

- AC NIELSEN (2005): The Power of Private Label 2005. A Review of Growth Trends Around the World, o.O., (http://www.acnielsen.de/news/documents/ThePowerofPrivateLabel2005_000.pdf, Zugang 19.11.2007)
- von ALVENSLEBEN, R. (2000): Verbraucherpräferenzen für regionale Produkte: Konsumtheoretische Grundlagen. Dachverband Agrarforschung [Hrsg.]: Schriftenreihe agrarspectrum, Band 30: "Regionale Vermarktungssysteme in der Land-, Ernährungs- und Forstwirtschaft – Chancen, Probleme und Bewertung", S. 3 – 18, Frankfurt.
- AEC (Association of European Consumers) (2002): Comments on the discussion document "Ideas for a Consumer Policy Strategy". http://europa.eu.int/comm/consumers/overview/cons_policy/responses/aec.pdf, Zugriff: 16.4.2005.
- BIRNER, R., I. BRÄUER, H. GRETHE, J. HIRSCHFELD, M. LÜTH, J. MEYER, A. WÄLZHÖLZ, R. WENK & H. WITTMER (2002): "Ich kaufe, also will ich?" – Eine interdisziplinäre Analyse der Entscheidung für oder gegen den Kauf besonders tier- und umweltfreundlich erzeugter Lebensmittel. In: Berichte über Landwirtschaft, 80 (2002) Nr. 4. S. 590 – 613
- BMVEL BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2004): Entwurf eines Gesetzes zur Neuordnung des Lebensmittel- und des Futtermittelrechts. Bonn / Berlin.
- BVE/GfK (2005): Consumers' Choice '05. Trends in Food and Beverages, Nürnberg (http://www.bve-online.de/presseservice/veroeffentlichungen/consumers_choice/, Zugang 19.11.2007)
- DÜRRENBARGER, G. & J. BEHRINGER (1999): Die Fokusgruppe in Theorie und Anwendung, Stuttgart.
- FELDER, R., T. RICHTER & M. GENONI (2006): „Informationsverhalten der Konsumenten bei Nahrungsmitteln, am Beispiel von Äpfeln“, in: Agrarwirtschaft und Agrarsoziologie, 01/06, S. 69 – 86 (http://www.sga-sse.ch/media/archive1/zeitschrift/nr_1_2006/06105_felder.pdf, Zugang 19.11.2007)
- GENERALDIREKTION GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2005): Vorrangige Pflichten der Lebensmittel- und Futtermittelunternehmer. Informationsblatt vom 31.3.2005. http://europa.eu.int/comm/food/food/foodlaw/responsibilities/obligations_de.pdf, Zugriff: 16.4.2005.
- HANSEN, U. (2003): Verbraucherinformation als Instrument der Verbraucherpolitik. Konzeptpapier des wissenschaftlichen Beirats „Verbraucher- und Ernährungspolitik“ beim BMVEL. Hannover / Berlin.
- HERDE, A. & M. SCHÄFER (2006): Nachhaltige Ernährung und Elternschaft. Ernährung im Fokus 6 (4), S. 98 – 104.
- i.m.a (infomation.medien.agrar) (2002): Image der deutschen Landwirtschaft. Bonn.

- KUHNERT, H., P.H. FEINDT, S. WRAGGE & V. BEUSMANN (2002): Datensammlung zur Repräsentativbefragung zur Nachfrage nach Lebensmitteln und zur Wahrnehmung der ‚Agrarwende‘. BIOGUM-Forschungsbericht FG Landwirtschaft 2/2002, Universität Hamburg. Hamburg.
- KPMG (2005): Der deutsche Lebensmitteleinzelhandel aus Verbrauchersicht, Köln (http://www.kpmg.de/library/pdf/050926_Der_deutsche_Lebensmitteleinzelhandel_aus_Verbrauchersicht_de.pdf, Zugang 19.11.2007)
- KPMG (2006): Status Quo und Perspektiven im deutschen Lebensmitteleinzelhandel 2006, Köln (http://www.kpmg.de/library/pdf/060904_Status_quo_und_Perspektiven_im_deutschen_Lebensmitteleinzelhandel_2006_de.pdf, Zugang 19.11.2007)
- KROEBER-RIEL, W. & P. WEINBERG (2003): Konsumentenverhalten, 8., aktualisierte und ergänzte Aufl., München
- KROPP, C. & W. SEHRER (2004): Die Nachfrage nach Bio-Lebensmitteln in München und Leipzig – sozialdemographische Hintergründe, Einkaufsstättenpräferenzen und Ernährungshaltungen. Diskussionspapier 2 des Verbundprojekts ‚Von der Agrarwende zur Konsumwende?‘, München (<http://sozialforschung.org/de/literatur/Bio-Statistik.pdf>, Zugang 20.11.2007)
- LAMNEK, S. (1998): Gruppendiskussion. Theorie und Praxis, Weinheim
- McCLUSKEY, J.J. & J.F.M. SWINNEN (2004): “Political economy of the media and consumer perceptions of biotechnology”, in: American Journal of Agricultural Economics, 86, S. 1230 – 1237
- MICHELS, P., A. SCHMANKE & E. LINNERT (2003): Bio-Frische im LEH: Fakten zum Verbraucherverhalten, Materialien zur Marktberichterstattung der ZMP, Band 45, Bonn
- MÜLLER, E. (2005): Nachhaltiger Konsum aus Sicht der Verbraucher. AmCham Germany Forum Nachhaltigkeit „Nachhaltiger Konsum: Utopie oder Geschäftsstrategie?“ am 12. April 2005 in Berlin
- MÜLLER, E. (2003): Nachhaltige Agrar- und Ernährungswirtschaft aus Sicht der Verbraucher. In: Girnau, M., Hövelmann, L., Wahmhoff, W., Wolf, W., Wurl, H. (Hrsg.) (2003): Nachhaltige Agrar- und Ernährungswirtschaft – Herausforderungen und Chancen in der Wertschöpfungskette. Berlin.
- POIGNEÉ, O., T. HANNUS, V. JAHN & G. SCHIEFER (2004): QM-G: Rückverfolgbarkeit und Qualitätssicherung in Unternehmen der Getreidewirtschaft. Getreidetechnologie 58, 2, S. 72 – 79, Bonn.
- RIMPAU, J. (2003): Erzeugungsstufe Landwirtschaft. In: Girnau, M., L. Hövelmann, W. Wahmhoff, W. Wolf & H. Wurl [Hrsg.] (2003): Nachhaltige Agrar- und Ernährungswirtschaft – Herausforderungen und Chancen in der Wertschöpfungskette. Berlin.
- SCHÄFER, M., A. HERDE & C. KROPP (2007): Life Events as Turning Points for Sustainable Nutrition. In: Lahlou, S./Emmert, S. (Hrsg.): Proceedings to the 2nd Workshop of the Sustainable Consumption Research Exchange (SCORE!) Network, 4th/5th June 2007, Paris, France. S. 115-129 (http://www.score-network.org/files//9594_Proceedings_workshop.07.pdf, Zugang 19.11.2007)
- SCHNEIDER, M. (2001): Essen in der Non-Stop-Gesellschaft. In: politische Ökologie, Es ist angerichtet Rezepte für Landwirtschaft und Ernährung der Zukunft. Ökom Verlag, München, Nr. 73 – 74, S. 16 – 19
- SCHÖNHEIT, I. (2004): Was Verbraucher wissen wollen – Ergebnisse einer empirischen Studie zum Informationsbedarf der Verbraucher [Hrsg.]. Verbraucherzentrale Bundesverband e.V., Berlin.

- SCHOLL, G. (2008): „Das Satellitentalala“ – Auswertung von Verbraucher-Fokusgruppen zum Thema Precision Farming, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin (im Erscheinen)
- SCHRADER, U. (1995): Der ökologisch bedingte Produktnutzen. Lehr- und Forschungsbericht Nr. 30 des Lehrstuhls Marketing I: Markt und Konsum der Universität Hannover. Hannover.
- SPILLER, A., M. LÜTH & U. ENNEKING (2004): Analyse des Kaufverhaltens von Selten- und Gelegenheitskäufern und ihrer Bestimmungsgründe für/gegen den Kauf von Öko-Produkten. Abschlussbericht, Göttingen.
- STIEB, I. (2004): Wer kauft Bio-Lebensmittel - und warum?" In: Ökologie & Landbau, 131,3/2004, S. 25-27 (<http://www.food-monitor.de/docs/b-oe/oe/okologie%20und%20landbau1.pdf>, Zugang 19.11.2007)
- STIEB, I. & D. HAYN (2005): Ernährungsstile im Alltag – Ergebnisse einer repräsentativen Untersuchung. Diskussionspapier Nr. 5. Frankfurt
- TAB BÜRO FÜR TECHNIKFOLGENABSCHÄTZUNG DES DEUTSCHEN BUNDESTAGES (2003a): Potenziale zur Erhöhung der Nahrungsmittelqualität. TAB-Arbeitsbericht Nr. 87. Berlin.
- TAB BÜRO FÜR TECHNIKFOLGENABSCHÄTZUNG DES DEUTSCHEN BUNDESTAGES (2003b): Potenziale für eine verbesserte Verbraucherinformation. TAB-Arbeitsbericht Nr. 89. Berlin.
- TAB BÜRO FÜR TECHNIKFOLGENABSCHÄTZUNG DES DEUTSCHEN BUNDESTAGES (2002): Entwicklungstendenzen von Nahrungsmittelangebot und -nachfrage und ihre Folgen – Basisanalysen. TAB-Arbeitsbericht Nr. 81. Berlin.
- VERBEKE, W. (2005): „Agriculture and the food industry in the information age“, in: European review of Agricultural Economics, Vol. 32 (3), S. 347 – 368
- VERBRAUCHERZENTRALE HAMBURG e.V., VERBRAUCHERZENTRALE THÜRINGEN e.V., NEUE VERBRAUCHERZENTRALE IN MECKLENBURG UND VORPOMMERN e.V. & VERBRAUCHERZENTRALE NORDRHEIN-WESTFALEN e.V. (2007): Bundesweite Umfrage: Die Ausweise bitte! Lebensmittel aus aller Welt – Kennzeichnung lückenhaft und unverständlich. Eine Gemeinschaftsaktion der Verbraucherzentralen. Bericht, Hamburg (http://www.vzbv.de/mediapics/bericht_umfrage_herkunft_von_lebensmitteln_23.07.2007_copy.pdf, Zugang 19.11.2007)
- VERORDNUNG (EG) Nr. 178/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2002 zur Festlegung der allgemeinen Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts, zur Errichtung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit, Amtsblatt Nr. L 031 vom 01/02/2002, S. 1 – 24.
- VZBV VERBRAUCHERZENTRALE BUNDESVERBAND [Hrsg.] (2004): Was Verbraucher wissen wollen. Ergebnisse einer empirischen Studie zum Informationsverhalten der Verbraucher. Autor Ingo Schoenheit, Berlin (http://www.vzbv.de/mediapics/verbraucherinformation_studie_imug_vzbv.pdf, Zugang 19.11.2007)
- WIRTHGEN, B., H. KUHNERT, M. ALTMANN, J. OSTERLOH & A. WIRTHGEN (1999): Die regionale Herkunft von Lebensmitteln und ihre Bedeutung für die Einkaufsentscheidungen der Verbraucher. In: Berichte über Landwirtschaft, Band 77. S. 243 – 261.

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT FÜR VERBRAUCHER- UND ERNÄHRUNGSPOLITIK BEIM BMVEL
(2003): Strategische Grundsätze und Leitbilder einer neuen Verbraucherpolitik. 2. redaktionell
überarbeitete Fassung vom 15. Juli 2003. Stuttgart-Hohenheim / Berlin.

Anschrift der Autoren:

Dr. Jesko Hirschfeld

IÖW - Institut für ökologische Wirtschaftsforschung gGmbH
Forschungsfeld Umweltökonomie und Umweltpolitik
Potsdamer Str. 105
10785 Berlin
Telefon: (030) 88459419
Telefax: (030) 8825439
E-Mail: jesko.hirschfeld@ioew.de

Dipl.-Volkswirt Gerd Scholl

IÖW - Institut für ökologische Wirtschaftsforschung gGmbH
Forschungsfeld Ökologischer Konsum
Potsdamer Straße 105
10785 Berlin
Telefon: (030) 8845940
Telefax: (030) 8825439
E-Mail: gerd.scholl@ioew.de

7.2 Identifikation und Umsetzung nachhaltiger Entwicklung in der Wertschöpfungskette Lebensmittel

Identification and realisation of sustainability in food supply chains

Achim Schaffner, Lothar Hövelmann, Frank Reinicke & Olaf Christen

Zusammenfassung

Nachhaltigkeit ist das Leitbild für zukunftsfähige Entwicklung unter Berücksichtigung ökologischer, ökonomischer und sozialer Belange. Neben Staat und Gesellschaft kommt Unternehmen eine entscheidende Bedeutung bei, nachhaltige Entwicklung zu erreichen. Dies betrifft auch und gerade die Wertschöpfungskette Lebensmittel, bei der die Landwirtschaft als Lieferant von Rohstoffen für die Lebensmittelherstellung eine entscheidende Rolle für Nachhaltigkeit spielt.

Für die Landwirtschaft wird vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeit das Ziel formuliert, das nachhaltige Landwirtschaft ökologisch tragfähig, ökonomisch existenzfähig und sozial verantwortlich ist. Auf dieser Grundlage verfolgen Landwirtschaftsbetriebe ein Bündel unterschiedlicher Ziele: Einkommen erwirtschaften, hochwertige und sichere Rohstoffe für die Lebensmittelherstellung erzeugen, natürliche Ressourcen bei der Produktion schützen, Arbeitsplätze bereitstellen etc. Die Landwirtschaft ist damit in ihrer Rolle als Rohstoffproduzent die Basis für eine nachhaltige Wertschöpfungskette Lebensmittel. Um die Ziele nachhaltiger Landwirtschaft zu erreichen, benötigen landwirtschaftliche Unternehmer geeignete Instrumente für das Nachhaltigkeitsmanagement in ihren Betrieben.

Für die Betriebsführung wurde in Teilprojekt 1 Nachhaltigkeit anhand ökologischer, ökonomischer und sozialer Indikatoren operationalisiert. Grundlage für die Indikatorenauswahl ist die Nachfrage nach Nachhaltigkeitsinformationen in der Wertschöpfungskette Lebensmittel und der Relevanz der Informationen für die betriebliche Nachhaltigkeitsanalyse. Die Indikatoren analysieren die Nachhaltigkeit von Landwirtschaftsbetrieben in den Bereichen Ressourcennutzung und -effizienz, Einfluss auf die Biodiversität, Klimaschutz, Arbeitsbedingungen von Angestellten, gesellschaftlichen Leistungen, Qualitätssicherung der Rohstoffe sowie Liquidität, Rentabilität und Stabilität der Produktion. Mit den Indikatoren wird das Nachhaltigkeitsprofil des Betriebes erhoben, um Stakeholder zu informieren. Die Indikatorenauswertungen geben Hinweise über Stärken und Schwächen des Betriebes und sind die Grundlage für Produktionsoptimierungen. Darüber hinaus sind die Indikatoranalysen die Basis für die Nachhaltigkeitszertifizierung von Landwirtschaftsbetrieben.

Neben der inhaltlichen Entwicklung des Instruments für die Nachhaltigkeitsanalyse ist deren effiziente Umsetzung im Betrieb von Bedeutung. Dazu werden die Potenziale von Precision Farming im Hinblick auf die automatische Erfassung von Bewirtschaftungsinformationen für die Berechnung von ökologischen Indikatoren genutzt. Mit der Erweiterung des agroXML Schemas in Zusammenarbeit mit weiteren Teilprojekten in *pre agro* wurde ein standardisiertes Datenaustauschformat für die Übertragung von Nachhaltigkeitsinformationen entwickelt. Mit agroXML können nun für die Nachhaltigkeitsanalyse relevante Informationen und Ergebnisse der Nachhaltigkeitsanalyse zwischen dezentralen Datenverarbeitern ausgetauscht werden.

Summary

The aim of subproject 1, sustainable value added food chain, is to develop a data management and communication concept within the value added food chain with the focus on sustainability. The technological basis for the data base of sustainability analysis is Precision Farming. The concept comprises suggestions to support the optimisation of production processes concerning sustainability, product and processing quality. The value added chains of potatoes and sugar beets are the object of the analyses. Both value added chains are analysed with regard to the persons involved applying the criteria of sustainability, demands on process and product quality, transparency and traceability.

The main focus of subproject 1 is to determine indicators of sustainability and to analyse the food chains (organisation of quality and sustainability), agricultural law and the expected benefits of the management systems for potential users. Methods used by the studies are mainly analyses of technical literature, expert interviews, focus group discussions and panel interviews.

One important part of sustainability in the food chain is food quality and security. The survey of the food chains showed different tools for obtaining quality of products and processes. The actors adopt certifications of agricultural production systems and crop growing agreements. Sustainability is not yet an explicit matter of certifications and agreements. In fact, only a few recommendations exist for sustainable agriculture. According to the sustainability approach, the subproject develops ecological, economic and social indicators to quantify the sustainability effects of agricultural production systems. The ecological indicators quantify effects on the environment. Economic indicators indicate economy-related effects. Social criteria measure impacts on living and working conditions of the people in the firm and participatory interactions of the firms with the society.

The indicator system also was introduced into a concept for sustainable supply chain management of the food chain. Agriculture is producing raw materials for the food processing industries, so the agricultural products are the base for the sustainable food chain. The food industry can use the indicators and the DLG-label on sustainable agriculture to buy sustainable produced raw materials. So, the indicator concept on sustainable farming is a tool for procuring sustainable produced raw materials.

Besides the indicator development, the project developed in cooperation with the subprojects of information management a data infrastructure as a base for the data flow from the field to the sustainability analysis tool and back to the field book. For data collection of the production systems, precision farming makes the automatic data collection possible. For this data flow between farm management systems and the sustainability analysis system Repro (ecologic analysis), the agroXML standard is used. agroXML was enlarged by indicators of sustainability and standardized the data flow between different actors in farms and the supply chain.

7.2.1 Einleitung und Problemstellung

Nachhaltigkeit ist definiert als Leitbild, das staatliches und gesellschaftliches Handeln unter der Berücksichtigung ökologischer, sozialer und ökonomischer Prämissen bestimmen soll. Neben staatlichen und gesellschaftlichen Akteuren kommt auch Unternehmen eine hohe Bedeutung zu um Nachhaltigkeitsziele, wie die Wahrung sozialer Verantwortung oder die Schonung von Umweltressourcen, zu erreichen. Unternehmerische Nachhaltigkeit und Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen ist somit die Basis für fortschrittliche Unternehmensführung. Um Nachhaltigkeit in Unternehmen umsetzen zu können, bedarf es der Operationalisierung für die betriebliche Praxis. Unternehmensführungen stehen vor der Aufgabe ein Nachhaltigkeitsmanagement aufzubauen, das gleichsam soziale, ökologische

und ökonomische Ziele erreicht. Dazu sind Kennzahlen notwendig, um Entscheidungen unter Nachhaltigkeitsaspekten treffen und Leistungen gegenüber Stakeholdern dokumentieren zu können.

Die Handlungsfelder und Instrumente für nachhaltiges Wirtschaften in der Landwirtschaft sind vielfältig. Neben der wirtschaftlichen Organisation der Produktion hat Nachhaltigkeitsmanagement die Aufgabe, die Qualität und die Sicherheit der erzeugten Produkte den Markterfordernissen anzupassen und die natürliche Umwelt bei der Produktion zu schonen. Zwar stehen dem Landwirt für die einzelnen Bereiche unterschiedliche Instrumente zur Verfügung, um die einzelnen Teilziele zu erreichen; es fehlt jedoch ein integrierendes Instrument, das die „Nachhaltigkeits-Performance“ von landwirtschaftlichen Betrieben gezielt analysiert.

Nachhaltigkeitsmanagement unterstützt Unternehmen, ökonomische Ziele mit ökologischen und sozialen Anforderungen an die Produktion zu verbinden. Zu berücksichtigen sind Anforderungen der unterschiedlichen Anspruchsgruppen der Landwirtschaft: Interne Stakeholder, wie Betriebsinhaber und Betriebsleiter, zielen auf die Wirtschaftlichkeit des Betriebes; Angestellte zielen auf sichere Arbeitsplätze. Externe Stakeholder wie Verbraucher fragen sichere Lebensmittel nach, die unter Schonung natürlicher Ressourcen erzeugt wurden. Aus diesen unterschiedlichen Zielen und Anforderungen leiten sich die Handlungsfelder des Nachhaltigkeitsmanagement in der Landwirtschaft ab:

- Optimierung von Produktionsprozessen im Hinblick auf den effizienten Einsatz von Betriebsmitteln und die Wirtschaftlichkeit der Produktion,
- Risikomanagement in den Bereichen Produkt- und Umwelthaftung,
- Qualitätssicherung und Lebensmittelsicherheit erzeugter Produkte für die Wertschöpfungskette,
- Minimierung von Auswirkungen der landwirtschaftlichen Produktion auf die natürliche Umwelt und Schonung natürlicher Ressourcen,
- „Umfeldmanagement“: Kommunikation mit Anspruchsgruppen, wie den Abnehmern erzeugter Produkte, Banken, Behörden und der Gesellschaft allgemein.

Neben den inhaltlichen Anforderungen an die Konzeption von Werkzeugen zum Nachhaltigkeitsmanagement kommt der technischen Umsetzung, wie der Datenerfassung und Übertragung für die Produktionssystemanalyse, eine entscheidende Rolle bei der Umsetzung der Nachhaltigkeitsanalysen zu. Vor diesem Hintergrund eröffnet Precision Farming neue Möglichkeiten der Erfassung von Bewirtschaftungsdaten und der Prozesssteuerung, um Nachhaltigkeitsziele zu erreichen.

Im Teilprojekt 1 wurden für die Umsetzung von Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft deshalb der Status Quo in der Wertschöpfungskette Lebensmittel hinsichtlich der Organisation von Qualität und Nachhaltigkeit ermittelt, Kriterien und Methoden für die Indikatorenauswahl erarbeitet, Indikatoren für das Nachhaltigkeitsmanagement entwickelt sowie Konzepte für die Datenverarbeitung im Rahmen der Nachhaltigkeitsanalyse auf Basis von Precision Farming erarbeitet.

7.2.2 Vorgehensweise

Entwicklung Nachhaltigkeitsmanagementsystem / Nachhaltigkeitsindikatoren

Nachhaltigkeit ist für die Betriebsführung landwirtschaftlicher Betriebe bisher ein unbestimmter Begriff. Die Forschungsaufgabe besteht somit insbesondere darin,

- den Status Quo in Bezug auf Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft und der Wertschöpfungskette Lebensmittel zu ermitteln, sowie
- einen operativen Ansatz für das Nachhaltigkeitsmanagement in der Landwirtschaft und der Wertschöpfungskette, insbesondere für die Beschaffung landwirtschaftlicher Rohstoffe, zu entwickeln.

Die Status Quo Analyse und Entwicklung des Nachhaltigkeitsmanagementsystems erfolgten in unterschiedlichen Teilschritten:

- Literaturrecherche zum Status Quo des Nachhaltigkeitsmanagements in der Landwirtschaft und der Wertschöpfungskette Lebensmittel: In diesem Schritt wird analysiert, welche Instrumente und Managementansätze in der Landwirtschaft zur Verfügung stehen, um Nachhaltigkeit in die Betriebsführung zu integrieren. Dabei spielen bspw. auch in der Landwirtschaft etablierte Systeme zur Qualitätssicherung eine Rolle. Darüber hinaus werden Indikatorensysteme analysiert, die explizit Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft abbilden sollen. Neben den Managementinstrumenten wird auch das landwirtschaftliche Fachrecht hinsichtlich dessen Anforderungen an nachhaltige Produktion untersucht und daraus Anforderungen an die Entwicklung der Indikatoren abgeleitet.
- Fokusgruppengespräche mit Experten zur Evaluierung des Einsatzes von Systemen zum Nachhaltigkeitsmanagement und zur Ermittlung von Systemanforderungen: In den Fokusgruppen wurden der Status Quo des praktischen Einsatzes von Nachhaltigkeitsmanagementsystemen und die Anforderungen an die Systeme für die Landwirtschaft ermittelt.
- Produktforen mit Akteuren der Wertschöpfungskette Lebensmittel zur Evaluierung des entwickelten Indikatorensatzes: Mit Experten aus der Wertschöpfungskette Lebensmittel werden die erarbeiteten Indikatoren diskutiert sowie deren Relevanz und Anwendbarkeit für das Nachhaltigkeitsmanagement in der Betriebsführung und der Wertschöpfungskette geprüft.
- Experteninterviews: Neben den Fokusgruppen und den Produktforen wurden Einzelinterviews mit Experten für Qualitätssicherung und Nachhaltigkeit aus der Wertschöpfungskette durchgeführt.
- Fallstudien und Dokumentenanalyse: Gegenstand der Untersuchungen bez. des Status Quo von Nachhaltigkeit in der Wertschöpfungskette waren die Wertschöpfungsketten Kartoffeln und Zuckerrüben. Diese wurden aufgrund ihrer unterschiedlichen Strukturierung ausgewählt. In Kombination von Firmen-Fallstudien und Dokumentenanalysen wurden Qualitätssicherung, Nachhaltigkeitsmanagement und Organisation des Anbaus untersucht. Dabei wurden Nachhaltigkeitsberichte und Qualitätsprogramme hinsichtlich der Anforderungen an die Landwirtschaft in den Bereichen Qualität und nachhaltige Produktion analysiert.

Entwicklung der Dateninfrastruktur für Nachhaltigkeitsmanagement

Nachhaltigkeitsanalysen in der Landwirtschaft und die Übertragung von Nachhaltigkeitsinformationen erfordern den Austausch von Informationen zwischen unterschiedlichen Akteuren. Der Bereich automatische Datenerfassung / Datenflüsse wurde zusammen mit dem Projektbereich 2, Informationsmanagement, erarbeitet. In einem ersten Schritt wurde in einem Fragebogen der Status Quo der automatischen Erfassung von Bewirtschaftungsinformationen mit Precision Farming für die Nachhaltigkeitsanalyse ermittelt.

Für die Übertragung der Analyseergebnisse wurden mit dem Projektbereich 2 notwendige Dateninfrastrukturen entwickelt. Dazu wurde das agroXML Schema um Indikatoren und um Parameter für die

Indikatorwertberechnung erweitert. Mit der Schemaerweiterung ist die Voraussetzung geschaffen, Bewirtschaftungsinformationen für die Nachhaltigkeitsanalyse aus einem Farm-Managementsystem (einer Ackerschlagkartei) in die Analysesoftware Repro zu übertragen. Das agroXML Schema ermöglicht zudem die Rückübertragung von Bewirtschaftungsinformationen in die Ackerschlagkartei.

7.2.3 Ergebnisse

Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die landwirtschaftliche Produktion wird durch eine Reihe gesetzlicher Vorschriften geregelt, deren Vorgaben relevant für die Indikatorentwicklung sind. Analysiert wurden u. a. die Rechtsbereiche Bodenschutz, Naturschutz, Düngung und Pflanzenschutz, Wasserschutz, Lebensmittelsicherheit (vgl. Tabelle 90). Die Gesetzgebung, insbesondere die Rechtssetzung in Verbindung mit der Reform der gemeinsamen Agrarpolitik in der EU, präzisiert die gute fachliche Praxis und stellt in unterschiedlichen Rechtskreisen, wie dem Lebensmittelhygienerecht, Rechtsverbindlichkeit her (KRAMER 2005, S. 5).

Tabelle 90: Gesetze und Verordnungen landwirtschaftlicher Produktion

Table 90: Regulations in agriculture

Gesetz/Verordnung/Richtlinie	Bezeichnung
VO 852/2004	Lebensmittelhygiene
VO 1782/2003	„Cross Compliance“ Verordnung
VO 178/2002	„Lebensmittelbasisverordnung“
RL 79/409 EWG	„Vogelschutzrichtlinie“
RL 92/47 EWG	Schutz natürlicher Lebensräume
RL 91/67 EWG	Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung mit Gefahrenstoffen
RL 86/278 EWG	Schutz der Umwelt und der Böden bei Verwendung von Klärschlamm
RL 91/414 EWG	Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln
RL 85/374 EWG	Haftung bei fehlerhaften Produkten
Düngeverordnung	Regelungen zur Düngepraxis
Pflanzenschutzgesetz	Regelungen zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der Landwirtschaft
Bundesnaturschutzgesetz	Regelungen zur guten fachlichen Praxis aus naturschutzfachlicher Sicht
Bundesbodenschutzgesetz	Regelungen zum Bodenschutz

Die in den Verordnungen und Gesetzen formulierten Vorgaben greifen Teilbereiche der Nachhaltigkeit auf (vgl. Tabelle 91). So enthält die Düngeverordnung Vorgaben für das Düngemanagement im Betrieb. Die EU VO 178/2002 schreibt die Anwendung des Vorsorgeprinzips in der Lebensmittelherstellung vor und bezieht auch die landwirtschaftliche Primärproduktion explizit ein.

Die Gesetze und Richtlinien beinhalten somit zum Teil konkrete Vorgaben für die landwirtschaftliche Erzeugung. Dies erfordert zum Teil Anpassungen in der landwirtschaftlichen Produktion, wie z. B. im Bereich der Qualitätssicherung / Produkthaftung und Rückverfolgbarkeit. Anforderungen für nachhaltige Biomasse werden in der Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung in Bezug auf die nachhaltige Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Flächen, den Schutz natürlicher Lebensräume und der Realisierung von Treibhausgas-Minderungspotenzial. Die Umsetzung der Vorgaben wird anhand von Zertifizierungssystemen sichergestellt, die die Einhaltung der Vorgaben überprüfen. In der derzeitigen Diskussion der Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung geht es um die Gleichbehandlung landwirtschaftlicher Rohstoffe für die Energie- und Lebensmittelerzeugung. Aufgrund der identischen Problembereiche nachhaltiger landwirtschaftlicher Produktion sollten Indikatoren einer nachhaltigen Landwirtschaft

für beide Erzeugungsrichtungen anwendbar sein. Anforderungen an das Nachhaltigkeitsmanagement ergeben sich neben gesetzlichen Vorgaben durch gesellschaftliche Nachfrage, wie z. B. hinsichtlich des konkreten Nachweises nachhaltiger Wirtschaftsweise.

Tabelle 91: Vorschriften für die landwirtschaftliche Produktion – Beispiele

Table 91: Examples of regulations in agriculture

Gesetz/ Verordnung/ Richtlinie	Vorgaben
Düngeverordnung	Ausbringung von max. 170 kg/ha N aus Wirtschaftsdüngern Ermittlung der Nährstoffgehalte im Boden Erstellung von Nährstoffvergleichen und Berechnung von Nährstoffsalden
Pflanzenschutzgesetz	Definition der guten fachlichen Praxis beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln
Bundesbodenschutzgesetz	Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und der Bodenstruktur Vermeidung von Bodenverdichtung durch standortangepasste Bewirtschaftung
VO 1782/2003	Erosionsschutz: 40 % der Nutzflächen müssen im Zeitraum vom 1.12. bis 15.2. bewachsen sein Erhaltung der organischen Bodensubstanz: Anbau von mindestens 3 Fruchtarten, die einen Mindestanteil von 15 % in der Fruchtfolge umfassen müssen
VO 178/2002	Anwendung des Vorsorgeprinzips in der Lebensmittelherstellung Rückverfolgbarkeit: Sicherstellung durch Einsatz entsprechender Rückverfolgbarkeitssysteme
Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Biomasse zur Verwendung als Biokraftstoff	Nachhaltige Bewirtschaftung ldw. Flächen Schutz natürlicher Lebensräume Treibhausgas-Verminderungspotenzial

Für die Umsetzung von Nachhaltigkeitsanforderungen, wie die Steigerung der Ressourceneffizienz, die Schonung natürlicher Ressourcen etc. sind Indikatoren auszuwählen, die die Steuerung von Produktionsprozessen ermöglichen. Dabei werden die gesetzlichen Anforderungen, wie z. B. die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, Vorschriften zur Düngung etc. durch die Indikatoren aufgegriffen und Rechtssicherheit in der landwirtschaftlichen Produktion unterstützt.

Wertschöpfungskette Lebensmittel: Organisation von Qualität, Lebensmittelsicherheit und Nachhaltigkeit

Geänderte Rechtsvorgaben in der Verordnung VO 178 / 2002 haben zu vermehrten Anstrengungen in der Qualitätssicherung und Lebensmittelsicherheit von Erzeugnissen der Agrar- und Ernährungswirtschaft geführt. Neben den gesetzlichen Regelungen sollen private Qualitätssicherungssysteme die Qualität und Lebensmittelsicherheit in Form von betriebsindividuellen Zertifizierungen garantieren und Verbrauchervertrauen zurückgewinnen (FRIES 2006, S. 11 ff). In der Wertschöpfungskette werden unterschiedliche Instrumente für die praktische Umsetzung der Sicherung von Qualität und Sicherheit eingesetzt (vgl. Abbildung 189). In der Kartoffelerzeugung spielt insbesondere die Zertifizierung landwirtschaftlicher Betriebe nach QS und GlobalGap eine entscheidende Rolle. Landwirtschaftsbetriebe müssen Standards im Bereich der Ernte- und Betriebsmittellagerung, der Hygiene bei Erzeugung und Transport des Erntegutes, der Sachkunde im Umgang mit Pflanzenschutzmitteln erfüllen und werden anhand von Checklisten von unabhängigen Auditierern geprüft.

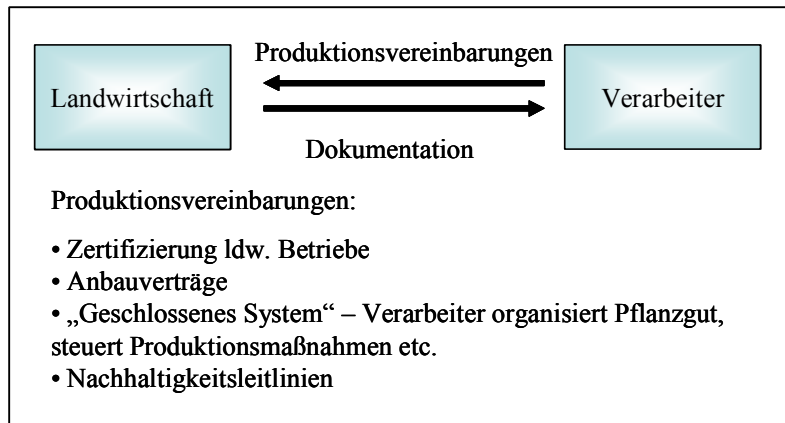


Abbildung 189: Organisation von Produkt- und Prozessqualität

Figure 189: Organisation of product and process quality

In der direkten Zusammenarbeit zwischen Landwirtschaftsbetrieben und Lebensmittelherstellern spielen Produktionsvereinbarungen bzw. Anbauverträge eine zentrale Rolle. Diese Produktionsvereinbarungen umfassen z. B. die Zertifizierung der Produktion nach einem Qualitätsstandard als Basis der Sicherung von Rohstoffqualität und Lebensmittelsicherheit (vgl. Tabelle 92). Diese Vereinbarung wird oftmals über darüber hinaus gehenden Produktionsvorgaben ergänzt.

Tabelle 92: Ziele und Maßnahmen zu Qualitätssicherung und nachhaltiger Landwirtschaft

Table 92: Targets and actions for quality and sustainability in agriculture

System/ Initiative	Ziele	Maßnahmen
QS (Gesellschafter: DBV, DRV, CMA, HfM, u. a.)	Stufenübergreifende Absicherung der Lebensmittelsicherheit	Definition eines Produktionsleitfadens mit Kriterien einer sicheren Rohstofferzeugung
EUREP GAP (Mitglieder: METRO, EDEKA, GLOBUS, TE-GUT u. a.)	Lebensmittelsicherheit, Umweltschutz auf Ebene landwirtschaftlicher Betriebe	Definition von Erfüllungskriterien und Kontrollpunkten für die landwirtschaftliche Praxis zum Benchmarking landwirtschaftlicher Produktion – kontinuierliche Verbesserung in den Bereichen Umweltschutz, Lebensmittelsicherheit
SAI (Sustainable Agriculture Initiative) (Träger: NESTLÉ, UNILEVER, DANONE u. a.)	Quantitative und qualitative Sicherung landwirtschaftlicher Rohstoffe, Ressourcenschutz, Verbrauchervertrauen	Entwicklung Prinzipien und Praktiken nachhaltiger Landwirtschaft (z. B. für Kartoffeln (SAI 2005a), Getreide (SAI 2005b))
EISA (Träger: FNL, LEAF, FARRE u. a.)	Qualitativ hochwertige Rohstoffe, umweltfreundliche Produktion, Erhaltung natürlicher Ressourcen unter Berücksichtigung der gesellschaftlichen Anforderungen	Empfehlungen zu nachhaltiger Wirtschaftsweise in den Bereichen Management, Monitoring, Pflanzenschutz, Energieeinsatz, Wasser- und Bodenschutz; Erstellen best practice Beispiele (EISA, o.J.)
Linking Environment and Farming (LEAF) – LEAF Marque Standard	Erreichen von Konsumentenvertrauen für die landwirtschaftliche Produktion. Umweltgerechte Lebensmittelproduktion	Auditoring Betriebsmanagement hinsichtlich Umweltwirkungen, Einsatz von Elementen des Umweltmanagements (LEAF 2004)

Gegenstand zusätzlicher Vereinbarungen sind bspw. die Fruchtfolgegestaltung, der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (verwendete Wirkstoffe, Ausbringungszeitpunkte), verwendetes Saat- und Pflanzgut etc. Verpflichtend ist zudem die Dokumentation der Produktionsprozesse, aus der die einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen mit den eingesetzten Betriebsmitteln hervorgehen. Die Dokumentation erfasst bspw. Bodenbearbeitung und Aussaat, Dünge- und Pflanzenschutzmaßnahmen sowie Erträge und Qualitätsparameter der erzeugten Rohstoffe. Stärkere Integration von Rohstofferzeugung und Verarbeitung sind Merkmale des „geschlossenen Systems“, bei dem der Lebensmittel herstellende Betrieb detailliert in die landwirtschaftliche Produktion eingreift und z. B. Pflanzgutvermehrung orga-

nisiert und Produktionsmaßnahmen über unternehmenseigene Beratungsinstitutionen steuert. Gemeinsam ist den unterschiedlichen Formen der Qualitätssicherung, dass die Wirkungen der Bewirtschaftungsmaßnahmen, z. B. auf die Umwelt oder den Ressourceneinsatz, nicht quantifiziert werden.

Die Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Produktion in der Wertschöpfungskette Lebensmittel basiert derzeit auf Empfehlungen und Richtlinien. So geben die Sustainable Agriculture Initiative (SAI 2005a, 2005b) und der European Initiative for Sustainable Development in Agriculture (EISA, o.J.) Empfehlungen heraus. Nachhaltigkeitsmanagement in der Landwirtschaft hat somit Empfehlungscharakter, ohne dass integrierte Instrumente für Nachhaltigkeitsmanagement eingesetzt werden. Systeme wie der LEAF Marque Standard (LINKING ENVIRONMENT AND FARMING 2004) oder KUL (ECKERT et al. 1999) zielen auf die umweltgerechte Produktion, um die negativen Einflüsse landwirtschaftlicher Produktion zu minimieren und Konsumentenvertrauen in der Lebensmittelproduktion zu erreichen. Instrument hierfür sind Standards, die anhand einer Checkliste die die Bereiche Betriebsorganisation, Bodenmanagement, Pflanzenschutzausbringung, Energie- und Wassereinsatz etc. geprüft werden (LEAF 2004) bzw. die Umweltperformance von Landwirtschaftsbetrieben ermitteln (VDLUFA 2002).

In Unternehmen der Ernährungswirtschaft steht mit dem INC (initialer Nachhaltigkeitscheck, MERTEN & WESTERMANN 2005) ein Internet basiertes Instrument zur Nachhaltigkeitsanalyse zur Verfügung. Das Instrument dient der internen Nachhaltigkeitsanalyse und ermittelt den Nachhaltigkeitsstatus des Unternehmens. Gegenstand der Bewertung sind die Bereiche Produkte und Kundenorientierung, Produktion und Transport, Personal, Unternehmensorganisation, Kooperation und Innovation, Marketing und Öffentlichkeitsarbeit sowie Finanzen und Strategie. Das System ist somit eng an die internen Abläufe im Unternehmen angelehnt, ohne explizit die Beschaffung landwirtschaftlicher Rohstoffe zu behandeln.

Nutzenerwartungen von Anwendern an das Nachhaltigkeitsmanagementsystems

Ausgehend von den Ergebnissen der Status Quo Analyse des Themenfeldes Nachhaltigkeitsmanagement in der Landwirtschaft wurden in den Fokusgruppenbefragungen „Nutzenerwartungen der Anwender“ die Anforderungen an das Managementsystem ermittelt (vgl. Tabelle 93). Die Befragten unterschieden interne und externe Auswertungs- und Dokumentationsmöglichkeiten. Die internen Auswertungen bewerten den Bewirtschaftungserfolg und sind die Basis für weitere Produktionsentscheidungen. Die externen Auswertungsmöglichkeiten umfassen die Dokumentationspflichten gegenüber Behörden und Kunden und sollen auf die jeweiligen Nachweispflichten zugeschnitten sein.

Managementsysteme werden von Landwirten akzeptiert, wenn

- die Landwirte Unterstützung für konkrete Handlungsentscheidungen erhalten,
- wirtschaftliche Vorteile erreicht werden, wie z. B. Kosteneinsparungen oder Ertragssteigerungen,
- horizontale Betriebsvergleiche ermöglicht werden,
- neue Märkte erschlossen werden.

Die derzeit von den Landwirten durchgeführten Aufzeichnungen dienen zum einen der betrieblichen Produktionsanalyse und zum anderen, um die staatlichen Dokumentationspflichten und Anforderungen von Geschäftspartnern zu erfüllen. Aufzeichnungen bzw. Nachweise, die über die aktuellen Nachweispflichten hinausgehen, werden oftmals als zusätzliche Belastung aufgefasst. Erhöhter Auf-

wand für Dokumentation und Betriebsanalysen werden akzeptiert, wenn höhere Erzeugerpreise oder ein sicherer Absatz der erzeugten Produkte erreicht werden. Die Bereitschaft von Betriebsleitern zu Nachhaltigkeitsmanagement und Nachweisen nachhaltiger Produktion hängt somit von der Nachfrage nach nachhaltig erzeugten Rohstoffen in der Wertschöpfungskette ab.

Tabelle 93: Nutzererwartungen potenzieller Anwender

Table 93: Expectations of users on the management system

Anwendungsbereich	Nutzererwartungen
Nachhaltigkeitsanalysen mit Indikatoren	Nachhaltigkeitsanalyse der Betriebe bzw. Nachhaltigkeits-Zertifizierung wird akzeptiert wenn: Vermarktungswege gesichert, Vorteile bei Kreditvergabe und Pacht sowie die Gefahr von Produktmängeln reduziert werden. Die gesetzlichen Anforderungen müssen gemanagt werden können (Erfüllung der Nachweispflichten). Weitere Kriterien der Betriebsanalyse werden kritisch betrachtet, da Mehraufwand bei Dokumentation und Datenerhebung befürchtet wird.
Betriebsauswertungen	Flexible Auswertungsmöglichkeiten bzw. Anpassung an betriebliche Verhältnisse Müssen zielgruppengerecht zusammengestellt werden, um Nachweisanforderungen gegenüber Behörden und Vertragspartnern gerecht werden zu können.
Kompatibilität der erstellten Auswertungen zu Qualitätssicherungssystemen	Vermeidung von Daten-Doppelerfassungen, um Arbeitsaufwand zu reduzieren
Datenhaltung zur Nachweisführung	Zentrale, Web-basierte Systeme werden abgelehnt, Anwender wollen selbst Daten zusammenstellen und Daten weiterleiten.

Voraussetzung für die Akzeptanz des Nachhaltigkeitsmanagementsystems aus Sicht der potenziellen Anwender ist die Relevanz der Indikatoren für die Betriebsführung. Unter dieser Voraussetzung erlangt Nachhaltigkeit auch in der individuellen Betriebsführung Relevanz als Instrument für eine zukunftsfähige Betriebsführung.

Um den Dokumentations- und Datenhaltungsaufwand zu minimieren – und damit die Akzeptanz der Nachhaltigkeitsanalyse zu steigern – ist die automatische Übertragung der Informationen von der Ackerschlagkartei in das Nachhaltigkeitsanalysetool bedeutend. Voraussetzung für die Übertragung sind einheitliche Datenformate in Betriebs- und Analysesoftware. Instrumente zum Nachhaltigkeitsmanagement sollen deshalb:

- Indikatoren und Kennzahlen mit Relevanz für die Betriebsführung umfassen,
- Zusätzlichen Dokumentationsaufwand vermeiden,
- Automatische Datenübertragung zwischen elektronischer Ackerschlagkartei und Analysesoftware ermöglichen,
- Produktionssysteme verbessern und Vermarktungswege sichern.

Nachhaltigkeitsindikatoren

Für die Nachhaltigkeitsanalyse und die Nachhaltigkeitsbewertung von Landwirtschaftsbetrieben bzw. deren Produktionssysteme werden Kennzahlen für das Nachhaltigkeits-Controlling benötigt. Basis der Nachhaltigkeitsanalysen sind Indikatoren, die Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft messbar machen.

Indikatoren sind Kenngrößen, die der Beschreibung des Zustands eines Systems dienen. Entscheidend für die Indikatorwahl sind die Ziele und Anforderungen, die die Unternehmung zu erfüllen hat; daher

sollte die Auswahl geeigneter Indikatoren stark auf den Nutzungszweck zugeschnitten sein (WAHMHOFF 2003, S. 13 f). Indikatoren spielen eine zentrale Rolle in der Entwicklung des Managementsystems, da sie Nachhaltigkeit auf der Ebene von Unternehmen operationalisieren. Die Indikatoren und deren Grenzwerte machen den Begriff Nachhaltigkeit somit handhabbar (LEWANDOWSKI 1999, S. 184). Relevant für die Zieldefinition des Unternehmens sind interne und externe Stakeholder. Interne Stakeholder, wie z. B. Unternehmenseigentümer, das Management und Mitarbeiter, haben Interesse an gesicherten Einkommen, den Wert des eingesetzten Kapitals zu steigern und gute Arbeitsbedingungen vorzufinden. Externe Stakeholder wie z. B. Kunden der Unternehmung, Verbraucher etc. wollen sichere und qualitativ hochwertige Produkte zu günstigen Preisen, umweltschonende Produktion etc. (ODENING & BOKELMANN 2000, S. 15f).

Gemäß diesen Aufgaben sind die Indikatoren auszuwählen um die Wirkungen auf den ökonomischen Erfolg, die Umweltwirkungen der Produktion und die sozialen Bedingungen beurteilen zu können. Basierend auf der Wirkungsanalyse landwirtschaftlicher Produktion sind Indikatoren die Grundlage für Entscheidungen im Betrieb (BMU 1997, S. 282).

Gemäß dem Konzept der Nachhaltigen Entwicklung wurden Indikatoren aus den Bereichen Ökologie, Ökonomie und Soziales definiert. Für die Entwicklung des Nachhaltigkeitskonzeptes auf der Unternehmensebene sind somit Indikatoren und Maßzahlen notwendig, die gleichermaßen gesellschaftliche Ziele in den Bereichen Ökologie und Soziales als auch unternehmensbezogene Ziele, wie die Wirtschaftlichkeit der Produktion, umfassen (vgl. Tabelle 94). Die Indikatorwahl geht auf Literaturanalysen und Focusgruppendifkussionen zurück. Die Ergebnisse wurden in einer DLG Arbeitsgruppe „Nachhaltigkeitsindikatoren“ diskutiert, die im Rahmen des Projektes „Nachhaltige landwirtschaftliche Erzeugung in der Wertschöpfungskette Lebensmittel“ gemeinsam mit der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gegründet wurde. Mitglieder der Arbeitsgruppe sind Experten aus den unterschiedlichen Arbeitsfeldern nachhaltiger Landwirtschaft. Damit wurde die externe Vernetzung des *pre agro* Teilprojektes I erreicht.

Tabelle 94: Nachhaltigkeitsziele

Table 94: Targets of sustainability

Ökologische Ziele	Soziale Ziele	Ökonomische Ziele
Bodenschutz	Aus- und Fortbildung	Rentabilität der Produktion
Klimaschutz	Regionales Engagement	Stabilität des Unternehmens
Gewässerschutz	Qualitätssicherung Rohstoffe	Liquidität des Unternehmens
Schutz der Biodiversität		

Die Aufgabe ökologischer Indikatoren ist es, den Einfluss landwirtschaftlicher Tätigkeit auf die biotische und abiotische Umwelt zu bewerten und den Verbrauch an Umweltgütern (Boden, Wasser, Luft) abzubilden. Gegenstand der Umweltanalyse sind die folgenden Bewertungsbereiche: Eutrophierung von Gewässern durch Nährstoffe, Beeinträchtigung der Bodenfunktionen durch Erosion und Verdichtung, Dezimierung der Artenvielfalt durch verringerte Kulturartenzahl, Biotopbeeinträchtigung und Pflanzenschutzmittel, Veränderung des Landschaftsbildes, Energieeffizienz (ECKERT et al. 1999).

Die Voraussetzung für nachhaltige Landwirtschaft ist deren ökonomische Existenzfähigkeit. Diese wird bewertet mit Kennzahlen aus den Bereichen Liquidität, Rentabilität und Stabilität.

Die Liquidität drückt die Fähigkeit des Unternehmens aus, den Zahlungsverpflichtungen nachzukommen. Liquidität ist die Voraussetzung für die Existenz des Unternehmens, da unzureichende Zahlungsfähigkeit in die Insolvenz führt.

Die Rentabilität gibt Auskunft über Erfolg und Misserfolg der unternehmerischen Tätigkeit, in dem das Verhältnis des Gewinns zu den eingesetzten Produktionsfaktoren gebildet wird. Die Stabilität weist auf die Fähigkeit des Unternehmens hin, bei Eintritt unvorhergesehener Risiken die Tätigkeit des Betriebes langfristig zu sichern (DLG 1997, S. 24, HEIßENHUBER 2000, S. 72 ff).

Die Säule Soziales formuliert die Forderung, dass ein nachhaltig wirtschaftender Betrieb den dort arbeitenden Menschen ein angemessenes Einkommen ermöglichen soll, Freiraum zu eigenverantwortlichem Handeln gewährt und gesellschaftliche Integration unterstützt (MÜLLER & KÄCHELE 2000, S. 50). Ausgehend von dieser Definition werden die übergeordneten Kategorien Arbeit und Beschäftigung und gesellschaftliche Leistungen definiert, aus denen Indikatoren abgeleitet werden. Die sozialen Indikatoren kennzeichnen somit die Arbeits- und Lebensbedingungen der Personen im Unternehmen.

Da Einzelindikatoren nicht den gesamten, für die Nachhaltigkeitsanalyse relevanten Bereich abdecken, wird ein Indikatorensystem erstellt. Das Indikatorensystem umfasst alle relevanten Merkmale der Nachhaltigkeit in landwirtschaftlichen Unternehmen. Zudem muss das Indikatorensystem flexibel sein, um bei sich ändernden Situationen ergänzt oder verringert werden zu können (MUTSCHELLER 1996, S. 39 f). Das Indikatorensystem der betrieblichen Nachhaltigkeitsanalyse zeigt Tabelle 95.

Tabelle 95: Indikatoren und Analysebereiche

Table 95: Indicators and areas on analysis

	Analysebereich	Indikator	Betriebsanalyse
ÖKOLOGIE	Klimawirkungen	Treibhausgasemissionen	Emissionsinventur
	Ressourceneinsatz	Energieintensität, Phosphoreinsatz	Energiebilanzierung, P-Verlustpotenzial
	Biodiversität	Agrobiodiversität, Landschaftspflegeleistung, Pflanzenschutzintensität	Betriebsorganisation/ Verfahrensgestaltung Behandlungsindex
	Bodenschutz	Bodenverdichtung, Erosion, Humussaldo	Verdichtungsneigung, Bodenabtrag, Humusbildung der Verfahren
	Wasser- und Luftbelastung	N-Saldo	N-Verlustpotenzial
ÖKONOMIE	Rentabilität	Betriebseinkommen, Faktorentlohnung	Wertschöpfung des Betriebes / Entlohnung der Produktionsfaktoren
	Liquidität	Kapitaldienstgrenze	wirtschaftlich möglicher Kapitaldienst
	Stabilität	Gewinnrate, Nettoinvestition, Eigenkapitalveränderung	Stabilität des Betriebes Betriebsinvestitionen Kapital für Investitionen, Lebenshaltung
SOZIALES	Arbeit und Beschäftigung	Lohn und Gehalt, Durchschnittliche Arbeitsbelastung, Urlaub, Aus- und Fortbildung, Arbeitssicherheit	Entlohnung Angestellte Arbeitszeit Angestellte Urlaubstage Angestellte Fortbildungen Angestellte
	Gesellschaftliche Leistungen	Kommunikation mit der Öffentlichkeit, Kooperationen, Regionales Engagement	Aktivitäten des Unternehmens

Datenbasis für die betriebliche Nachhaltigkeitsanalyse sind die Bewirtschaftungsdaten des Betriebes. Dazu zählen u. a. die ausgebrachten Mengen an Dünger und Pflanzenschutz, die Anzahl der Überfahrten, eingesetzte Pflanzenschutzmittel usw. Für die effiziente Datenerfassung leistet Precision Farming einen grundlegenden Beitrag, in dem die Bewirtschaftungsinformationen automatisch erfasst und der weiteren Bearbeitung zugeführt werden (vgl. Dateninfrastruktur für die Nachhaltigkeitsanalyse).

Ergebnis der Indikatorenanalyse ist das Nachhaltigkeitsprofil des Betriebes. Dieses umfasst die Darstellung der Ergebnisse mit absoluten Zahlen (z. B. N-Saldo in kg/ha, die Energieintensität in MJ/GE), aus denen z. B. die Nährstoffsalden, die Energieintensität der Produktion hervorgehen. Im Rahmen der

Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung der Betriebe werden die betrieblichen Ist-Werte mit Zielwertbereichen verglichen. Dazu werden die absoluten Werte in eine dimensionslose Zahl zwischen 0 und 1 überführt. Der Wert 1 entspricht dabei der besten Nachhaltigkeitsleistung, 0 ist nicht nachhaltig (vgl. Tabelle 96).

Tabelle 96: Ergebnis Nachhaltigkeitsanalyse (Auszug)

Table 96: Results of the sustainability analysis (examples)

Indikator	2002	2003	2004	2005	Mittelwert	Zielbereich	Bewertung
Getreideanteil (% AL)	69,8	60,9	63,1	71,0	66,2	< 60	0,46
Fruchtartendiversität	2,19	2,26	2,28	2,22	2,2	> 1,75	0,9
N-Saldo (kg N/ha)	112,0	106,6	82,8	110,3	102,9	-25 bis +70	0,49
P-Saldo (kg P/ha)	-8,5	2,7	-4,2	7,1	-0,7	je nach Vst	1
P-Bodengehalt (Vst)	C	C	C	C	-	-15 bis +15	-
K-Saldo (kg K/ha)	-0,2	-14,1	-35,6	-9,6	-14,9	je nach Vst	0,97
K-Bodengehalt (Vst)	D	D	D	D	-	-146 bis -46	-
Humussaldo (kg C/ha)	-92,8	-121,8	-133,4	63,8	-71,1	-75 bis +100	1
PSM-frei Fläche (% LF)	4,5	4,1	4,9	4,8	4,6	> 10	0,46
Energieintensität (MJ/GE)	198,9	220,8	150,6	186,7	189,2	< 250	1

Vst = Versorgungsstufe

Für die Bewertung des Betriebes werden die Indikatorenwerte innerhalb der einzelnen Säulen zu einem Gesamtwert aggregiert. Ergebnis ist die Nachhaltigkeitsleistung des Betriebes in den drei einzelnen Säulen. Schließlich werden die Werte der Säulen zu einem Betriebs-Gesamtwert aggregiert, der den Nachhaltigkeitsstatus des Betriebes darstellt. Das Gesamt-Nachhaltigkeitsprofil des Betriebes wird schließlich mit einem Netzdiagramm dargestellt (vgl. Abbildung 190). Aus dem Netzdiagramm gehen die Stärken und Schwächen des Betriebes hervor. Das Diagramm ermöglicht den direkten Vergleich der Indikatoren innerhalb und zwischen den einzelnen Säulen.

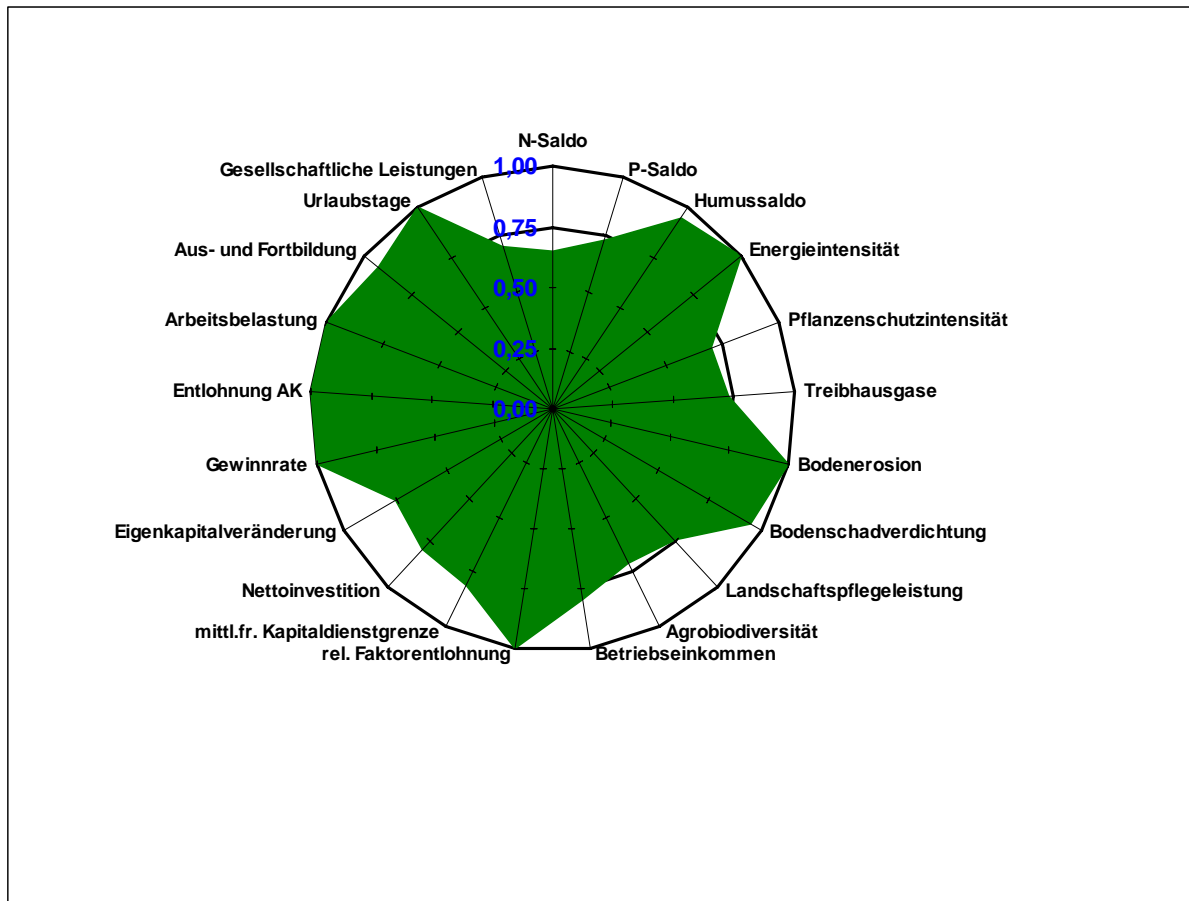


Abbildung 190: Betriebliches Nachhaltigkeitsprofil

Figure 190: Sustainability-Profil of the farm

Für die externe Kommunikation kann der Landwirt das DLG-Nachhaltigkeitszertifikat und das dimensionslose Nachhaltigkeitsprofil nutzen. Mit dem Zertifikat dokumentiert der Landwirt die Einhaltung der Nachhaltigkeitsanforderungen; mit dem Nachhaltigkeitsprofil stellt der Landwirt die Nachhaltigkeitsleistung seines Unternehmens dar. Mit dem Nachhaltigkeitsprofil hat der Landwirt einen „Produktpass“ zur Verfügung, der Nachhaltigkeitsinformationen über die Produkte beinhaltet und mit dem die nachhaltige Erzeugung der Rohstoffe dokumentiert wird.

Der Ernährungswirtschaft bietet die auf der Nachhaltigkeitsanalyse aufbauende Zertifizierung der Betriebe die Möglichkeit, gezielt Rohstoffe aus nachhaltiger Landwirtschaft zu beziehen. Das Zertifizierungssystem ist somit Teil eines umfassenden Nachhaltigkeitsmanagements in der Ernährungswirtschaft und unterstützt die gesamte Wertschöpfungskette Lebensmittel bei der Umsetzung von Nachhaltigkeitszielen und der Nachhaltigkeitskommunikation.

Dateninfrastruktur für die Nachhaltigkeitsanalyse

Die betriebliche Nachhaltigkeitsanalyse erfordert eine breite Datenbasis. Precision Farming ermöglicht die automatische Datenerfassung und erleichtert die Dokumentation von Bewirtschaftungsdaten. Die standardisierte Dateninfrastruktur zwischen Farmmanagement- und Analysesystemen ermöglicht den effizienten Datenaustausch.

Im Bereich der Ökologie wird für die Nachhaltigkeitsbetrachtung das Bewertungssystem Repro genutzt. Mit einer umfangreichen Dateninfrastruktur können Bewirtschaftungsinformationen vom Landwirt mit Precision Farming automatisch während der Bewirtschaftungsmaßnahmen erfasst und für die weiteren Auswertungen weitergeleitet werden. Die Analyse der Möglichkeit der automatischen Prozessdatenerfassung zeigt, dass die räumliche Dokumentation der Bewirtschaftungsmaßnahmen, die Erfassung der Ernteerträge, die ausgebrachten Mengen an Mineraldünger, die ausgebrachten Pflanzenschutzmittel, der Kraftstoffverbrauch und die Arbeitszeit erfasst werden können (vgl. Tabelle 97, siehe auch Kapitel 5.3).

Tabelle 97: Automatische Datenerfassung mit Precision Farming – Parameter

Table 97: Automatic Data collection with precision farming

Parameter	Nutzung für die Nachhaltigkeitsanalyse	Datendefinition
GPS-Position	Räumliche Dokumentation der Bewirtschaftungsmaßnahmen	Erfassung der Schläge und Teilschläge
Ernteerträge	Grundlegender Parameter für die Berechnung von Effizienzen	Ort, Zeit, Menge
ausgebrachte Mengen Mineraldünger – N, P, K	Parameter zur Berechnung der N, P, K Salden; Dokumentation der Bewirtschaftungsmaßnahmen im Bereich Düngung	
ausgebrachte Pflanzenschutzmittel	Parameter zur Berechnung der Pflanzenschutzintensität, Aufzeichnung der Bewirtschaftungsmaßnahmen	Ort, Zeit, Menge, Mittel
Kraftstoffverbrauch	Parameter zur Berechnung der Energiebilanz	Ort, Zeit, Menge
Arbeitszeit	Berechnung der Produktionskosten für die Produktionskostenanalyse	Arbeiter, aufgewendete Arbeitszeit

Grundlage für den standardisierten Austausch von Informationen ist agroXML als standardisiertes Datenaustauschformat. Für die Datenübertragung im Rahmen der Nachhaltigkeitsanalyse wurde agroXML um die folgenden Nachhaltigkeitsindikatoren erweitert (siehe auch Kapitel 5.2):

- Humusbilanz,
- Stickstoffbilanz,
- Anbaustruktur Fruchtarten,
- Energiebilanz,
- Phosphorbilanz,
- Kaliumbilanz,
- Pflanzenschutz – Behandlungsindex.

Für die Berechnung der Indikatoren sind eine Reihe von Parametern notwendig, die ebenfalls im agroXML Schema ergänzt wurden:

- Betriebsdaten (Schläge, Wetterdaten, Hofentfernungen der Schläge),
- Schlagdaten (Schlagnummer, Teilflächen mit Ackerzahlen, Bodenart etc.),
- angebaute Fruchtfolgen,
- Arbeitsgänge (verwendete Maschinen etc.),

- Bodennährstoffgehalte,
- Anbaustrukturen (Fruchtfolgen).

Die Erweiterung des agroXML-Schema ermöglicht es, die Informationen von Ackerschlagkarteien als Basis für die Indikator-Betriebswertberechnungen zu nutzen. Neben der Datenübertragung für die Nachhaltigkeitsanalyse wird das agroXML-Schema auch bei der Rückübertragung der Ergebnisse von Repro in die Ackerschlagkartei genutzt (siehe auch Kapitel 5.5.2.4.1).

Schlagkarteien fungieren als Dokumentationswerkzeug aller Bewirtschaftungsmaßnahmen und erfassen die Informationen für die Nachhaltigkeitsanalyse. Aus der Ackerschlagkartei werden die Informationen per agroXML in das Nachhaltigkeits-Analysewerkzeug für die ökologische Analyse (Repro) eingelesen. Mit den übertragenen Informationen werden die Indikatorberechnungen durchgeführt (vgl. Abbildung 191).

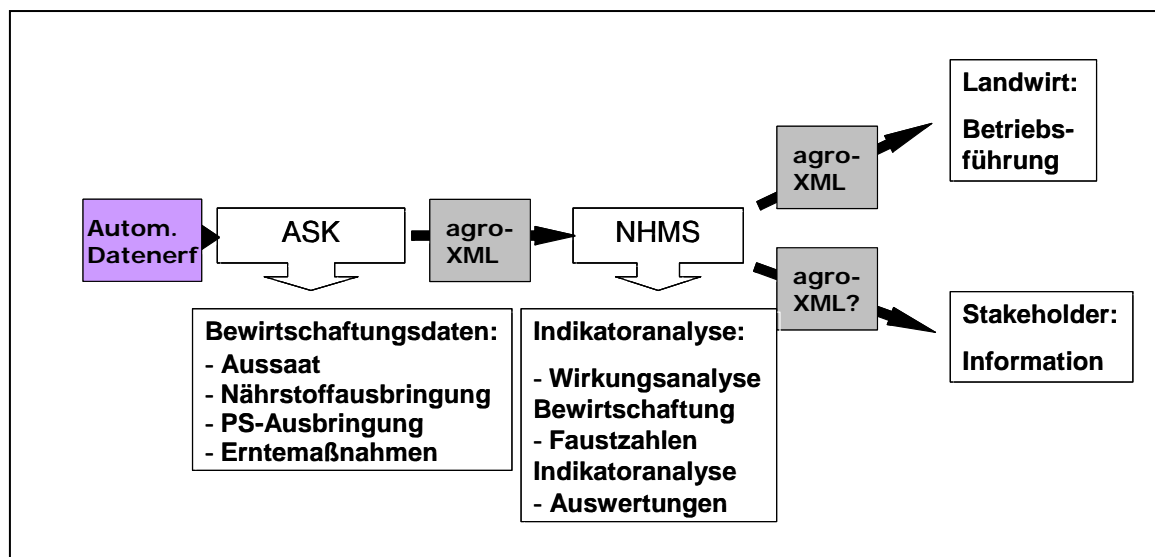


Abbildung 191: Datenübertragung für die Nachhaltigkeitsanalyse

Figure 191: Data flow for sustainability analysis

agroXML ermöglicht zudem, Ergebnisse der Indikatorenberechnung zurück in die Ackerschlagkartei zu übertragen. An der Schnittstelle Repro – Stakeholder bzw. Akteure der Wertschöpfungskette werden die Ergebnisse der Indikatorenanalyse in die Wertschöpfungskette übertragen. Der Detaillierungsgrad der übertragenen Informationen hängt von den Vereinbarungen zwischen Landwirt und dem Verarbeiter der Rohstoffe ab und ist in vertraglichen Vereinbarungen (Lieferverträgen) zu regeln. Denkbar ist:

Die Darstellung der Indikatorenergebnisse in Tabellenform – Darstellung der absoluten Berechnungsergebnisse,

die Darstellung der Indikatoren in Form eines Netzdiagramms und damit Weitergabe des Betriebs-Nachhaltigkeitsprofiles in Form der dimensionslosen Bewertung zwischen 0 und 1,

Darstellung des Zertifizierungsstatus des Betriebes (zertifiziert ja / nein; Gültigkeitsdauer des ausgestellten Zertifikates).

Nachhaltigkeit in der Wertschöpfungskette Lebensmittel

Soll Nachhaltigkeit in der Wertschöpfungskette erreicht werden, ist die Anwendung von Nachhaltigkeitsmanagementsystemen und die Übertragung von Nachhaltigkeitsinformationen zwischen einzelnen Akteuren notwendig. Die Anwendung einzelbetrieblicher Managementsysteme verfolgt das Ziel, die eigene Nachhaltigkeitsperformance des Unternehmens zu verbessern. Mit der Datenübertragung wird Transparenz hinsichtlich des Nachhaltigkeitsprofils, z. B. von landwirtschaftlichen Rohstoffen, erreicht.

Mit Blick auf die Wertschöpfungskette Lebensmittel ist das Sustainable Supply Chain Management für die Umsetzung von Nachhaltigkeit ein entscheidendes Managementinstrument. Ziel des Sustainable Supply Chain Management in der Wertschöpfungskette ist es, die Produkt- und Prozessqualität der Produkte auf der Erzeugungs- und Verarbeitungsstufe und die Umweltwirkungen zu verbessern, ökologische und ökonomische Risiken zu vermindern, sowie soziale und ethische Mindeststandards zu verankern.

Instrumente des Sustainable Supply Chain Management sind Unternehmenspolitiken, Qualifikation von Zulieferern anhand von ökologischen, sozialen und ethischen Kriterien, Einkaufsrichtlinien und Partnerschaften mit Zulieferern, Öko- und Soziallabel, die Nutzung von Managementsystem, insbesondere Umweltmanagementsystemen (CHARTER et al. 2001, S. 4, LOEW 2006, S. 10 ff). Aspekte der nachhaltigen Wertschöpfungskette Lebensmittel im Bereich landwirtschaftlicher Rohstoffherzeugung umfassen insbesondere Umweltwirkungen landwirtschaftlicher Produktion (Bodendegradation, Beeinflussung von Grund- und Oberflächengewässern, Arten- und Biotopverlust etc.), die Einhaltung sozialer Mindeststandards insbesondere bei Angestellten, sowie die Stärkung von Verbraucherinteressen (ERDMANN et al. 2003, S. 13f).

Die Landwirtschaft liefert den Lebensmittelherstellern wesentliche Verarbeitungsrohstoffe und ist daher ein maßgeblicher Faktor, um Nachhaltigkeit in der Wertschöpfungskette zu erreichen. Mit dem Nachhaltigkeitszertifikat, basierend auf der Indikatoren-Nachhaltigkeitsanalyse, wird die nachhaltige Erzeugung landwirtschaftlicher Rohstoffe dokumentiert. Dies ermöglicht Verarbeitern, gezielt Rohstoffe aus nachhaltiger Landwirtschaft zu beziehen. Das Zertifikat verknüpft somit die Stufen Landwirtschaft und Lebensmittelherstellung.

7.2.4 Diskussion

Ausgangspunkt für die Entwicklung von Nachhaltigkeitsindikatoren für die Landwirtschaft ist die zunehmend sensibilisierte Öffentlichkeit in Fragen der Nachhaltigkeit. So verstärken in jüngster Zeit Unternehmen der Agrar- und Ernährungswirtschaft und des Lebensmittelhandels die Aktivitäten im Bereich der Nachhaltigkeit. So führte die Rewe-Gruppe das Label „Best Alliance“ ein, das höhere Anforderungen an die Produkte im Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit formuliert, z. B. hinsichtlich des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln in der landwirtschaftlichen Produktion, und soziale Mindeststandards fest schreibt.

Ausgehend von den Anforderungen an die nachhaltige Produktion in der Wertschöpfungskette Lebensmittel benötigt auch die Landwirtschaft Instrumente für Nachhaltigkeitsmanagement im Betrieb und für die Nachhaltigkeitskommunikation. Indikatoren aus den Bereichen ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeit sind die Basis für das betriebliche Nachhaltigkeitsmanagement. Dabei werden die Indikatoren zum einen für die betriebliche Nachhaltigkeitsanalyse eingesetzt, in deren Rahmen auf Basis der Bewirtschaftungsinformationen die „Nachhaltigkeitsperformance“ von Betrieben ermit-

telt wird. Zum anderen sind die Indikatoren die Basis für die Nachhaltigkeitszertifizierung landwirtschaftlicher Betriebe.

Die Indikatoren der Säule Ökologie bewerten den Ressourceneinsatz und Verbrauch in landwirtschaftlichen Produktionssystemen sowie die Auswirkungen der Landwirtschaft auf Umwelt und Klima. Damit werden Aspekte wie die Effizienzsteigerung des Ressourceneinsatzes und die Erhaltung der Biodiversität aufgegriffen und in das Nachhaltigkeitsmanagement integriert. Derzeit werden die Indikatoren in der landwirtschaftlichen Praxis unterschiedlich angewendet: Während der Bereich der Nährstoffbilanzierung zur Praxis gehört, sind die Indikatoren Energieintensität und Emission von Treibhausgasen bisher nicht Gegenstand der Produktionssystemanalyse. Insofern kombinieren die Indikatoren der Säule Ökologie etablierte als auch innovative Kennzahlen der Betriebsanalyse, die alle gleichsam zentral für die nachhaltige Landbewirtschaftung sind.

Im Bereich Soziales werden die Qualitätssicherung und die Fortbildung von Betriebsleitern und Mitarbeitern als zentrale Indikatoren für die Messung unternehmerischer Nachhaltigkeit angesehen. Die Qualitätssicherung besitzt hohe Aufmerksamkeit in der gesamten Kette und wird mit Hilfe von Qualitätssicherungssystemen sowie vertraglichen Vereinbarungen zwischen Landwirten und Verarbeitern / dem Handel sichergestellt. Auf dieser Grundlage sind die Kriterien für Qualitätssicherung und Lebensmittelsicherheit die Grundlage, auf deren Basis die im Teilprojekt entwickelten Indikatoren aufbauen.

Im Bereich Ökonomie werden die ermittelten Indikatoren als zentrale Indikatoren für ökonomische Nachhaltigkeit angesehen. Die ökonomischen Indikatoren werden nur für die betriebsinterne Verwendung angesehen und sind oft Teil in den Jahresabschlussanalysen der landwirtschaftlichen Unternehmen.

Für das Nachhaltigkeitszertifikat – und damit für die Außenkommunikation – werden die Indikatoren aus den Bereichen Ökologie und Soziales akzeptiert. Ökonomische Indikatoren werden im Rahmen einer Zertifizierung landwirtschaftlicher Betriebe nicht akzeptiert, da keine Möglichkeit gesehen wird, interne Kennzahlen für die öffentliche Verwendung aufzubereiten.

Mit dem Indikatorensystem steht ein Instrument für das Nachhaltigkeitsmanagement in der Landwirtschaft zur Verfügung. Die Nachhaltigkeitsanalyse unterstützt im Wesentlichen zwei Funktionsbereiche im Management landwirtschaftlicher Betriebe (vgl. Abbildung 192).

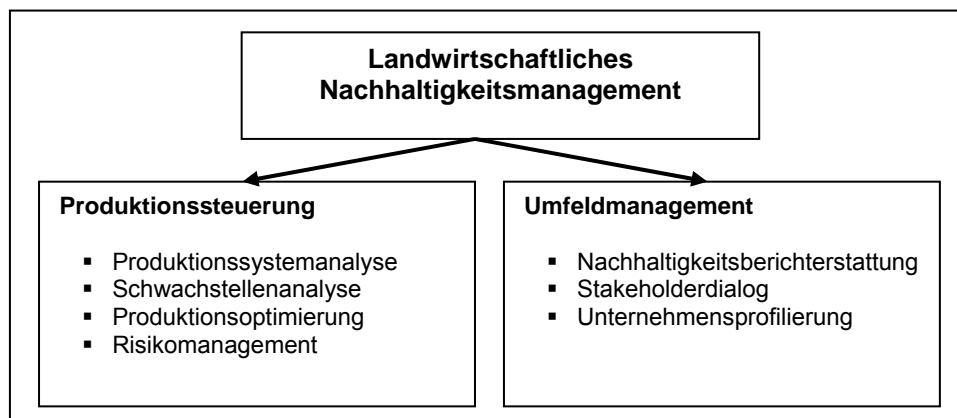


Abbildung 192: Nachhaltigkeit in der Betriebsführung

Figure 192: Sustainability in farm management

Diese beiden Funktionsbereiche sind Produktionssteuerung/Risikomanagement und das „Umfeldmanagement“, d. h. die Kommunikation mit Stakeholdern wie Abnehmern, Verpächtern und Banken. Für die Produktionssteuerung erhält der Landwirt eine detaillierte Auswertung der Indikatoranalyse, die die Schwachstellen der Produktion aufzeigt. Instrumente des Umfeldmanagements sind das Nachhaltigkeitszertifikat und der betriebliche Nachhaltigkeitsbericht.

Dabei ermöglicht die mehrjährige Betrachtung der Anbausysteme die kontinuierliche Verbesserung der Produktion. Neben dem Produktionsmanagement unterstützt die Indikatoranalyse das Management von Produktionsrisiken. Ziel ist es, Ereignisse mit unerwünschten Folgen für Mensch und Umwelt zu verhindern bzw. Risiken im laufenden Produktionsprozess zu identifizieren.

Die quantitative Wirkungsanalyse als Prozessrisikoanalyse unterstützt den Betriebsleiter, die Umweltwirkungen der betrieblichen Anbausysteme einzuschätzen, Prozessrisiken zu identifizieren und die Umweltverträglichkeit der Produktion nachzuweisen.

Eine weitere Aufgabe der Unternehmensführung ist das „Umfeldmanagement“, also die Kommunikation mit Geschäftspartnern, Verpächtern oder auch Behörden. Instrument hierfür sind das Zertifikat „Nachhaltige Landwirtschaft – zukunftsfähig“ und der Indikatorenbericht. Mit dem Zertifikat demonstriert der Landwirt die nachhaltige Wirtschaftsweise gegenüber Geschäftspartnern und der Öffentlichkeit. Für die detaillierte Information unterschiedlicher Stakeholder, wie z. B. Banken oder Abnehmer landwirtschaftlicher Produkte, setzt der Landwirt den Nachhaltigkeits-Indikatorenbericht bzw. zielgruppengerechte Auszüge davon ein. Der Indikatorbericht gibt einen detaillierten Einblick in die Nachhaltigkeitsperformance des Betriebes und dokumentiert die Zukunftsfähigkeit des Betriebes. Dies unterstützt zum Beispiel das Rating des Betriebes im Rahmen von Basel II und sichert langfristige Absatzmöglichkeiten. Dabei hat der Landwirt die Informationshoheit und entscheidet, welcher Akteur welche Indikatorauswertungen erhält.

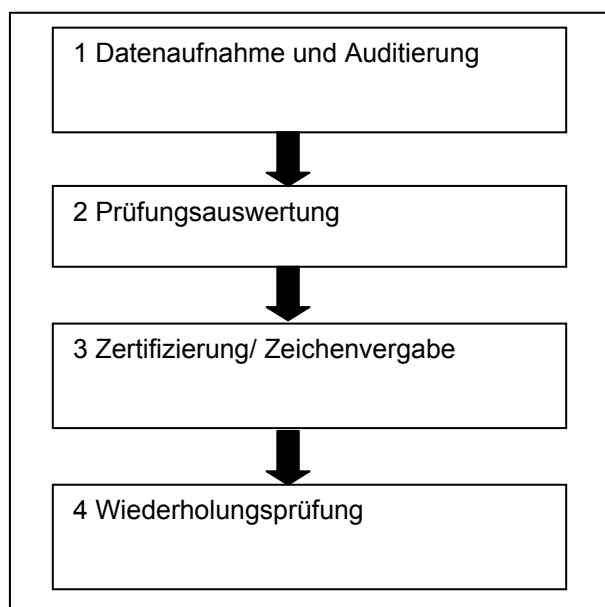


Abbildung 193: Zertifizierung

Figure 193: Steps of certification

Bis zur Verleihung des Zertifikates sind die in Abbildung 193 aufgeführten Schritte zu durchlaufen. Der betriebliche Nachhaltigkeits-Check erfolgt in Form eines „Performance-Audit“ durch unabhängige Auditoren. Die Auditoren überprüfen, ob die betrieblichen Werte die Zielvorgaben einhalten und ermitteln das Nachhaltigkeitsprofil des Betriebes. Im ersten Schritt werden die Indikator-Betriebswerte berechnet und das Nachhaltigkeitsprofil des Betriebes anhand eines Soll-Ist Vergleichs zwischen den Indikatorzielwerten und den Betriebswerten ermittelt. Dabei sind in jeder der einzelnen Säulen Mindestanforderungen zu erfüllen. Für die Nachhaltigkeitsbewertung werden Bewertungsfunktionen genutzt, die die Nachhaltigkeitsleistung in einer einheitlichen Skala darstellen. Wird der Zielwertbereich erreicht, wird die höchste Bewertung vergeben. Liegen die Betriebswerte unter oder über dem Zielwertbereich, werden Abschläge bei der Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung vorgenommen.

Für die Gesamtbewertung werden die Indikatorenwerte innerhalb der einzelnen Säulen zu einem Gesamtwert aggregiert. Ergebnis ist die Nachhaltigkeitsleistung des Betriebes in den drei einzelnen Säulen. Schließlich werden die Werte der Säulen zu einem Betriebs-Gesamtwert aggregiert, der den Nachhaltigkeitsstatus des Betriebes darstellt.

Das Zertifikat wird verliehen, wenn der Betrieb die gesetzlichen Bestimmungen einhält, Qualitätssicherung in der Produktion betreibt und die Zielwertbereiche der Nachhaltigkeitsindikatoren erfüllt. Die Anforderung an die betriebliche Qualitätssicherung ist dann erfüllt, wenn ein anerkanntes Qualitätssicherungssystem angewendet wird. Ist dies nicht der Fall, wird zusätzlich zum Indikatorencheck eine Kriterienliste Qualitätssicherung geprüft.

Literatur

- BMU BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (1997): Agenda 21, Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro, Bonn.
- CHARTER, M., A. KIELKIEWICZ-YOUNG, A. YOUNG & A. HUGHES (2001): Supply Chain Strategy and Evaluation.
- DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT (DLG) (1997): Effiziente Jahresabschlussanalyse. Neue, einheitliche Erfolgskennzahlen für landwirtschaftliche Betriebe aller Rechtsformen. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- EUROPEAN INITIATIVE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN AGRICULTURE (EISA, o.J.): A common Codex for Integrated Farming. Bonn, 9 S.
- ECKERT, H., G. BREITSCHUH & D. SAUERBECK (1999): Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung (KUL) – ein Verfahren zur ökologischen Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben – *Agrobiological Research* Vol. 52 No. 1, S. 57 – 76.
- ERDMANN, L., S. SOHR, S. BEHRENDT & R. KREIBICH (2003): Nachhaltigkeit und Ernährung. Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin.
- FRIES, E. (2006): Benchmarking ausgewählter Qualitätssicherungssysteme der Fleischkette – eine vergleichende Kosten-Nutzen Analyse.
- HEIBENHUBER, A. (2000): Nachhaltige Landbewirtschaftung – Anforderungen und Kriterien aus wirtschaftlicher Sicht. In: VDLUFA Kongressband 2000 Generalthema „Nachhaltige Landwirtschaft“, 112. VDLUFA Kongress.

- KRAMER, E. (2005): Gemeinsame Agrarpolitik, Futter- und Lebensmittelhygiene sowie Produkthaftung: Anforderungen an die Primärproduktion. Ein Überblick über die Gesetzgebung. Institut für Agrartechnik Bornim, Potsdam.
- LEWANDOWSKI, I., M. HÄRDTLEIN & M. KALTSCHMITT (1999): Sustainable Crop Production: Definition and Methodological Approach for Assessing and Implementing Sustainability. Crop Science Vol. 39, S. 184 – 193.
- LINKING ENVIRONMENT AND FARMING (LEAF) (2004): LEAF Marque Standard 2004 – 2005.
- LOEW, T. (2006): CSR in der Supply Chain. Herausforderungen und Ansatzpunkte für Unternehmen.
- MERTEN, T. & U. WESTERMANN (2005): Der Initiale Nachhaltigkeitscheck – Wissen wo ihr Unternehmen heute steht!
- MÜLLER, K. & H. KÄCHELE (2000): Nachhaltige Landbewirtschaftung - Anforderungen und Kriterien aus sozialer Sicht. In: Kongressband 2000 Stuttgart-Hohenheim Generalthema "Nachhaltige Landwirtschaft", Teil I. VDLUFA Schriftenreihe 55/2000.
- MUTSCHELLER, A.M. (1996): Vorgehensmodell zur Entwicklung von Kennzahlen und Indikatoren für das Qualitätsmanagement. Bamberg, 185 S.
- ODENING, M. & W. BOKELMANN (2000): Agrarmanagement. Ulmer, Stuttgart, 372 S.
- SUSTAINABLE AGRICULTURE INITIATIVE (SAI) (2005a): SAI Platform Sustainable Potato & Vegetable Principles and Practices – Working Document.
- SUSTAINABLE AGRICULTURE INITIATIVE (SAI) (2005b): SAI Platform Sustainable Agriculture Principles & Practices for Cereals for testing.
- VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (VDLUFA) (2002): Anforderungen zur Erlangung des VDLUFA-Zertifikates "Betrieb der umweltverträglichen Landbewirtschaftung".
- WAHMHOFF, W. (2003): Nachhaltigkeit managen mit Indikatoren. In: Girnau, M., L. Hövelmann, W. Wahmhoff, W. Wolf & H. Wurl [Hrsg.]: Nachhaltige Agrar- und Ernährungswirtschaft. Herausforderungen und Chancen in der Wertschöpfungskette. Erich Schmidt Verlag, Berlin.

Anschrift der Autoren:**Dr. Achim Schaffner**

Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e. V.

Eschborner Landstraße 122

60489 Frankfurt (Main)

Telefon: (069) 24788321

Telefax: (069) 24788114

E-Mail: a.schaffner@dlg.org

Dr. Lothar Hövelmann

Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e. V.
Eschborner Landstraße 122
60489 Frankfurt (Main)
Telefon: (069) 24788300
Telefax: (069) 24788114
E-Mail: l.hoevelmann@dlg.org

Dipl. Ing. agr. Frank Reinicke

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Institut für Acker- und Pflanzenbau
Ludwig-Wucherer Straße 2
06108 Halle/Saale
Telefon: (0345) 5522637
Telefax: (0345) 5527023
E-Mail: frank.reinicke@landw.uni-halle.de

Prof. Dr. Olaf Christen

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Institut für Acker- und Pflanzenbau
Ludwig-Wucherer Straße 2
06108 Halle/Saale
Telefon: (0345) 5522627
Telefax: (0345) 5527023
E-Mail: olaf.christen@landw.uni-halle.de

Kapitel 8

Akzeptanz und Hemmnisse zu Precision Farming in der Praxis und Verbesserung des Transfers

8.1 Precision Farming in Deutschland – bestehende Akzeptanzmuster und zukünftige Perspektiven einer Technologie

The Adoption of Precision Agriculture among farmers, advisers, instructors and agri-technological industries in Germany

Maike Reichardt & Carsten Jürgens

Zusammenfassung

Die Akzeptanz und Verbreitung von Precision Farming (PF) in Deutschland wurde in verschiedenen Mailumfragen, Telefoninterviews und persönlichen Gesprächen mit Landwirten, Beratern, Lehrern an landwirtschaftlichen Berufs- und Fachschulen sowie Vertretern der landwirtschaftlichen Industrie erörtert. Ziel dieser Umfragen war es, die Verbreitung von PF im Kontext von Raum und Zeit zu beobachten. Die Landwirte, die bereits verschiedene PF-Methoden anwenden, wurden zu ihrer Einstellung gegenüber PF und zu ihren Erfahrungen und Problemen beim Umgang mit der Technik befragt. Landwirte, die bisher noch kein PF nutzen, wurden nach ihrer Meinung zu PF befragt und was sie bisher von einer Einführung abgehalten hat. Darüber hinaus wurden Sie gefragt unter welchen Voraussetzungen sie in PF einsteigen wollen. Obwohl die Zahl der Nutzer im Zeitraum von 2001 bis 2007 langsam angestiegen ist, deuten die Ergebnisse in den Umfragen an, dass nach wie vor Akzeptanzhemmnisse gegenüber PF existieren. Insbesondere während der Einstiegsphase haben viele Nutzer von PF-Techniken mit verschiedenen Problemen zu kämpfen. Nach Überwindung dieser Anfangsschwierigkeiten ist jedoch der Großteil der interviewten Landwirte zufrieden mit der Einführung. Viele Landwirte warten noch mit einem Einstieg in PF, da sie von den hohen Investitionskosten für die Technik abgeschreckt werden. Die Befragung an den landwirtschaftlichen Schulen hat gezeigt, dass PF an einem Großteil der Schulen nach wie vor nicht Gegenstand der Ausbildung ist. Eine ähnliche Situation zeigt sich im Bereich der landwirtschaftlichen Officialberatung, die meisten Berater bieten keine Beratung im Bereich PF an. Die Ergebnisse der Befragung der Industrie geben die Ergebnisse aus den zuvor genannten Befragungen wieder.

Summary

The adoption of Precision Farming (PF) in Germany has been studied through several mail surveys, telephone interviews and personal interviews with farmers, advisors, teachers and representatives of the PF industry. The intention was to monitor how PF techniques have entered the German market over time and geographic location. The farmers have been interviewed about their experiences with PF technologies, their attitudes and obstacles towards it. Those farmers, who are not yet using PF technologies, were asked for the reason and on which condition they would probably start with PF. Although the number of PF-Users slightly increased between 2001 and 2007, the results of all surveys indicate that still there are various obstacles to PF. Those farmers, who already use some PF-technologies, struggled with many problems in the beginning, but after overcoming these problems they were in general content with the introduction of PF technologies. Still the majority of the interviewed farmers hesitate to introduce PF-techniques, mainly because of the high costs for the technology. Most of the interviewed teachers at vocational and technical schools stated that PF is not yet a subject in courses. The interviews with the advisors show that most of them don't offer any advisory

service in the field of PF. Finally, the results of the interviews with representatives of the agricultural engineering industry confirm the statements from the above mentioned surveys.

8.1.1 Einleitung und Problemstellung

Precision Farming, im Folgenden mit PF abgekürzt, ist ein umfassender Systemansatz, bei dem zeitliche und räumliche Variabilitäten der Schläge bei der Bewirtschaftung berücksichtigt werden können. Ziel dieser Wirtschaftsweise ist es Kosten zu minimieren, Ertragsmenge und Ertragsqualität zu steigern, sowie die Belastung von Gewässern und Böden durch die reduzierte Ausbringung von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln zu minimieren. Dieser Systemansatz beruht zum einen auf der Verwendung GPS-gestützter Landtechnik, welche eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung der Schläge erst ermöglicht. Zum anderen erfordert PF ein zusammenhängendes einheitliches Datenmanagement, auf dessen Basis Entscheidungen zur Bewirtschaftungsweise sowie zum Einsatz dieser Technologie getroffen werden. Um derartige Entscheidungen möglichst sicher treffen zu können, ist eine große Datenbasis notwendig, auf die sich der Landwirt in seiner Entscheidungsfindung stützen kann. Daher sind Hauptbestandteile des PF-Konzepts die Datenerfassung, die Datenverarbeitung und darauf aufbauend die teilflächenspezifische Bewirtschaftung (BLACKMORE et al. 2003).

Obwohl das Konzept PF seit mehr als 10 Jahren international angewendet wird, vornehmlich in Nordamerika und Europa, ist die Verbreitung von PF deutlich hinter den ursprünglichen Erwartungen der Industrie zurückgeblieben. Die Ursachen für die geringe Verbreitung sind vielfältig. Einer der Hauptgründe, den verschiedene Studien in den USA, England, Dänemark und Deutschland belegen, ist der hohe Kostenaufwand, welcher mit der Einführung von PF verbunden ist. Landwirte, die in PF einsteigen wollen, müssen gewillt sein, in neue Maschinen zu investieren bzw. die vorhandenen Maschinen zu modifizieren und mit neuer Technik auszurüsten. Darüber hinaus setzt PF eine gewisse Kenntnis beim Umgang mit dem Computer voraus. Dies alles sind Einstiegshürden, welche zunächst vom interessierten Landwirt überwunden werden müssen (ARNHOLT et al. 2001, FOUNTAS et al. 2005, DABERKOW & McBRIDE 2003, PEDERSEN et al. 2001, PEDERSEN et al. 2004, REICHARDT & JÜRGENS 2007, SWINTON & LOWENBERG-DEBOER 2001).

Ein weiterer Grund für die geringe Verbreitung von PF ist die Tatsache, dass es nach wie vor viele Landwirte gibt, die gar nicht wissen dass es PF gibt bzw. was sich hinter dem Begriff PF verbirgt. In einer 1998 landesweit durchgeführten Studie in den USA lag der Anteil dieser Landwirte bei 70 % (DABERKOW & McBRIDE 2000). Eigene Studien zeigten einen ähnlich hohen Prozentsatz für Deutschland, hier lag der Anteil der Landwirte, die nicht wissen was PF bedeutet, in den verschiedenen Umfragejahren (2001– 2005) im Durchschnitt bei ca. 50 % (REICHARDT & JÜRGENS 2007). Diese Ergebnisse legen die Vermutung nahe dass offensichtlich ein Informationsdefizit im Bereich PF vorliegt, entweder aufgrund mangelnder Qualität der gebotenen Information oder aufgrund eines nicht ausreichenden Informationsangebotes.

Bei Landwirten, die PF bereits nutzen, hat sich gezeigt, dass das Management der großen Datenmenge sowie das effektive Nutzen der Daten nach wie vor große Probleme bereitet. Wie verschiedene Studien zu diesem Thema zeigen, liegt das Hauptproblem für viele Landwirte in der richtigen Interpretation der Daten, da es meist verschiedene Interpretationsmöglichkeiten gibt. Daher sollte zukünftig verstärkt in die Entwicklung einfacher praktikabler Managementstrategien investiert werden, um die Landwirte mehr bei der Entscheidungsfindung zu unterstützen (SØRENSEN et al. 2002, BATTE & ARNHOLT 2003).

Weitere Probleme, die mit der Nutzung von PF verbunden sind, ist der hohe Zeitaufwand, der mit der Einführung dieser Technologie verbunden ist, das fehlende technische Verständnis sowie Probleme mit der Kompatibilität zwischen verschiedenen Hardwarekomponenten sowie zwischen Hardware und Software (FOUNTAS et al. 2005, PEDERSEN et al. 2004).

Darüber hinaus ist es bisher noch nicht gelungen eine allgemeingültige Aussage bezüglich der Rentabilität von PF zu treffen (SCHNEIDER & WAGNER 2006).

Vor diesem Hintergrund wurde eine Langzeitstudie konzipiert, welche die Akzeptanz und Verbreitung von PF in den verschiedenen Akteursgruppen in der Landwirtschaft in Deutschland untersuchte. Ziel dieser Studie war es Akzeptanzmuster, Erfolgsfaktoren und Hemmnisse bei der Einführung und Verbreitung dieser Technologie in der landwirtschaftlichen Praxis, Beratung und Ausbildung in Deutschland systematisch zu identifizieren. Die Ergebnisse dieser Langzeitstudie bilden unter anderem eine Voraussetzung für eine klare Analyse der gegenwärtigen und zu erwartenden Situation bei der Einführung von Precision Farming in die landwirtschaftliche Praxis in Deutschland.

Wie die Ergebnisse eigener Studien zeigen (AGRITECHNICA 2001, 2003), trifft man gegenwärtig auf Messen und Fachveranstaltungen nach wie vor noch eine große Zahl von Auszubildenden der Landwirtschaft an, die nicht wissen, was PF ist bzw. bedeutet. Dies legt die Vermutung nahe, dass es zahlreiche Lehrkräfte an landwirtschaftlichen Berufsschulen und Berufsfachschulen gibt, die zu diesem Bereich kein aktuelles Wissen vermitteln. Um mehr über die Situation in der Ausbildung und den individuellen Kenntnisstand der Lehrkräfte zum Thema PF zu erfahren und zusätzlich herauszufinden, ob vorhandenes PF-Wissen im Rahmen der derzeit verbindlichen Lehrpläne vermittelt werden kann, wurden die Lehrkräfte an Berufs- und Berufsfachschulen interviewt.

Als weitere Akteursgruppe im Bereich der Landwirtschaft wurde die Gruppe der landwirtschaftlichen Berater im Hinblick auf ihren Kenntnisstand und das Beratungsrepertoire bezüglich PF analysiert. Da die Gruppe der Berater mit vielen Landwirten in Kontakt steht und für viele Landwirte eine wichtige Informationsquelle darstellt, sind die Berater möglicherweise ein wichtiger Multiplikator für die Verbreitung von PF.

In Ergänzung zu den Interviews mit den Landwirten, Beratern und Lehrern wurden noch Interviews mit der landtechnischen Industrie durchgeführt. Ziel war es, eine Einschätzung der Industrie zur Verbreitung von PF-Technologien in Deutschland zu bekommen. Darüber hinaus sollte in Erfahrung gebracht werden, inwieweit die Industrie über existierende Akzeptanzhemmnisse und auftretende Probleme informiert ist und welche Lösungsstrategien sie verfolgt, um die momentane Situation zu verbessern.

8.1.2 Vorgehensweise

Die Gruppe der Landwirte wurde in Spontaninterviews auf der Agritechnica 2005 und 2007 (die Ergebnisse von 2007 sind bisher jedoch erst zu einem kleinen Teil ausgewertet, so dass hier nur erste Ergebnisse präsentiert werden können) sowie auf den DLG-Feldtagen 2006 zu ihren Erfahrungen und Problemen beim Umgang mit PF sowie zu Vorbehalten gegenüber der PF-Technik befragt. Die Interviews wurden mit Hilfe eines standardisierten digitalen Fragebogens durchgeführt. Der Großteil des Fragebogens basiert aus Gründen der Vergleichbarkeit auf den Fragebögen der Voruntersuchungen von 2001 und 2003. Im Vorfeld der Befragungen im Rahmen von *pre agro II* fand eine vertiefende statistische Auswertung der bereits vorhandenen Befragungsdaten (AGRITECHNICA 2001, 2003) statt. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse flossen in die Überarbeitung des Fragebogens für die Agritechnica 2005 und 2007 sowie die DLG-Feldtage 2006 mit ein. Der Fragebogen wurde darüber hinaus

noch um weitere Fragen von Projektpartnern aus den anderen Teilprojekten ergänzt (TP 1, TP 2, TP 3, TP 5 und TP 20), es wurden insbesondere Fragen zur Wirtschaftlichkeit, zur Nachhaltigkeit und zum Transfer in den Fragebogen aufgenommen. Für die Umfrage wurden die Landwirte in verschiedene Befragungsgruppen unterteilt. Die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Gruppe richtete sich nach dem Informations- und Erfahrungsstand des interviewten Landwirts. Je nach Gruppe bekam der interviewte Landwirt zwischen 9 und 50 Fragen gestellt. Die interviewten Landwirte unterteilen sich in folgende Befragungsgruppen (GUMPERTSBERGER & JÜRGENS 2003) (siehe Anhang, Abbildung 3):

- **Uninformierte Landwirte:** Landwirte, die nicht wissen was PF ist
- **Informierte Landwirte:** Landwirte, die wissen was PF ist
- **Informierte Nichtnutzer:** Landwirte, die wissen was PF ist, bisher aber die Technik nicht nutzen
- **Potentielle PF-Nutzer:** Landwirte, die angaben, PF in den nächsten 3 Jahren einführen zu wollen
- **PF-Nutzer:** Landwirte, die bereits verschiedenen PF-Methoden anwenden
- **Beginnende PF-Nutzer:** Landwirte, die bisher nur die Methode der GPS-Flächenvermessung verwenden. Diese Methode ist zwar sehr stark unter den Landwirten in Deutschland verbreitet. Allerdings muss es nicht zwingend sein, dass jemand der die GPS-Flächenvermessung nutzt, zukünftig noch weitere PF-Methoden nutzt

Die multitemporale Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mit dem Statistikpaket SPSS, die räumliche Auswertung der Daten erfolgte mit dem Geographischen Informationssystem ArcGIS. Dabei flossen Teilergebnisse in die Gestaltung nachfolgender Fragebögen ein, um auf neue Entwicklungen reagieren zu können. Die Umfrageergebnisse, insbesondere die der Projektpartner, wurden an die jeweiligen Teilprojekte kommuniziert (TP 1, TP 2, TP 3, TP 5 und TP 20).

Ergänzend zu den Messebefragungen wurden in 2007 leitfadengestützte Expertengespräche mit ausgewählten Landwirten durchgeführt, die PF-Methoden anwenden. In Ergänzung zu den quantitativen Messebefragungen, boten die Expertengespräche die Möglichkeit die Landwirte ausführlicher zu ihren Erfahrungen und Problemen bei der Einführung und beim Umgang mit den verschiedenen PF-Technologien zu befragen. Der offene Fragebogen im Experteninterview bot die Möglichkeit mehr detaillierte Informationen zu den jeweiligen Erfahrungen und Problemen im Bereich PF zu bekommen. Darüber hinaus sollten in den Expertengesprächen Akzeptanzmuster bei der Anwendung und Einführung von PF auf den Betrieben identifiziert werden. Mit welchen PF-Methoden steigen Landwirte in PF ein und in welcher Reihenfolge werden die verschiedenen PF-Methoden im Regelfall eingeführt? Ziel bei der Auswahl der Gesprächspartner für die Interviews war die Dauer der Anwendung von PF-Methoden: Landwirte mit viel PF-Praxis sollten denen mit wenig PF-Praxis gegenübergestellt werden. Ein weiteres Ziel war die möglichst gleichmäßige räumliche Verteilung der Interviewpartner in Deutschland. Dieses Ziel konnte jedoch aufgrund mangelnder Interviewbereitschaft nicht umgesetzt werden. Die Gesprächspartner wurden zum einen in den Messebefragungen akquiriert, zum anderen wurden Kunden der Firma Agri Con GmbH, die auf der Homepage als Referenzen angegeben sind, kontaktiert. Insgesamt wurden auf der Agritechnica 2005 und den DLG-Feldtagen 44 Adressen von Landwirten akquiriert, die sich ursprünglich für ein ausführliches Interview zur Verfügung stellen wollten, hinzu kamen noch 39 Adressen von Agri Con Kunden. Diese 83 Landwirte wurden im Vorfeld der Interviews kontaktiert, um einen Interviewtermin zu vereinbaren. Letztendlich haben sich nur 29 Landwirte von den ursprünglich 83 Landwirten bereit erklärt, für ein ausführliches Interview zur Verfügung zu stehen. Von den 29 Interviews sind 6 Gespräche nur teilweise verwertbar und fließen

daher nicht mit in die Auswertung ein, so dass insgesamt nur 23 Interviews in der Auswertung berücksichtigt wurden.

Für die Durchführung der Interviews wurde ein Gesprächsleitfaden mit 26 Fragen erstellt. Im Gegensatz zu den Messeumfragen waren bei den Expertengesprächen keine Antwortmöglichkeiten vorgegeben.

Im Kern behandelt der Gesprächsleitfaden folgende Fragen bzw. Themen:

- Fragen zum Betrieb (Größe, Ackerzahlen, Anbauprodukte)
- die ausschlaggebenden Faktoren für die Einführung von PF
- die Ziele, die mit der Einführung von PF ursprünglich verfolgt wurden und inwieweit diese Ziele erreicht werden konnten
- Kriterien für die Einstiegsreihenfolge und Methodenwahl
- Probleme beim Umgang mit der Technik und Software
- Ausblick auf zukünftige Methoden
- Einschätzung der Zukunftsfähigkeit von PF-Technologien in Deutschland
- Verbesserungswünsche im Bereich Technikentwicklung, Software, Beratung, Schulung und Betreuung.

Die Interviews wurden transkribiert und die wichtigsten Aussagen zu den gestellten Fragen zusammengefasst und mit den Ergebnissen aus den Messebefragungen verglichen.

Im Bereich der Ausbildung wurden Lehrer von landwirtschaftlichen Berufs- und Fachschulen zu ihrem jeweiligen Kenntnisstand zu PF und dem Bestandteil von PF in der Lehre befragt. Die Befragung der Lehrer erfolgte mit Hilfe eines standardisierten geschlossenen Fragebogens. Die Befragung wurde teilweise in Form mündlicher Telefoninterviews durchgeführt, teilweise wurde den Schulen der Fragebogen zugeschickt. Die Umfrage fand in der Zeit von Mai 2005 bis Ende Oktober 2005 statt. Die Umfrage war ursprünglich so angelegt, dass pro Bundesland mit Ausnahme von Hamburg, Berlin und Bremen 10 Schulen befragt werden sollten. So sollte eine möglichst gleichmäßige räumliche Verteilung der Schulen in Deutschland erreicht werden. Von diesem ursprünglichen Plan musste jedoch abgewichen werden, da es nicht in jedem Bundesland ausreichend viele Schulen gab, die im Bereich Landwirtschaft ausbilden und viele Schulen nicht bereit waren Auskunft zu geben. Von den ursprünglich 136 angeschriebenen Schulen erklärten sich schließlich 89 Schulen bereit, Auskunft zu geben.

Im Bereich der landwirtschaftlichen Offizialberatung wurden Berater offizieller und privater Beratungsstellen zu ihrem Kenntnisstand bezüglich PF und dem Umfang, welchen dieses Thema in der Beratung einnimmt, befragt. Die Umfrage mit den landwirtschaftlichen Beratern wurde ebenfalls mit einem standardisierten Fragebogen mit überwiegend geschlossenen Fragen durchgeführt. Die Umfrage fand in der Zeit von Mai 2005 bis Ende Oktober 2005 statt. Ursprünglich war die Umfrage so angelegt, dass 10 Berater pro Bundesland mit Ausnahme von Bremen, Hamburg und Berlin befragt werden sollten, um so eine möglichst gleichmäßige räumliche Verteilung der Befragten zu erzielen. Jedoch musste bei den Beratern von diesem ursprünglichen Plan abgewichen werden. Zum Teil aufgrund der mangelnden Teilnahmebereitschaft einiger Berater und zum Teil aufgrund der Unterschiede in den Beratungsstrukturen der einzelnen Bundesländer. So obliegt die Beratungstätigkeit in den alten Bun-

desländern überwiegend den Landwirtschaftsämtern oder Landwirtschaftskammern. In den neuen Bundesländern hingegen wird die Beratungstätigkeit von privaten Unternehmen oder Maschinenringen übernommen. Beide sind überregional organisiert und ihre Beratungsgebiete können sich über mehrere Bundesländer erstrecken. Die Interviews wurden mit einem standardisierten Fragebogen mit weitestgehend geschlossenen Fragen durchgeführt. Es wurden insgesamt 189 Berater angeschrieben, von denen sich insgesamt 89 Berater bereit erklärten an der Umfrage teilzunehmen. Wie bei den Schulen, fand die Befragung in mündlichen Telefoninterviews statt oder es wurden Fragebögen verschickt.

Ergänzend zu den anderen bisher genannten Interviews wurde die landwirtschaftliche Industrie befragt. Die Umfrage bei der landtechnischen Industrie in Deutschland fand in der Zeit von Mai 2005 bis einschließlich September 2005 statt. In die Umfrage waren zum einen Landmaschinenhersteller, aber auch Hersteller von Hardware sowie Firmen im Bereich der Softwareentwicklung einbezogen. Von 30 angeschriebenen Firmen waren 23 Firmen zu einem Interview bereit. Die Interviews wurden mit Hilfe eines standardisierten Fragebogens mit überwiegend geschlossenen Fragen durchgeführt. Die Firmen wurden auf die von der Anwenderseite aufgeführten Probleme angesprochen und nach den Strategien befragt, welche Sie verfolgen um diese Probleme zu beheben. Darüber hinaus wurde die Industrie nach ihrer Einschätzung zur Verbreitung und Zukunft von PF in Deutschland im Vergleich zu anderen technischen Neuerungen gefragt.

8.1.3 Ergebnisse

8.1.3.1 Umfrageergebnisse aus den Interviews mit den Landwirten (Ergebnisse der Messebefragungen Agritechnica 2001, 2003, 2005, 2007 und DLG-Feldtage 2006)

Der Großteil der durchgeführten Messebefragungen ist repräsentativ bezogen auf die deutschen Messebesucher auf der Agritechnica und den DLG-Feldtagen. In vier von fünf Messeumfragen repräsentieren die befragten Landwirte mindestens 1 % der deutschen Messebesucher, was einem Flächenanteil zwischen 2,5 % (2001), 3,9 % (2003), 3,5 % (2005), 0,7 % (2006) und 3,38 % (2007) der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche in Deutschland entspricht. Dennoch sollte darauf hingewiesen werden, dass die hier dargestellten Ergebnisse sich ausschließlich auf die Messebesucher beziehen und nicht ohne weiteres auf die gesamte Deutsche Landwirtschaft übertragen werden können. Einen Überblick über die Zusammensetzung der Stichproben in den verschiedenen Umfragejahren gibt die Tabelle 98.

Die Stichprobe von den DLG-Feldtagen in 2006 unterscheidet sich deutlich von den Ergebnissen bei der Agritechnica. Der Stichprobenumfang bei den Feldtagen ist aufgrund der kürzeren Messedauer kleiner. Darüber hinaus unterscheidet sich die Stichprobe auch in ihrer Zusammensetzung. Da der Fokus der DLG-Feldtage eindeutig im Bereich Pflanzenproduktion liegt, ist hier ein prozentual deutlich höherer Anteil an Pflanzenproduzenten zu finden, die häufig gut über PF informiert sind bzw. diese Technik nutzen. Nimmt man jedoch die vorläufigen Umfrageergebnisse von 2007 hinzu, so zeigt sich, dass sowohl der Anteil der Landwirte, die wissen was PF ist, sowie der Anteil derjenigen Landwirte, die PF nutzen, insbesondere seit 2005 zugenommen hat.

Tabelle 98: Aufteilung der interviewten Landwirte auf die verschiedenen Befragungsgruppen, aufgeteilt nach den Umfragejahren

Table 98: Sample size of the different groups of interviewed farmers, listed for the conducted surveys

Befragungsgruppen/ Sample Size	2001 n = 1489	2003 n = 2319	2005 n = 1913	2006 n = 462	2007 (vorläufige Ergebnisse) n = 2058
	%	%	%	%	%
Alle Landwirte/ All farmers	100	100	100	100	100
Uninformierte Landwirte/ Uninformed Farmers	46.07	50.67	44.33	28.14	38.48
Informierte Landwirte/ Informed Farmers	53.93	49.33	55.67	71.86	61.52
Informierte Nichtnutzer/ Informed Non-PF-Users	43.85	37.73	43.28	56.06	45.43
Potentielle Nutzer/ Potential PF-Users	8.46	5.91	8.73	10.17	7.09
PF-Nutzer PF-Users	6.65	7.37	7.95	11.04	9.33
Beginnende PF-Nutzer Beginning PF-Users	3.43	4.23	4.44	4.76	6.26

8.1.3.1.1 Charakterisierung der befragten Landwirte

Betriebsgröße. Der allgemeine Trend, der sich bereits in verschiedenen internationalen Studien gezeigt hat (PEDERSEN 2003, DABERKOW & McBRIDE 2003), dass Landwirte mit einer großen Betriebsfläche am ehesten gewillt sind in PF zu investieren, konnte ebenfalls für Deutschland bestätigt werden. Die durchschnittliche Betriebsgröße (Median) der befragten PF-Nutzer in den verschiedenen Umfragejahren schwankt zwischen 380 ha und 250 ha (vgl. Tabelle 99), im Vergleich dazu lag die durchschnittliche Betriebsgröße für Gesamtdeutschland 2005 bei 43,1 ha (DESTATIS 2006).

Tabelle 99: Durchschnittliche Betriebsgröße (ha, Median) in den verschiedenen Befragungsgruppen

Table 99: Median farm size (hectares) of different groups of interviewed farmers

	2001	2003	2005	2006	2007
PF-Nutzer/PF-Users	380	250	345	355	320
Beginnende PF-Nutzer/Beginning PF-Users	211	142	160	155	125
Potentielle PF-Nutzer/Potential PF-Users	131	150	170	150	160
Informierte Nichtnutzer/Informed Non PF-Users	90	92	100	110	100
Uninformierte/Uninformed	68	70	80	70	80

Mit Ausnahme von 2006 bewirtschaftet der Großteil der von uns befragten PF-Nutzer Betriebe in Ostdeutschland, mit größeren durchschnittlichen Schlaggrößen (vgl. Anhang, Abbildung 4). Im Vergleich zu der Gruppe der PF-Nutzer bewirtschaften die beginnenden und potentiellen PF-Nutzer deutlich kleinere Betriebe, deren durchschnittliche Flächengröße jedoch ebenfalls deutlich über der durchschnittlichen Betriebsgröße eines landwirtschaftlichen Betriebes in Deutschland liegt. Mit Ausnahme von 2006 befindet sich ein Großteil der von uns befragten potentiellen Nutzer, die vorgaben in den nächsten drei Jahren in PF einsteigen zu wollen, in Westdeutschland. Dieses Ergebnis deutet daraufhin, dass PF zunehmend auch für kleinere Betriebe (ca. 150 ha, vgl. Tabelle 99), mit einer kleineren durchschnittlichen Schlaggröße attraktiver wird. Eine Ursache für dieses Ergebnis ist das zunehmende Vertrauen der Landwirte in die Technik, welche in den letzten Jahren Fortschritte im Hinblick auf die

Praxistauglichkeit gemacht hat. Im Vergleich zu den anderen Gruppen bewirtschaften die Informierten Nichtnutzer sowie die Uninformierten Landwirte erheblich kleinere Betriebe. Aufgrund der sehr kleinen Betriebsfläche wäre ein Einstieg in PF für diese Landwirte nur dann rentabel, wenn Sie sich mit Kollegen zusammentun oder PF Dienstleistungen von Lohnunternehmern in Anspruch nehmen würden.

Altersstruktur und Ausbildung. Bei einer so jungen Technologie wie PF, die ein hohes technisches Verständnis sowie gewisse Computerkenntnisse voraussetzt, würde man vermuten, dass auch überwiegend junge Landwirte diese Technologie verwenden. Die Ergebnisse in den verschiedenen Umfragejahren zeigen jedoch, dass der Großteil der Landwirte, die bereits PF nutzen, sowie derer, die zukünftig in PF einsteigen wollen, in der Altersklasse zwischen 35 und 50 liegt. Dieses Ergebnis ist besonders für die Umfrage 2001 und 2003 überraschend, da hier der Großteil der Gesamtstichprobe in der Altersklasse zwischen 20 und 35 lag (vgl. Kapitel 8.1.5, Anhang, Tabelle 18). Insbesondere die Ergebnisse von 2001 und 2003 deuten daraufhin, dass viele PF-Nutzer ältere Landwirte zwischen 35 und 50 sind. Viele in dieser Altersklasse bewirtschaften meist ihren eigenen Betrieb oder sind auf größeren Betrieben in Positionen in denen sie Entscheidungsträger sind. Zudem verfügen Sie in diesem Alter über eine gewisse Praxiserfahrung und die finanziellen Voraussetzungen, um über eine Investition wie PF nachzudenken. Jüngere Landwirte hingegen, haben diese Voraussetzungen nicht unbedingt. Dies könnten mögliche Erklärungsansätze für die Altersstruktur bei PF-Nutzern sein.

McBRIDE & DABERKOW (2003) konnten in ihrer Studie nachweisen, dass der Ausbildungsstand des Landwirts einen erheblichen Einfluss auf die Aufgeschlossenheit und Akzeptanz gegenüber PF-Techniken hat. Die eigenen Messebefragungen kommen zu ähnlichen Ergebnissen. Der Großteil der PF-Nutzer hat einen Universitätsabschluss (2001: 49,5 %; 2003: 41,2 %; 2005: 40,6 %; 2006: 54,2 %). Im Vergleich dazu ist der Anteil der Potentiellen PF-Nutzer mit einem Universitätsabschluss etwas geringer und variiert zwischen 37,3 % (2001), 26,9 % (2003), 26,5 % (2005) und 40,4 % (2006). Bei der Gruppe der uniformierten Landwirte ist der Anteil der Landwirte mit einem Universitätsabschluss sehr gering (2001: 7,3 %; 2003: 6,7 %; 2005: 7,0 %; 2006: 7,7 %). Dieses Ergebnis zeigt deutlich, welchen Einfluss das Ausbildungsniveau auf die Verbreitung von PF hat.

Technikaufgeschlossenheit. Neben der Ausbildung des Landwirts spielt vor allen Dingen seine Aufgeschlossenheit und sein Interesse an technischem Fortschritt eine wichtige Rolle für die Akzeptanz und Verbreitung von PF-Technologien. Ein Indikator für die Aufgeschlossenheit gegenüber technischen Neuerungen ist, welche technischen Geräte eine Person besitzt. Um mehr über die Technikaufgeschlossenheit der interviewten Landwirte zu erfahren, wurden seit 2003 alle interviewten Landwirte gefragt, welche elektronischen Geräte sie besitzen. Zur Auswahl standen Computer, Internet, Mobiltelefon, Digitalkamera, PDA, USB-Stick oder Memory-Card. In allen Umfragen besaß über 90 % aller befragten Landwirte einen Computer, Internet und ein Mobiltelefon. Diese drei Technologien scheinen mittlerweile zur Standardausrüstung der interviewten Landwirte zu gehören. Für die anderen technischen Geräte existieren unterschiedliche Akzeptanzmuster. Insbesondere für die Verwendung von PDAs, USB-Sticks und Memorycards existieren Unterschiede zwischen den Uninformierten Landwirten und den anderen Gruppen (beginnende PF-Nutzer, potentielle PF-Nutzer und PF-Nutzer).

Im Allgemeinen hat der Anteil an Landwirten, die eines oder mehrere dieser Geräte besitzen in allen Gruppen in der Zeit von 2003 bis 2006 zugenommen. Der Anteil an PF-Nutzern, die einen USB-Stick oder eine Memory-Card besitzen variiert in dem Untersuchungszeitraum zwischen 24 % (2003), 51 %

(2005) und 64 % (2006) und derjenigen, die einen PDA besitzen zwischen 29 % (2003), 40 % (2005) und 53 % (2006). Im Vergleich dazu besitzen nur 7 % (2003), 30 % (2005) und 25 % (2006) der uninformierten Landwirte einen USB-Stick oder Memorycard und 5 % (2003), 16 % (2005) und 17 % (2006) der uninformierten Landwirte einen PDA. Der Anteil der beginnenden Nutzer mit einem PDA variiert in den Untersuchungsjahren zwischen 19 und 31 % und derjenigen mit einem USB Stick oder einer Memorycard zwischen 19 und 36 %. Bei der Gruppe der potentiellen Nutzer besaßen in den verschiedenen Untersuchungsjahren zwischen 19 und 36 % eine PDA und zwischen 17 und 55 % einen USB-Stick bzw. eine Memorycard. Diese Ergebnisse legen die Vermutung nahe, dass Landwirte, die generell technischen Neuerungen sehr aufgeschlossen gegenüberstehen, viel eher bereit sind, Technologien wie PF auf ihren Betrieben einzuführen.

Neben der Aufgeschlossenheit gegenüber der Technik, wurden die Landwirte in 2006 gefragt, wie sie die technischen Geräte (Computer, PDA) einsetzen, überwiegend privat oder überwiegend für berufliche Zwecke.

Der Großteil der interviewten Landwirte mit einem Computer nutzt diesen überwiegend zur Betriebsführung bzw. -management und zu Dokumentationszwecken. Der zweite große Bereich für den Landwirte ihren Computer einsetzen ist die Buchhaltung und der dritte große Bereich ist die Dokumentation von Betriebsabläufen. Obwohl alle interviewten Landwirte ihren Computer für betriebliche Zwecke nutzen, gibt es Unterschiede zwischen den Uninformierten Landwirten und den Landwirten in den anderen Gruppen. So gab der Großteil der uninformierten Landwirte (48 %) an, dass sie ihren Computer überwiegend privat nutzen. Bei den PF-Nutzern hingegen wird der Computer nur von 25 % überwiegend privat genutzt. Insbesondere die PF-Nutzer und die beginnenden PF-Nutzer gebrauchen ihren Computer zum Großteil für geschäftliche Aufgaben.

Im Vergleich zum Computer wurde der PDA in allen Gruppen von den meisten ausschließlich für betriebliche Aufgaben (PF-Nutzer 82 %, beginnende PF-Nutzer 83 %, potentielle PF-Nutzer 76,5 %, uninformierte Landwirte 51 %) genutzt, insbesondere zur Dokumentation im Bereich Pflanzenproduktion eingesetzt.

Informationsquellen. DABERKOW & McBRIDE (2000, 2003) konnten in ihrer Studie einen direkten Zusammenhang zwischen der Akzeptanz bzw. Verbreitung von PF und dem Wissen um PF-Techniken bei den Landwirten feststellen. Das Wissen um eine Sache hängt im Wesentlichen von der Informationsquelle und ihrer Qualität ab. Daher hat die Qualität der Information einen direkten Einfluss auf die Akzeptanz und Verbreitung von PF. Die Landwirte wurden in den Messeinterviews gefragt, wie sie sich über PF informiert haben. Die Ergebnisse in den verschiedenen Umfragejahren variieren stark zwischen den Befragungsgruppen und den unterschiedlichen Zeitpunkten, daher ist es schwierig einen allgemeinen Trend abzuleiten (siehe Tabelle 100).

Dennoch lässt sich aus den Umfrageergebnissen ableiten, dass die landwirtschaftlichen Fachzeitschriften, gefolgt von den landwirtschaftlichen Messen die wichtigste Informationsplattform darstellen. Während die PF-Nutzer viele verschiedene Informationsquellen nutzen, um sich über PF zu informieren, konzentrieren sich die potentiellen Nutzer auf ein paar wenige Informationsquellen. Die PF-Nutzer besuchen öfter Weiterbildungskurse im Bereich PF, nutzen häufiger den Beratungsservice der Officialberatung, informieren sich häufiger auf speziellen Informationsveranstaltungen zu PF und kontaktieren Landhändler um sich zu informieren. Mit Ausnahme der Umfrage 2006 spielten Werbeprospekturen für die PF-Nutzer eine untergeordnete Rolle zur Informationsbeschaffung. Eine zunehmende Zahl an potentiellen Nutzern hingegen nutzt diese Werbeprospekte zu Informationszwecken.

Erstaunlicherweise haben sich sehr wenige PF-Nutzer im Internet über PF informiert, obwohl fast alle befragten Nutzer einen Internetanschluss haben. Anscheinend fehlten bisher gute Informationsangebote zum Thema PF im Internet.

Tabelle 100: Informationsquellen, welche die PF-Nutzer und Potentiellen PF-Nutzer verwenden um sich über PF zu informieren (mehr als eine Antwortmöglichkeit)

Table 100: PF Information sources for the PF-Users and Potential PF-Users (more than one possible answer)

	PF-Nutzer/PF-User				Potentielle PF-Nutzer/Potential Pf-User			
	2001	2003	2005	2006	2001	2003	2005	2006
	---- %----							
Landwirtschaftliche Zeitschriften/ Agricultural Press	66,7	73,6	66,0	62,7	88,1	81,5	83,8	78,7
Fortbildungskurse/ Training Courses	21,2	11,0	25,7	21,6	16,7	17,0	14,4	2,1
Berater/Advisors	25,3	27,6	34,7	11,8	13,5	18,5	12,0	6,4
Messen/Fairs	37,4	36,8	31,9	23,5	39,7	49,6	52,7	48,9
Maschinenhändler/ Machinery dealers	19,2	17,8	9,7	17,6	11,9	13,3	13,2	4,3
Präsentationen/ Oral Presentation	21,2	14,1	19,4	19,6	18,3	23,0	12,0	17,0
Werbeprospekte/ Advertising Brochure	6,1	14,1	7,6	54,9	4,0	12,6	14,4	19,1
Internet/Internet	6,1	20,2	16,0	7,8	10,3	17,8	21,0	21,3
Relatives/Neighbours	9,1	8,0	2,1	21,6	4,0	7,4	5,4	2,1
Andere/Others	7,1	6,7	9,0	5,9	2,4	4,4	4,8	0,0
Weiß nicht/Don't know	0,0	1,2	0,7	2,0	0,8	0,7	1,8	8,5

8.1.3.1.2 Akzeptanzmuster im Bereich PF

Einstiegsfaktoren. Die PF-Nutzer und die beginnenden PF-Nutzer wurden nach den ausschlaggebenden Faktoren gefragt, die zur Einführung von PF auf ihren Betrieben geführt haben. Tabelle 101 gibt einen Überblick über die gegebenen Antworten. Für die meisten PF-Nutzer war der Hauptmotivationsgrund PF einzuführen „mehr Informationen über ihre Schläge zu bekommen“ und resultierend aus den besseren Informationen einen „finanziellen Vorteil“ zu erwirtschaften. Diese Ergebnisse passen zu den Untersuchungsergebnissen von ARNHOLT et al. (2001) in Central Ohio, welche den *ökonomischen Profit* als Hauptmotivationsfaktor für eine Einführung von PF herausstellten. Nach ARNHOLT et al. (2001) resultiert der ökonomische Profit aus der besseren Betriebsführung, welche ein Resultat der besseren Schlagkenntnis ist.

Für die beginnenden PF-Nutzer war der alleinige Motivationsfaktor die „bessere Schlagkenntnis“. Nur einige beginnende PF-Nutzer gaben an „ihre Kosten senken“ zu wollen und „finanzielle Vorteile“ erwirtschaften zu wollen. Da die Gruppe der beginnenden PF-Nutzer noch am Anfang von PF steht und bisher nur die GPS-Flächenvermessung nutzt, konnten bisher keine Kosten eingespart werden. Für viele beginnende PF-Nutzer ist daher das Sammeln von Informationen der Hauptmotivationsfaktor, der zur Einführung dieser Methoden geführt hat.

Tabelle 101: Motivationsfaktoren für die Einführung von PF (mehr als eine Antwortmöglichkeit)

Table 101: Motivation for introducing PF (more than one possible answer)

	PF-Nutzer/PF-User				Beginnende PF-Nutzer/ beginning PF-User			
	2001	2003	2005	2006	2001	2003	2005	2006
Medieninformation/media information	2	2,4	6	2,0	2	3,1	2,4	0
Höherer Ertrag/higher yield	22,2	32,1	23,3	16,0	7,8	8,2	9,4	0
Finanzielle Vorteile/financial benefit	31,3	38,1	31,3	36,0	5,9	6,1	10,6	13,6
Qualitätssicherheit/quality safety	16,2	21,4	26,7	16,0	7,8	5,1	9,4	4,5
Qualitätszunahme/increasing quality	14,1	18,5	18	16,0	2	3,1	2,4	0
Kostenreduktion/lowering of the costs	35,4	45,8	48	40,0	21,6	12,2	16,5	36,4
Umweltschutz/protection of environment	14,1	28,6	14,7	10,0	0	4,1	5,9	4,5
Wunsch moderne Technik zu verwenden/ wish to use modern technology	11,1	8,9	10,7	12,0	2	8,2	9,4	22,7
Arbeits erleichterung/less work	14,1	15,5	12,7	12,0	7,8	8,2	10,6	13,6
Vereinfachte Dokumentation/ simplified documentation	14,1	17,3	22,7	16,0	13,7	25,5	22,4	18,2
Bessere Vermarktungsfähigkeit/ better commercialisation	5,1	1,2	5,3	4,0	0	0	2,4	0
Genauere Schlagkenntnis/ better knowledge of the field	49,5	42,3	40,7	28,0	58,8	59,2	45,9	50

Die Hälfte der interviewten PF-Nutzer in allen Umfragen (Agritechnica und DLG-Feldtage) gab an, finanzielle Vorteile durch den Einsatz von PF erwirtschaften zu können (2001: 56,6 %; 2003: 48,8 %; 2005: 58,9 %; 2006: 51 %). Nur ein kleiner Teil der interviewten PF-Nutzer gab an, eher finanzielle Nachteile durch den Einsatz von PF zu haben. Die meisten PF-Nutzer waren daher zufrieden mit der Einführung von PF und würden diese Technologie ihren Kollegen weiter empfehlen. Nach Meinung der PF-Nutzer sind die Hauptfaktoren für die Einsparung die reduzierte Ausbringung von Düngemitteln (2001: 54,5 %; 2003: 72,5 %; 2005: 75,3 % und 2006: 50 %) und die besseren Informationen über die eigenen Schläge (2001: 54,5 %; 2003: 72,3 %; 2005: 75,3 % und 2006: 50 %).

Akzeptanzmuster. PEDERSON et al. (2001) zeigten in ihren Untersuchungen, dass von den verschiedenen PF-Methoden die GPS-Ertragskartierung, gefolgt von der GPS-Bodenbeprobung am weitesten in Dänemark, England und den USA verbreitet ist. Beide Technologien dienen dem Sammeln von Informationen, erst in einem weiteren Schritt werden Methoden eingeführt, die auf die zuvor gesammelten Informationen reagieren. Ähnliche Akzeptanzmuster konnten für Deutschland festgestellt werden. Die PF-Nutzer wenden überwiegend erfassende Methoden an, erst einige PF-Nutzer wenden auch umsetzende Methoden an, die es ermöglichen, auf die vorhandene Variabilität zu reagieren (siehe Abbildung 194). Während die erfassenden Methoden eine leicht fallende Tendenz verzeichnen, nimmt die Anzahl der Landwirte, die umsetzende Methoden verwenden immer mehr zu. Insbesondere die differenzierte Grunddüngung, die variable Stickstoffdüngung mit und ohne Sensor, wird von immer mehr Landwirten verwendet. Um mehr über die Gründe für die geringe Verbreitung der umsetzenden Methoden zu erfahren, wurden in den Umfragen 2005, 2006 und 2007 (bisher noch nicht ausgewertet) die Landwirte, die ausschließlich erfassende Methoden verwenden, nach den Ursachen dafür gefragt. In 2005 gaben die meisten Landwirte an, dass sie die Technik ausschließlich zu Dokumentationszwecken nutzen. In 2006 gaben die Landwirte als Grund an, dass Sie mehr Zeit und Daten benötigen um aus den Daten Informationen zur Variabilität ableiten zu können. Möglicherweise haben die Landwirte

Probleme ihre Daten richtig zu nutzen und richtig zu interpretieren. So deuten die Ergebnisse von Akzeptanzstudien in Dänemark und den USA an (SØRENSEN et al. 2002, FOUNTAS et al. 2005), dass Landwirte häufig Probleme haben ihre gesammelten Daten effektiv zu nutzen und daraus Bewirtschaftungsstrategien für die Zukunft abzuleiten. Um mehr darüber zu erfahren wie die Landwirte ihre gesammelten Daten nutzen bzw. interpretieren, wurden sie in den Umfragen 2003, 2005 und 2006 gefragt, wer die Datenauswertung macht. In allen drei Umfragen führt der Großteil der Landwirte die Auswertung und Interpretation der gesammelten Daten selber durch (2003: 50 %; 2005: 60 %; 2006: 59 %, 2007: 54,1 %). Vielleicht haben die deutschen Landwirte, ähnlich wie ihre Kollegen in Dänemark und den USA, Schwierigkeiten bei der richtigen Interpretation und Analyse der Daten, so dass viele die Daten nur sammeln und gar nicht weiter nutzen. Möglicherweise stellt aber auch die Auswertung der Daten im GIS ein Problem für die Landwirte da. Die Untersuchung in den USA und Dänemark haben gezeigt, dass die Landwirte insbesondere Probleme bei der Interpretation der Ertragskarten haben. Da die Karten von Jahr zu Jahr so stark variieren, ist es schwierig einen allgemeinen Trend daraus abzuleiten.

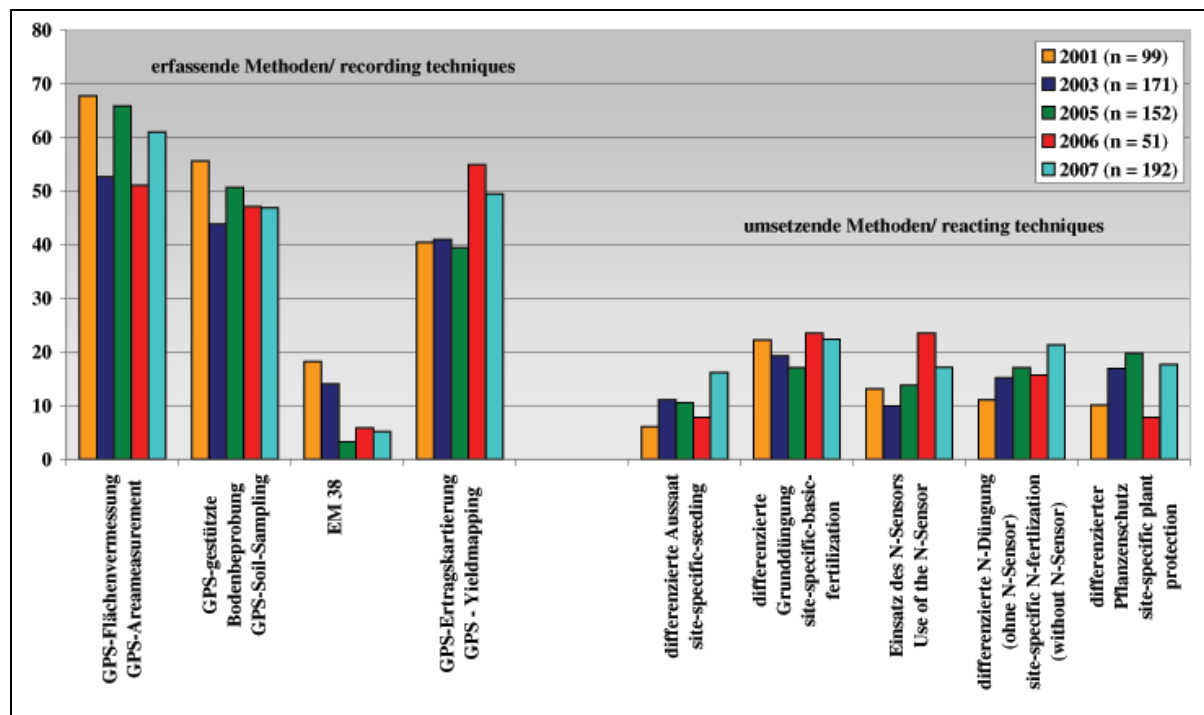


Abbildung 194: PF-Methoden, welche von den PF-Nutzern angewendet werden (Angabe in %)

Figure 194: PF-Methods, used by the PF-Users (percentage of PF-User)

Probleme mit PF-Technik. Ähnlich wie bei der Einführung anderer technischer Innovationen hat der Landwirt auch bei der Einführung von PF mit verschiedenen Problemen zu kämpfen. Die Tabelle 102 gibt einen Überblick über die auftretenden Probleme beim Umgang mit PF.

Die beiden Hauptprobleme, die von vielen Landwirten in den Umfragen erwähnt wurden, waren zum einen „der hohe Zeitaufwand um mit der Technik vertraut zu werden“ und „die fehlende Kompatibilität zwischen Maschinen verschiedener Hersteller“. Ähnliche Ergebnisse zeigen die Studien von PETERSEN et al. (2001) in den USA, Dänemark und England. Hier deklarierten die Landwirte den hohen Zeitaufwand sowie die Probleme mit der Technik als Hauptnachteile von PF.

Tabelle 102: Probleme bei der Anwendung von PF (mehr als eine Antwortmöglichkeit)

Table 102: Problems in the use of PF (more than one possible answer)

Antworten der PF-Nutzer/Answer of the PF-Users	2001	2003	2005	2006
	-----%-----			
Hoher Zeitaufwand/amount of time spent to get used to the technology	26,4	44,2	43,8	26
Schlechte Beschreibung der Landmaschinen/bad description of the machines	8,8	10,4	11,8	4
Schlechte Beschreibung der Software/bad description of the software	5,5	7,1	9,7	10
Unzuverlässigkeit der EDV-Ausrüstung/unreliable computer equipment	16,5	18,2	13,9	8
Unzuverlässigkeit der Landtechnik/unreliable machines	9,9	5,8	6,3	6
Fehlende Kompatibilität/missing compatibility	16,5	22,7	25	28
Schlechter Service/bad service	5,5	5,8	4,2	8
Fehlende EDV-Geräte/missing computer equipment	4,4	11,7	7,6	8
Fehlende Landmaschinen für besondere Aufgaben/ missing machines for special field work	4,4	8,4	7,6	6
Die Geräte ließen sich nicht umrüsten/the machines are unchangeable	8,8	7,8	5,6	6
Fehlende Beratung/missing advisory service	9,9	8,4	4,9	6

Die Messeumfragen haben jedoch auch gezeigt, dass die meisten Landwirte nach Überwindung der Anfangsschwierigkeiten, sehr zufrieden mit der Einführung von PF waren. Dies zeigt sich darin, dass viele Landwirte diese Technologie ihren Kollegen empfehlen würden. Um diese Anfangsschwierigkeiten schneller überwinden zu können bzw. gar nicht erst aufkommen zu lassen, wäre eine bessere Beratung für den Landwirt von Seiten der Industrie oder der Officialberatung hilfreich.

8.1.3.1.3 Charakterisierung der potentiellen Nutzer

Neben der Gruppe von Landwirten, die bereits verschiedene PF-Methoden verwenden, wurde auch die Gruppe derjenigen Landwirte untersucht, die zukünftig in PF einsteigen wollen. Der Anteil dieser Gruppe der potentiellen Nutzer variiert zwischen 8,5 % (2001), 5,9 % (2003), 8,6 % (2005), 10,17 % (2006) und 7,09 % (2007, vorläufige Ergebnisse). Aus den verschiedensten Gründen warten die Landwirte bisher noch mit einem Einstieg in PF. Die Hauptgründe, welche viele Landwirte bisher von einem Einstieg in PF abgehalten haben, sind die *hohen Investitionskosten* in Verbindung mit einer *geringen Rentabilität bei kleinen Betriebsgrößen*. Zudem wollen viele potentielle Nutzer noch abwarten bis die Technik weniger Probleme verursacht (siehe Tabelle 103). Ähnliche Ergebnisse zeigt die Studie von PETERSEN et al. (2001) in Dänemark, England und den USA. Insbesondere für Dänemark und England konnten sie nachweisen, dass der hohe Zeitaufwand um mit der Technik vertraut zu werden und die fehlende Beratung und Praxistauglichkeit viele Landwirte davon abschreckt in PF zu investieren.

Hauptvoraussetzung für eine Einführung von PF ist daher für einen Großteil der potentiellen Nutzer die *Senkung der Anschaffungskosten für die Technik*. Darüber hinaus wünschen sich viele potentielle Nutzer *mehr Informationen über die verschiedenen PF-Techniken* und *über die Rentabilität von PF* (vgl. Tabelle 104). Darüber hinaus hoffen viele auf *finanzielle Unterstützung* insbesondere in der Anfangsphase.

Tabelle 103: Ursache, warum viele potentielle PF-Nutzer mit der Einführung von PF noch abwarten (mehr als eine Antwortmöglichkeit)

Table 103: Reasons for hesitating with the introduction of PF. Group of potential PF-Users. (more than one possible answer)

Potentielle PF-Nutzer/Potential PF-Users	2001	2003	2005	2006
	-----%-----			
Die Technik ist noch zu teuer/Machinery is still too expensive	42,1	44,1	62,9	63,8
Der Gebrauch der Technik ist kompliziert/ the use of the technique is very complicated	6,3	5,1	11,4	8,5
Der finanzielle Nutzen dieser Technik ist bisher noch nicht bewiesen/ the benefit of PF-techniques is not yet proved	11,1	9,6	9	4,4
Ich möchte erst abwarten bis sich die Technik bewährt hat/ waiting until PF proofed to be no longer problematic	28,6	20,6	24	25,5
Ich werde PF nutzen, hatte bisher aber noch keine Zeit/ I will use PF, but I had no time yet	15,4	9,6	13,2	6,4
Meine Flächen sind zu klein/my fields are too small	15,4	18,4	17,4	46,8

Tabelle 104: Hauptvoraussetzung der potentiellen PF-Nutzer für die Einführung von PF (mehr als eine Antwortmöglichkeit)

Table 104: Main prerequisites for the introduction of PF, mentioned by the group of potential PF-Users (more than one possible answer)

Potentielle PF-Nutzer/Potential PF-Users	2001	2003	2005	2006
	-----%-----			
Beratung/advisory service	27,0	14,7	25,8	12,8
Finanzielle Unterstützung/financial support	22,2	23,5	28,1	27,7
Kostensenkung/lowering of the costs for machinery	52,4	58,1	64,1	83,0
Genauere Rentabilitätsaussagen/ precise statement regarding the profitability of PF	30,2	33,8	22,2	17,0
Planungssicherheit bezüglich der Funktionalität/ Kompatibilität der Geräte/ planning safety in the context of functionality and compatibility of the machinery	10,3	20,6	21,6	17,0
Funktionssicherheit der Computertechnik/safety of the information technology	18,3	28,7	17,4	23,4
Funktionssicherheit der Landmaschinen/safety of the machinery	16,7	22,8	13,2	19,1

In 2006 wurden die potentiellen Nutzer gefragt in welcher Reihenfolge sie in PF einsteigen wollen; welche Technik sie zuerst einführen wollen, welche Technik dann in einem zweiten Schritt dazu kommt und welche dann in einem dritten Schritt eingeführt wird. Der Großteil der befragten potentiellen Nutzer will als erstes die GPS-Flächenvermessung einführen, dann in einem zweiten Schritt die GPS-Bodenbeprobung hinzunehmen und in einem dritten Schritt die Ertragskartierung. Für einen gewissen Zeitraum sollen offenbar zunächst Informationen über die eigenen Schläge gesammelt werden, bevor dann in einem weiteren Schritt die Informationen in die Fläche umgesetzt werden.

8.1.3.2 Umfrageergebnisse aus den Interviews mit den Landwirten (Ergebnisse der Expertengespräche)

8.1.3.2.1 Charakterisierung der befragten Landwirte

Die interviewten Landwirte lassen sich in zwei Gruppen unterteilen, zum einen die Landwirte, die schon in den 90er Jahren PF auf ihren Betrieben eingeführt haben und über eine sehr lange Praxiserfahrung verfügen und die Landwirte die ab 2000 mit PF angefangen haben und erst über einen relativ kurzen Zeitraum diese Technologie verwenden. Aufgrund der geringen Anzahl der interviewten

Landwirte konnte die ursprüngliche Zielsetzung einer gleichmäßigen räumlichen Verteilung der Befragten in Deutschland nicht erreicht werden. Die interviewten Landwirte verteilen sich über folgende Bundesländer: Nordrhein-Westfalen (1), Niedersachsen (7), Sachsen-Anhalt (7), Sachsen (2), Thüringen (2), Mecklenburg-Vorpommern (3) und Brandenburg (1). Die Größe ihrer Betriebe liegt zwischen 100 und 3800 ha. Die Hälfte der befragten Landwirte (14) bewirtschaftet sehr große Betriebe mit einer Betriebsfläche über 1000 ha, 4 der befragten Landwirte bewirtschaften mittlere Betriebsgrößen zwischen 300 und 1000 ha und die restlichen Landwirte bewirtschaften eher kleinere Flächen von bis zu 300 ha (Abbildung 195). Alle Betriebe liegen jedoch noch über dem bundesdeutschen Durchschnitt von 43,1 ha.

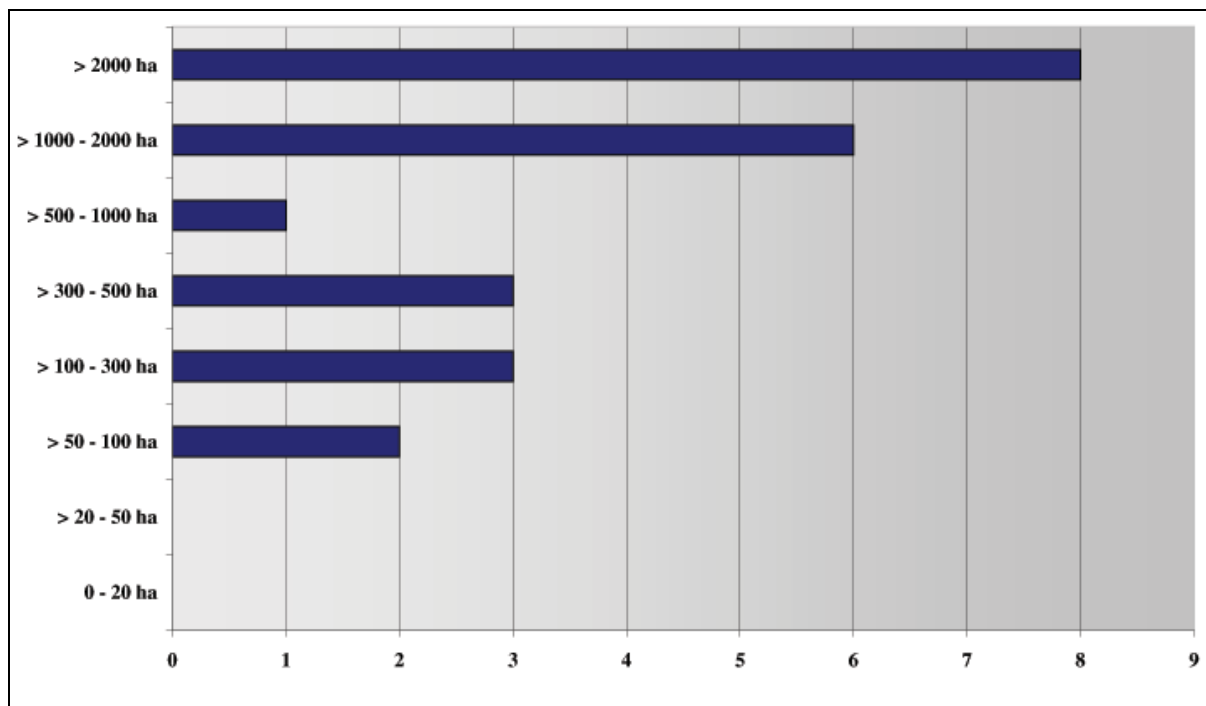


Abbildung 195: Aufteilung der interviewten Landwirte nach Betriebsgrößenklassen (Angabe in absoluten Zahlen)

Figure 195: Farm size of the interviewed experts, subdivided in classes (number of farmers per class)

8.1.3.2.2 Akzeptanzmuster bei der Anwendung von PF

Die Ergebnisse aus den Expertengesprächen zeigen ähnliche Tendenzen wie die Umfrageergebnisse von den Messeumfragen. Die Methoden der Datenerfassung wie die GPS-Flächenvermessung, die GPS-Bodenbeprobung und die GPS-Ertragskartierung sind unter den interviewten Landwirten am weitesten verbreitet (siehe Abbildung 196). Der Großteil der interviewten Landwirte fängt auch mit diesen PF-Methoden an. Viele wählen die „klassische Einstiegsreihenfolge“ und sammeln zunächst erst einmal Informationen über ihre Flächen, bevor die Informationen in der Fläche umgesetzt werden. Bei den erfassenden Methoden spielt der Bodenscanner EM38, ähnlich wie schon bei den Messebefragungen, eine untergeordnete Rolle. Keiner der befragten Landwirte führt bisher die differenzierte Aussaat durch. Bei den Messeumfragen (2001, 2003, 2005 und 2006) lag der Anteil der Landwirte, die diese Methode verwenden, immerhin zwischen 6 % und 16 %. Unabhängig von den verschiedenen PF-Methoden nutzen viele der befragten Landwirte (12) Parallelfahrssysteme oder Automatische Lenk-

systeme. Alle befragten Landwirte, die ein solches System bereits nutzen, sind sehr zufrieden mit der Einführung und hatten das Gefühl dadurch erhebliche Betriebskosten einzusparen.

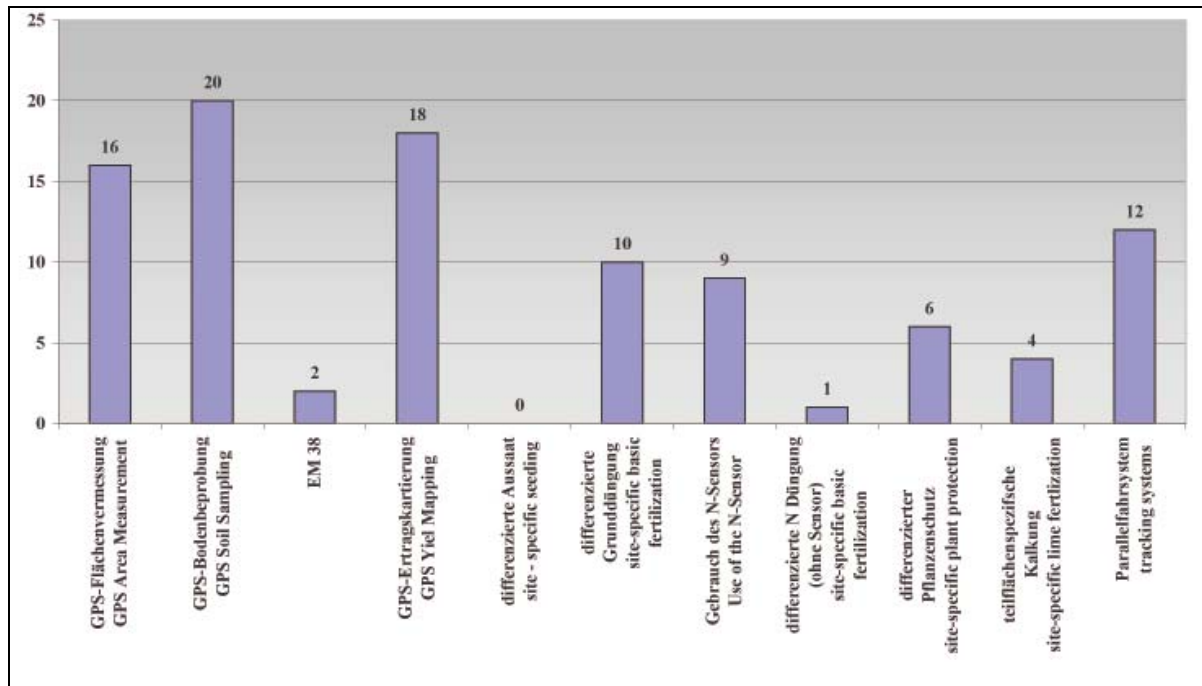


Abbildung 196: Anwendung der verschiedenen PF-Technik bei den interviewten Landwirten (Angabe in absoluten Zahlen)

Figure 196: Use of the different PF-techniques by the interviewed farmers (number of farmers)

8.1.3.2.3 Festlegung der Einstiegsreihenfolge

Die Reihenfolge, in der die Landwirte die Methoden in ihren Betrieben eingeführt haben, variiert stark von Landwirt zu Landwirt. Dennoch lassen sich auch Gemeinsamkeiten beim Einstieg in PF feststellen. Der Großteil (18) sammelt zunächst erst einmal Informationen über die Flächen, bevor eine Umsetzung der Informationen in teilflächenspezifische Bewirtschaftung mündet. Ungefähr die Hälfte der Befragten (11) hat die Einstiegsreihenfolge bewusst gewählt, hierbei wurden die meisten Landwirte (9) entweder von Firmen intensiv beraten oder die Einstiegsreihenfolge war durch die Mitarbeit an Forschungsprojekten vorgegeben. Die übrigen Landwirte haben sich in Fachzeitschriften, auf Messen, Seminaren oder bei Kollegen und Freunden informiert und danach die Einstiegsreihenfolge bestimmt. Bei der anderen Hälfte der Befragten (12) hat sich die Einstiegsreihenfolge zufällig ergeben, zumindest war bei vielen der erste Schritt unbewusst. Die anderen Schritte haben sich dann aufbauend auf dem ersten Schritt ergeben.

Im Einzelnen variieren die Akzeptanzmuster bei der Einstiegsreihenfolge in PF jedoch sehr stark von Landwirt zu Landwirt. Einige Landwirte führen eine Methode nach der anderen ein, andere wiederum führen bis zu 4 Methoden gleichzeitig ein. Zwischen den einzelnen Schritten, in denen Methoden eingeführt werden, liegt teilweise ein Zeitabstand von 1 Jahr bis hin zu 6 Jahren. Insbesondere bei Landwirten, die schon in den 90er Jahren mit PF angefangen haben, sind die Abstände zwischen der Einführung der verschiedenen Methoden groß. Neben den unterschiedlichen Einstiegszeitpunkten unterscheiden sich die Landwirte in der Intensität der Nutzung von PF-Technologien. Einige der befragten Landwirte stehen noch am Anfang und sind dabei Daten über ihre Flächen zu sammeln. Andere hin-

gegen setzen die gewonnenen Erkenntnisse bereits um. Trotz der Unterschiede in der gewählten Einstiegsreihenfolge lassen sich gewisse Akzeptanzmuster erkennen, die von einem Großteil der befragten Landwirte verwendet werden. Der Großteil der befragten Landwirte (14) steigt mit der GPS-Flächenvermessung in PF ein. Nach der GPS-Flächenvermessung sind die GPS-Bodenbeprobung (8) und die GPS-Ertragskartierung (8) die zweithäufigsten Einstiegsmethoden. Der Großteil (14) fängt erst mal mit einer Methode an und nimmt dann im zweiten Schritt weitere Methoden hinzu, nur vier der befragten Landwirte sind direkt mit drei und mehr Methoden in PF eingestiegen. Zukünftig wollen viele der befragten Landwirte (12) umsetzende Methoden in ihren Betrieben einsetzen bzw. weitere umsetzende Methoden hinzunehmen. Von den umsetzenden Methoden wollen die Landwirte die differenzierte Aussaat und die teilflächenspezifische Ausbringung von Wachstumsregler, Herbiziden und Fungiziden zukünftig einsetzen.

Von den erfassenden Methoden wollen einige Landwirte zukünftig noch die Ertragskartierung bei Raps, Mais oder Rüben einführen. Sechs der befragten Landwirte wollen keine weiteren Methoden einführen. Die restlichen fünf Landwirte wollen abwarten bis die vorhandene Technik mehr Praxisreife hat. Der Großteil von ihnen hatte in der Einstiegsphase mit enormen technischen Problemen zu kämpfen und möchte daher erstmal abwarten.

8.1.3.2.4 Ausschlaggebende Faktoren und Zielsetzung bei der Einführung von PF

Die ausschlaggebenden Faktoren, die zu einer Einführung von PF-Technologien geführt haben, sind sehr unterschiedlich. Bei vielen der befragten Landwirte (8) bestand ein enger Kontakt zu Forschungseinrichtungen oder zu Firmen, die PF-Technologien verkaufen. Aufgrund des engen Kontakts profitieren die befragten Landwirte von einer sehr guten Beratung und Betreuung durch die Firmen und Forschungseinrichtungen. Partner in Forschungsprojekten wurden teilweise finanziell gefördert oder bekamen Technologien und Daten zur Verfügung gestellt. Bis auf eine Ausnahme waren daher alle Landwirte aus dieser Gruppe sehr zufrieden mit der Einführung von PF und hatten das Gefühl wirtschaftlicher zu produzieren. Bei anderen Landwirten (5) hat sich die Einführung von PF zufällig ergeben (beispielsweise durch einen neuen Mähdeschers mit Ertragsmessgerät). Die positiven Erfahrungen mit dieser Technik haben dazu geführt weitere PF-Techniken einzuführen. Ein weiterer wichtiger Grund für die Einführung von PF ist für viele Landwirte (9), dass sie genauere Informationen über ihre Schläge bekommen und mit Hilfe der Technik auf die Unterschiede in ihren Schlägen reagieren können. Einige (4) waren sich schon immer der Ertrags- und Bodenunterschiede in ihren Schlägen bewusst und haben nun durch PF die Möglichkeit diese auszugleichen. Die agrarpolitischen Rahmenrichtlinien fordern von den Landwirten eine verstärkte Dokumentation, das war für einige (4) ein Grund PF-Methoden einzuführen. Darüber hinaus zwingen die EU-Flächenanträge die Landwirte zu genauen Flächenangaben, viele haben sich zu diesem Zweck ein GPS-Gerät angeschafft und sind über diese Methode mit PF in Berührung gekommen. Andere (4) gaben als ausschlaggebenden Faktor an, dass sie sich bei Freunden und Kollegen oder auf Messen über diese Technologie informiert haben und dann beschlossen haben in PF einzusteigen.

Die Zielsetzungen, welche die Landwirte mit der Einführung von PF in ihren Betrieben ursprünglich verfolgt haben sind sehr unterschiedlich; einen Überblick über die genannten Zielsetzungen gibt die Abbildung 197. Das Hauptziel, das die meisten mit der Einführung von PF verfolgen ist eine Kostenersparnis, welche durch einen effektiveren Einsatz von Betriebsmitteln erreicht werden soll. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch die Messeumfragen, hier hat ebenfalls der Großteil der Befragten als Hauptgrund für eine Einführung von PF die Kostenersparnis angegeben. Ein weiteres wichtiges Ziel ist für viele eine verbesserte und vor allen Dingen genaue und lückenlose Dokumentation zu erreichen.

Insbesondere bei Landwirten, die bereits an Zertifizierungsprogrammen teilnehmen oder deren Produkte zu Babynahrung weiter verarbeitet werden, sind die Dokumentationsauflagen sehr hoch; daher erhoffen sich viele eine Arbeitserleichterung bei der Dokumentation und eine lückenlose Dokumentation. Eine weitere wichtige Zielsetzung die von vielen Landwirten genannt wurde ist die Flächenhomogenisierung. Viele haben das Ziel ihre Flächen effizienter zu düngen und ihre Erträge zu steigern. Darüber hinaus wollen die Landwirte eine verbesserte Umweltwirkung erreichen, indem sie die Düngung den Nährstoffentzügen anpassen.

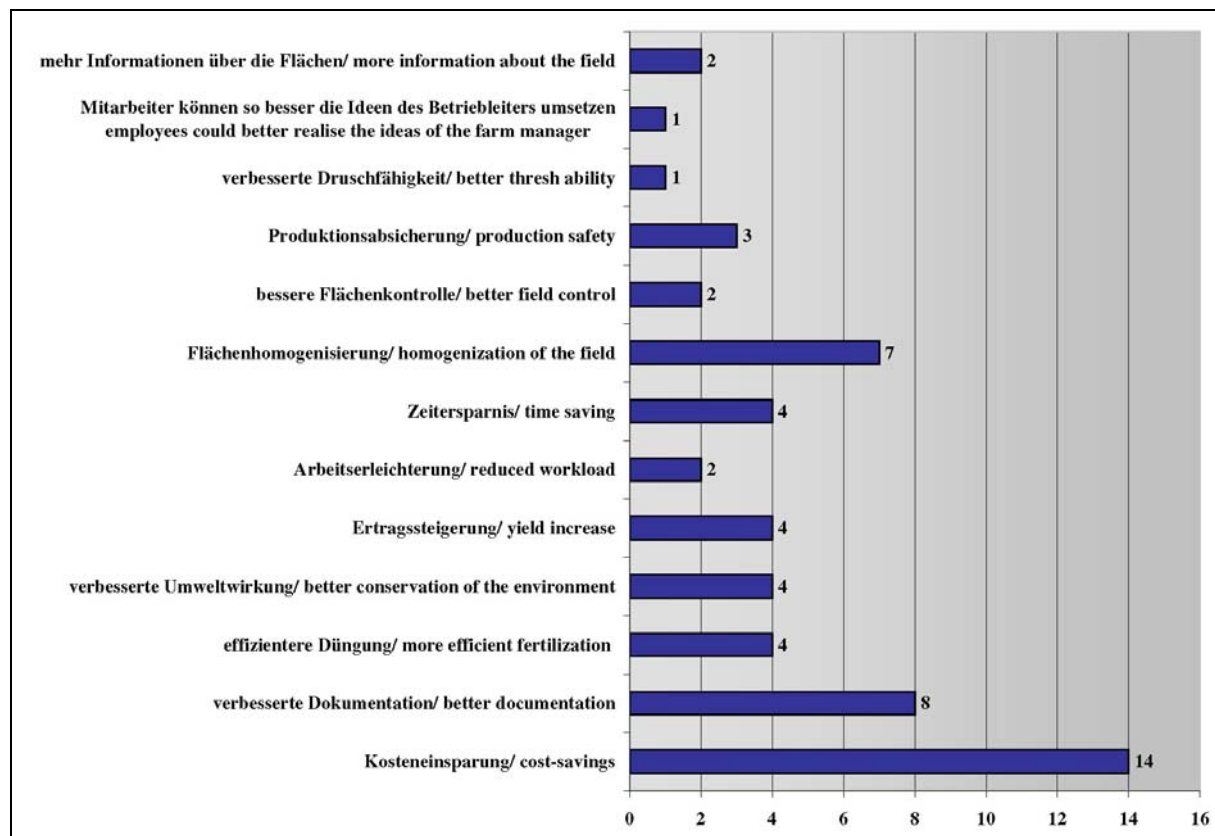


Abbildung 197: Zielsetzung bei der Einführung von PF-Technologien (Angabe in absoluten Zahlen/ Mehrfachnennungen)

Figure 197: Reasons for the introduction of PF-technology (number of farmers)

8.1.3.2.5 Probleme bei der Einführung von PF auf dem Betrieb und beim Umgang mit der Technik

In erster Linie hat der Großteil (12) der Landwirte nach wie vor mit Kompatibilitätsproblemen zwischen den einzelnen Technikkomponenten, sowie zwischen Hardware und Software zu kämpfen. Viele Landwirte umgehen dieses Problem indem sie ausschließlich passende Technik kaufen oder Schnittstellen implementieren lassen. Andere Landwirte haben versucht über die Verwendung von ISOBUS Systemen zu mehr Kompatibilität zu kommen, häufig jedoch mit geringem Erfolg. Daher warten viele Landwirte, die sich bei der Zusammenstellung ihrer Landtechnik nicht von Kompatibilitätsfragen abhängig machen wollen, mit der Einführung weiterer PF-Methoden. Nach Aussage eines Landwirts, der PF seit Anfang der 90er Jahre nutzt hat sich die Technik im Hinblick auf die Kompatibilität zwischen den Geräten kaum verbessert. Seiner Auffassung nach ist für die Zukunft nicht davon auszugehen, dass sich die Kompatibilität verbessern wird. Neben den Kompatibilitätsproblemen bei der Landtech-

nik bereitet der Datentransfer aufgrund der unterschiedlichen existierenden Datenformate vielen Landwirten ein Problem, was dazu führt, dass einige der befragten Landwirte die gesammelten Daten gar nicht weiter auswerten. Andere lassen die Datenauswertung von Softwarefirmen erledigen. Wiederum andere berichten, dass sie sich nur allein für die Datentransformation extra Softwareprogramme angeschafft haben. Dieser zusätzliche Arbeitsschritt der Datentransformation ist für die Landwirte sehr aufwendig und umständlich. Daher erhoffen sich viele für die Zukunft einheitliche Datenformate bzw. eine einfachere Handhabung bei der Datentransformation. Andere versuchen dieses Problem durch den Kauf der passenden Software zu umgehen. Teilweise werden bis zu vier verschiedene GIS Programme auf den Betrieben verwendet, um alle Daten nutzen bzw. miteinander verschneiden zu können.

Im Hinblick auf die Bedienbarkeit der Software sind die Aussagen der Landwirte sehr unterschiedlich, einige Landwirte hatten gar keine Probleme mit der Software, andere hatten anfangs Probleme mit der Software, können aber inzwischen aufgrund des guten Kundenservices und der angebotenen Schulungen gut mit der Software umgehen. Andere Landwirte empfinden die verschiedenen Softwareprodukte zu kompliziert und haben einen erheblichen Zeitaufwand um ihre Daten auszuwerten. Diese Gruppe wünscht sich vor allen Dingen eine bessere Übersicht über die Daten und eine einfachere Menüführung. Ein besonderes Problem bereitet die Auswertung der Ertragskarten, zum einen unterscheiden sich die Karten sehr stark von Jahr zu Jahr, so dass es schwer ist dort ein konsistentes Muster zu identifizieren. Zum anderen treten schon bei der eigentlichen Messung Probleme auf, wie Signalstörungen beim GPS-Empfänger, Verstopfung des Elevators, falsche Kalibrierung des Ertragsmessgerätes, z. B. falscher Feuchtegehalt etc. Daher sind auch die Karten ungenau. Gelingt es den Landwirten schließlich doch seine Schläge in Muster nach Hoch-, Mittel- und Niedrigertragszone einzuteilen und diese mit seiner Bodenkarte zu verschneiden, stellt sich trotzdem für viele dann die Frage, nach welchen pflanzenbaulichen Kriterien sie nun weiter vorgehen sollen. Da in diesem Bereich bisher keine einheitlichen Vorgaben von Seiten der Wissenschaft und Industrie existieren, haben viele Landwirte Schwierigkeiten ein geeignetes Umsetzungskonzept zu finden. Hierfür wünschen sich viele Landwirte mehr entscheidungsunterstützende Vorgaben von Industrie, Wissenschaft sowie Beratung.

Ein weiterer Störfaktor beim Umgang mit der Software war für viele Landwirte die erforderliche jährliche Freischaltung und die ständigen Updates.

Ein weiteres Problem, was viele Landwirte beklagen, sind die Signalstörungen beim GPS-Empfang, die bei manchen Landwirten nur vereinzelt, z. B. im Waldschatten, auftreten oder nur an bestimmten Tagen, bei anderen aber teilweise den kompletten Schlag betreffen. Hier hoffen die Landwirte, dass sich das Problem durch das europäische Satellitensystem (Galileo) lösen wird. Daher sind einige Landwirte auch der Meinung, dass die GPS-Flächenvermessung zu ungenaue Ergebnisse für die EU-Agraranträge liefert. Ein Landwirt berichtete, dass er teilweise Flächendifferenzen von bis zu 10 % hatte.

Bei der Anwendung der Hardware berichteten die Landwirte von unterschiedlichen Problemen. Anfangs kam es bei einigen öfters zu einem Komplettabsturz des Systems. Teilweise hat es dann sehr lange gedauert bis die Technik wieder lief. Generelles Problem beim Einsatz von PF-Technik ist, dass Sie oft nur von Spezialisten repariert werden kann. Da bisher erst wenige Spezialisten in diesem Bereich ausgebildet sind, muss man teilweise lange Wartezeiten für eine Reparatur in Kauf nehmen. Landwirte, die ihre Technik aus den USA bezogen haben, hatten das Problem, dass die amerikanischen Stecker nicht in den Anschluss am deutschen Schlepper passten und es keine entsprechenden Adapter gab. Diese Probleme traten jedoch insbesondere während der Anfangsphase auf und konnten inzwischen behoben werden. Landwirte, die PF-Technik auf ihren Schleppern oder Mähdreschern

nachgerüstet haben, machten überwiegend die Erfahrung, dass die Technik nicht richtig oder gar nicht funktionierte. Die meisten haben dann bei dem Kauf neuer Landtechnik darauf geachtet, dass die gewünschte Technik schon vom Werk aus serienmäßig installiert ist.

Ein weiteres Problem, welches von vielen Landwirten erwähnt wurde, ist die richtige Kalibrierung der Geräte (Ertragsmessgerät oder N-Sensor). Da die Kalibrierung der Geräte ausschlaggebend für das Ergebnis ist, sind viele Landwirte sehr unsicher und insbesondere beim Einsatz des N-Sensors sehr vorsichtig. Speziell beim N-Sensor, der in Gebieten mit höheren Niederschlägen entwickelt wurde, tritt das Problem auf, dass er Trockenstress als Stickstoffmangel interpretiert und dort extra düngt.

Ein weiteres, nicht zu unterschätzendes Problem, mit dem sich viele Landwirte, die PF-Technologien in ihren Betrieben einführen wollen, auseinandersetzen müssen, ist der Ausbildungsstand des eigenen Personals. Der Einsatz dieser Technologie setzt natürlich ein gewisses Technik- und Computerverständnis voraus. Viele Mitarbeiter, die heute in den Betrieben arbeiten, sind häufig schon älter und haben keine entsprechende Ausbildung. Zudem haben viele von Ihnen Schwierigkeiten beim Umgang mit der Computertechnik und sind nicht mehr bereit, sich in diese Thematik einzuarbeiten. Bei einem Großteil der jungen Landwirte, die noch in der Ausbildung stecken, ist das Problem, dass die schulische Ausbildung oft zu schlecht ist, so dass sie für diese Art von Arbeit nicht eingesetzt werden können.

Ein weiteres Problem, was alle befragten Landwirte mehr oder weniger stark betrifft, ist der enorme Zeitaufwand der mit PF verbunden ist. Keiner der Befragten konnte mit Hilfe von PF Zeit einsparen, alle haben gesagt, dass PF einen zusätzlichen Zeitaufwand erfordert. Insbesondere die kleineren Betriebe haben damit zu kämpfen, da ihnen die Zeit fehlt sich intensiv mit dieser Technologie auseinander zu setzen. In den größeren Betrieben war für diese Arbeit ein Mitarbeiter zuständig, der sich den Grossteil seiner Arbeitszeit mit der Datenerfassung und -auswertung für PF befasst. Lediglich durch den Einsatz von Parallelfahrssystemen und automatischen Lenksystemen hatten einige Landwirte den Eindruck Zeit zu sparen.

Schlechte Beratung und schlechter Service sind neben der mangelnden Kompatibilität nach wie vor die Hauptprobleme bei der Verbreitung von PF. Die Expertengespräche haben deutlich gezeigt, dass eine gute Betreuung und Beratung der Landwirte die Voraussetzung für die weitere Nutzung von PF ist.

Teilweise wünschen sich die Landwirte eine von den Firmen unabhängige Beratungsstelle. Viele Landwirte sind jedoch skeptisch, ob das von einer Stelle wie der Officialberatung geleistet werden kann. Aufgrund der hohen Komplexität der Technik und der schnellen Entwicklung in diesem Bereich ist es schwierig für die Beratung immer auf dem aktuellen Stand der Technik zu sein. Außerdem haben viele Landwirte den Eindruck gewonnen, dass der Großteil der Berater PF kritisch gegenübersteht und eine Verbreitung dieser Technik bisher blockiert hat.

8.1.3.2.6 Zufriedenheit mit der Einführung von PF

Ungefähr die Hälfte der befragten Landwirte (11) ist sehr zufrieden mit der Einführung von PF in ihren Betrieben. Teilweise hat es lange gedauert bis die Technik fehlerlos lief, aber nach Überwindung dieser Anfangsschwierigkeiten konnten die Landwirte wirtschaftliche Vorteile aus der Nutzung von PF ziehen.

Ein Teil der befragten Landwirte (5) konnte keine Betriebsmittel durch den Einsatz von PF-Technologien einsparen. Der Einsatz von PF wurde als sehr aufwendig und die Anwendung der Tech-

nik als kompliziert empfunden. Bei dieser Gruppe funktionierte die Technik häufig nicht richtig oder gar nicht. Darüber hinaus fand keine Beratung statt, so dass die Ziele, die man ursprünglich mit der Einführung von PF verfolgte, nicht erreicht werden konnten. Andere berichteten, dass die Technik zwar funktionierte, aber keinen wirtschaftlichen Vorteil gegenüber einer einheitlichen Bewirtschaftung brachte.

Die zufriedenen Landwirte führen ihre Zufriedenheit primär auf die Einsparung von Betriebsmitteln (13) zurück. Im Wesentlichen konnten Betriebsmittel durch den Einsatz von Parallelfahrssystemen, die teilflächenspezifische Ausbringung von Wachstumsreglern und Pflanzenschutzmitteln eingespart werden. Bei der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung hingegen konnten die meisten Landwirte keine Betriebsmittel einsparen, es fand vielmehr eine Umverteilung statt.

Für einige der Landwirte (6) brachte die Einführung von PF eine Arbeitserleichterung gegenüber vorher, insbesondere Parallelfahrssysteme sowie automatische Lenksysteme erleichtern vielen Landwirten die Arbeit. Ein weiterer Vorteil von PF ist für manche Landwirte (6) die verbesserte und lückenlose Dokumentation, die aufgrund dieser Technik ermöglicht wird.

Teilweise konnte eine Qualitätssteigerung aufgrund eines gleichmäßigeren Feuchtegehaltes sowie eines gleichmäßigeren Eiweißgehaltes erreicht werden. Der Pflanzenbestand war bei manchen Landwirten insgesamt homogener und es war weniger Lage im Bestand, wodurch sich die Druschfähigkeit verbesserte. Die Bestände wurden zwar durch den Einsatz des N-Sensors insgesamt homogener, aber die Landwirte stellten auch fest, dass es zu einer unterschiedlichen Abreife kam. Neben einer Qualitätssteigerung konnten die Landwirte durch den Einsatz dieser Technologie ihre Erträge stabilisieren und damit die Ertragssicherheit steigern.

Weitere Vorteile von PF, die von einzelnen Landwirten genannt wurden, sind die detaillierten Flächeninformationen.

Landwirte die in der Nähe von Städten wirtschaften, müssen sich oft den kritischen Fragen der Öffentlichkeit stellen. Durch den Einsatz von PF und speziell durch die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung, können Sie ihre Arbeit mit einem guten Gefühl gegenüber der Öffentlichkeit präsentieren. Sie können der Öffentlichkeit zeigen, dass Sie standortangepasst wirtschaften. Entsprechend positiv sind nach Aussage einiger Landwirte die Reaktionen aus der Öffentlichkeit.

Einschätzung der Zukunft von PF in Deutschland

Die Mehrheit der befragten Landwirte (15) glaubt, dass PF in jedem Fall eine Zukunft in Deutschland hat. Nach Meinung der meisten Landwirte wird sich diese Technologie vor allen Dingen in Ostdeutschland verstärkt aufgrund der größeren Flächenstrukturen durchsetzen. Aber auch im Westen wird der Anteil der Landwirte, die PF nutzen, mit der Zeit zunehmen, da sich auch hier die Flächenstrukturen hin zu größeren Betrieben verändern werden und es zukünftig immer mehr Betriebsgemeinschaften geben wird. Einige Landwirte (5) sind der Meinung, dass zukünftig immer mehr Lohnunternehmer oder Maschinenringe teilflächenspezifische Dienstleistungen anbieten, so dass auch kleinere Betriebe von der Technik profitieren können. Die Technik wird in Zukunft mehr und mehr zum Standard werden, wodurch sie nach Meinung der Landwirte automatisch billiger wird. Durch den ständig wachsenden ökonomischen Druck, die erhöhten Umweltauflagen und die zunehmende Dokumentationspflicht, wird es nach Meinung der Landwirte irgendwann nicht mehr ohne diese Technik gehen. Diese Technologie ermöglicht eine effektive und standortangepasste Wirtschaftsweise und eine verbesserte und vor allen Dingen lückenlose Dokumentation. Ein weiteres Argument, was die Landwirte lieferten, warum sich PF zukünftig verstärkt durchsetzen wird, ist die Tatsache, dass diese Technolo-

gie zunehmend praxistauglicher wird und damit die Akzeptanz bei den Landwirten immer mehr zunimmt. Außerdem wird die Landwirtschaft in Zukunft mit einem zunehmenden Arbeitskräftemangel zu kämpfen haben, so dass immer mehr Arbeitsgänge automatisiert werden müssen. Hierzu kann PF einen Beitrag leisten.

8.1.3.2.7 Voraussetzungen und Wünsche für die Zukunft

Die Landwirte wurden gefragt unter welchen Voraussetzungen sie weitere Methoden des PF einführen bzw. was sie sich noch für die Zukunft von dieser Technologie erhoffen. Die Antworten auf diese Fragen fielen wie schon bei den anderen Fragen sehr unterschiedlich aus. Dennoch lassen sich auch Gemeinsamkeiten erkennen. Eine Hauptvoraussetzung, die von vielen Landwirten (11) genannt wurde, ist die Senkung der Anschaffungskosten für die Technik. Die Anschaffung muss sich auch für kleinere Betriebe rentieren, daher dürfen die Anschaffungskosten nicht zu hoch sein. Momentan sind die Anschaffungskosten so hoch, dass sich die Technik erst ab einem Einsatz von 1000 bis 1500 Stunden rentiert. Diese Laufleistung ist bei kleineren Betrieben nicht gegeben.

Eine andere wichtige Voraussetzung ist die Schaffung von funktionierenden international einheitlichen Standards, sowohl hinsichtlich der Datenformate als auch der Kompatibilität zwischen den Maschinen. Viele wünschen sich eine herstellerunabhängige Kompatibilität. Neben der Schaffung von einheitlichen Standards wünschen sich viele Landwirte (8) eine benutzerfreundliche Software, mit einem einfachen Aufbau und einer guten Datenübersicht. Darüber hinaus wurde eine Automatisierung verschiedener Prozesse gewünscht. Beispielsweise das Einlesen von Daten oder die Erstellung von Ertragskarten sowie Applikationskarten für den Düngerstreuer sollte zukünftig automatisiert werden. Vereinzelt wurde eine Softwarelösung gewünscht die alles kann, die sowohl als Ackerschlagkartei genutzt werden kann, als auch die verschiedenen Funktionalitäten für eine Weiternutzung der Daten für PF beinhaltet. Zusätzlich dazu wurde von einzelnen Landwirten gewünscht, dass ein solches System im Idealfall auch noch internetbasiert ist. So sind die Daten von überall abrufbar und die Datenbank kann von mehreren Nutzern gleichzeitig verwendet werden, was sich insbesondere für Betriebsgemeinschaften anbietet.

In der Vergangenheit sind viele nicht praxisreife Lösungen auf dem Markt gelandet, daher wünschen sich die Landwirte (13) für die Zukunft mehr praxisreife Lösungen, um so von vornherein Anfangsschwierigkeiten zu vermeiden. Die Technik muss benutzerfreundlich und einfach handhabbar sein.

Viele Landwirte betonten in den Interviews, dass zukünftig die angebotenen Servicedienstleistungen eines Unternehmens eine wichtige Rolle bei der Kaufentscheidung spielen. Die Landwirte, die bisher gute Erfahrungen bei der Beratung und Schulung gemacht haben, erhoffen sich auch weiterhin einen guten Service. Die Landwirte, die bisher schlechte Erfahrungen gemacht haben, wünschen sich eine bessere Beratung. Neben der Beratung durch den Hersteller wünschen sich viele Landwirte eine herstellerunabhängige Beratung, entweder durch die Offizialberatung oder durch den Landmaschinenhändler. Einige waren der Meinung, dass insbesondere die Gruppe der Berater mehr für PF-Technologien sensibilisiert werden müsste. Die Berater könnten eine Vermittlerrolle zwischen Industrie und Landwirt einnehmen und so dazu beitragen, dass die Akzeptanz gegenüber PF zunimmt. Nach Meinung einiger Experten müsste bei vielen Landwirten erst mal eine Grundbereitschaft geschaffen werden, sich mit PF auseinander zu setzen. Die Offizialberatung könnte hierbei eine große Hilfe sein. Außerdem wurde von manchen Landwirten angemerkt, dass sich die Ausbildung der jungen Landwirte an den Berufs- und Fachschulen grundsätzlich verbessern müsste und auch Themen wie PF in der Ausbildung mit berücksichtigt werden müssten.

Von Seiten der Politik wünschen sich die Landwirte bundesweit einheitliche Rahmenrichtlinien. Momentan ist es so, dass das Antragswesen für die EU-Agraranträge von Bundesland zu Bundesland unterschiedlich gehandhabt wird. Hier wünschen sich die Landwirte eine einheitliche Struktur und die Möglichkeit, die Anträge auch online im Internet abwickeln zu können. Das ist momentan in manchen Bundesländern möglich, in anderen nicht. Ähnlich wie bei den EU-Agraranträgen sollten sich auch die Zertifizierungsbüros auf einheitliche Richtlinien einigen. Andere wiederum bemängelten die geringe Flexibilität der verschiedenen fachlichen Kontrollinstanzen. Die Vorgaben und Richtlinien, die hier existieren, berücksichtigen nicht die pflanzenbaulichen Fortschritte, welche aufgrund neuer Technologien möglich sind. So wird beispielsweise bei der Düngung nach wie vor an einem Durchschnittswert festgehalten, anstatt auch andere Ergebnisse zu akzeptieren. Ähnliches gilt für die vorgeschriebene Anzahl an Bodenproben pro Fläche, welche sich rein nach der Größe des Schlages richtet und die Geomorphologie unberücksichtigt lässt. In manchen Schlägen würden weniger Bodenproben ausreichen um eine bestimmte Aussage treffen zu können, bei anderen Schlägen hingegen wäre es notwendig, mehr als die vorgeschriebenen Bodenproben zu ziehen, um eine schlagspezifische Aussage zu treffen. Hier wünschen sich die Landwirte einen größeren Handlungsspielraum.

Die Ergebnisse aus den Expertengesprächen machen deutlich, welchen Einfluss die Politik auf eine weitere Verbreitung von PF nehmen kann. Die momentanen Agrarrichtlinien räumen dem Landwirt einen gewissen Handlungsspielraum ein. Beispielsweise machte ein Landwirt die Aussage, dass solange es keine festen Grenzwerte für Stickstoff geben würde, es für ihn keine Notwendigkeit gibt, teilflächenspezifisch zu düngen.

8.1.3.3 Ergebnisse der Interviews mit den Lehrern an landwirtschaftlichen Berufs- und Fachschulen

Der Großteil der von uns befragten Lehrer unterrichtet die Fächer Pflanzenbau (24,1 %) und Agrarwirtschaft (21,6 %). Die Lehrer wurden zu ihrem persönlichen Kenntnisstand im Bereich PF, sowie zu dem Umfang den das Thema PF bisher im Unterricht einnimmt befragt. Es sollte herausgestellt werden, welche Aspekte von PF vermittelt werden und welche Relevanz – nach Meinung der Lehrer – dieses Thema für die Ausbildung der Schüler hat.

Der Großteil der befragten Lehrer (86,4 %) wusste was PF ist, der Anteil der uninformierten Lehrer lag bei 13,6 %. Den meisten Lehrern fallen zu PF Schlagworte wie GPS-Ertragskartierung (59,6 %), GPS im Allgemeinen (52,8 %) und die Berücksichtigung von Standortunterschieden (49,4 %) ein. Fast gar nicht wurden Schlagworte wie Memorycard (0 %), LBS (1,1 %) und Flottenmanagement (1,1 %) von den Lehrern mit PF in Verbindung gebracht. Das Thema PF wird von seiner Wichtigkeit im Hinblick auf die Ausbildung der Schüler von einem Großteil der Lehrer als ein nicht ganz so wichtiges Thema eingestuft. Die meisten Lehrer sehen die Ausbildung in diesem Bereich als „hilfreich“ (47,2 %) an, nur 33,7 % der befragten Lehrer stufen PF als ein „notwendiges“ Thema für die Ausbildung ein, lediglich 6,7 % der befragten Lehrer halten eine Ausbildung im Bereich PF für „überflüssig“. An einem Großteil der Schulen (57,3 %) wird bisher kein einziger Unterrichtsinhalt zu PF vermittelt. In den Schulen mit Unterrichtsinhalten zum PF (41,6 %) ist der Umfang, den dieses Thema im Unterricht einnimmt, sehr gering. Meistens werden die Inhalte zu PF in Form von kleinen Referaten (37,1 %) und Einzelvorträgen (16,9 %) den Schülern vermittelt und sind demzufolge bei 89,9 % der Schulen auch nicht prüfungsrelevant. Hauptsächlich werden den Schülern dabei Inhalte zur teilflächenspezifischen Düngung mit N-Sensor (43,8 %), zur satellitengestützten Ortsbestimmung GPS (39,3 %) und zur GPS-Ertragskartierung (37,1 %) vermittelt. Der Großteil der Lehrer (64 %) beurteilt eine Ausdehnung des Unterrichts im Bereich PF als „notwendig“, jedoch gibt es in den Schulen bisher wenig eigenes Lehr-

material zu diesem Thema (76,4 %). Die meisten Lehrer stellen sich ihr Unterrichtsmaterial im Bereich PF selber zusammen. Überwiegend werden hierfür Artikel aus Fachzeitschriften, Prospekte von Messen und Firmen, sowie Informationen aus dem Internet verwendet. Daher war das Interesse an Lehrmaterial zu diesem Thema bei den meisten Lehrern (87,6 %) sehr groß. Das Lehrmaterial sollte gut aufbereitet sein und an das Lernniveau an Berufs- und Fachschulen angepasst sein. Als mögliches Lehrmaterial wurde von den Lehrern vorgeschlagen, geeignete Folienserien bzw. Powerpoint-Vorträge für den Unterricht zu entwickeln. Darüber hinaus wünschten sich viele Lehrerfortbildungen in diesem Bereich. Eine Lehrerfortbildung ist vor dem Hintergrund interessant, dass 92,86 % der befragten Lehrer über 40 Jahre alt sind und daher keine eigene Ausbildung im Bereich PF haben können (REICHARDT et al. 2006).

Darüber hinaus wurden die Lehrer gefragt, ob sie auch Schüler haben, die ihre praktische Ausbildung in einem Betrieb absolvieren, in dem PF-Techniken verwendet werden. Der Großteil der Lehrer (52,3 %) verneinte diese Frage. Bei den Lehrern (38,6 %), die Schüler aus diesem Bereich in ihrer Klasse hatten, lag der Anteil der Schüler meistens zwischen etwa 5 und 10 %.

8.1.3.4 Ergebnisse der Interviews mit den landwirtschaftlichen Beratern

Der Großteil, der in den Interviews befragten Berater (49,4 %) bietet Beratung im Bereich Pflanzenbau an und arbeitet für die Landwirtschaftskammer (58,4 %). Die meisten Berater haben ein Hochschulstudium (51,7 %) bzw. ein Fachhochschulstudium (40,4 %) absolviert. Die Berater wurden ebenfalls gefragt, was sie mit dem Thema PF verbinden. Die meisten Berater bringen die GPS Ertragskartierung (67,4 %), die Berücksichtigung von Standortunterschieden (47,2 %) und die GPS Technik im Allgemeinen (43,8 %) mit PF in Verbindung. Ähnlich wie bei der Befragung der Lehrer wurden Schlagworte wie PCMCIA-Karte (1,1 %), LBS (1,1 %) und Flottenmanagement (5,6 %) fast gar nicht in Verbindung mit PF gebracht. Die Berater wurden gefragt wie sie sich über PF informiert haben; der Großteil hat sich über PF-Technologien in Fachzeitschriften (91 %), auf Messen (48,3 %) oder durch Vorträge (47,2 %) informiert. Vorträge bzw. Weiterbildungsveranstaltungen im Bereich PF werden vor allen Dingen von Seiten der Landmaschinenhersteller angeboten. Darüber hinaus bieten die verschiedenen Landwirtschaftskammern, Universitäten und Fachhochschulen Weiterbildungsveranstaltungen im Bereich PF an. Die angebotenen Weiterbildungsveranstaltungen im Bereich PF richten sich jedoch nicht gezielt an Berater, sondern sind allgemeine Informationsveranstaltungen über PF.

Der Großteil der Berater (58,4 %) führt keine Beratungsgespräche zum Thema PF durch, nur 41,6 % der Befragten bieten den Landwirten auch eine Beratung im Bereich PF an. Der Großteil der Berater, die eine PF-Beratung anbieten, befindet sich vornehmlich in Ostdeutschland (südliches Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen) (siehe Anhang, Abbildung 5). Die Umfrage unter den Beratern wurde unter anderem durchgeführt, weil die Gruppe der Berater ein möglicher Multiplikator für die Verbreitung von PF ist. Viele Berater haben einen sehr engen Kontakt zu den Landwirten und können beurteilen, inwieweit sich ein Einstieg in PF für den jeweiligen Landwirt lohnt. Inwieweit Berater Multiplikatoren für die Verbreitung von PF sind, geht aus den bisherigen Untersuchungsergebnissen nicht eindeutig hervor. Teilweise könnte man auf einen Zusammenhang schließen, wenn man den Raum südliches Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen betrachtet. Hier liegt sowohl eine hohe Beraterdichte als auch Nutzerdichte vor (vgl. Anhang, Abbildung 5). Im Raum Hannover hingegen liegt eine hohe Nutzerdichte vor, aber keiner der Berater in dieser Region hat sich zu einem Interview bereit erklärt. Daher liegen keine Informationen vor, ob eine PF-Beratung stattfindet oder nicht.

Findet eine Beratung statt (41,6 %), erfolgt die Beratung zum Großteil in Form eines persönlichen Beratungsgesprächs (87,6 %) und/oder als Vortragsveranstaltung (53,9 %). Die meisten Landwirte (79,8 %) ergreifen bei Bedarf selbst die Initiative und suchen ein Beratungsgespräch, seltener wird die Initiative für ein Beratungsgespräch von Seiten des Beraters aufgenommen (49,4 %). Der Beratungsbedarf (41,6 %) zu PF sowie das Interesse an dieser Thematik unter den Landwirten (75,3 %), werden von einem Großteil der Berater als sehr gering eingestuft. Gründe für die mangelnde Akzeptanz bei den Landwirten sehen die meisten Berater in den hohen Investitionskosten (68,5 %), den kleinen Betriebsgrößen (62,9 %) und den unklaren Rentabilitätsaussagen (56,2 %). Das hält viele Landwirte von einem Einstieg in PF ab. Diese Einschätzung deckt sich mit den Antworten der Landwirte von den Messeumfragen, sowie mit der Einschätzung der Landwirte in den Expertengesprächen.

Einige Berater wiesen darauf hin, dass aufgrund der regional sehr stark unterschiedlichen Strukturbedingungen in der Landwirtschaft, die Praxis heute noch nicht überall reif ist für eine umfangreiche Anwendung von PF. Der in einigen Regionen dringend erforderliche Strukturwandel, welcher die Verbreitung von PF-Techniken erleichtern würde, wird durch die hohen Prämienzahlungen behindert. Als weitere Ursache für die schlechte Verbreitung von PF wurde das Festhalten an der Eigenmechanisierung angeführt. Insbesondere bei kleineren Betrieben mit einer schlechten Einkommenslage wird dennoch häufig an der Eigenmechanisierung festgehalten. Die meisten Betriebe können daher die hohen Investitionskosten für PF-Technologien nicht aufbringen. Kritisch wurde von einigen Beratern auch die Tatsache gesehen, dass viele Lohnunternehmer zwar Dienstleistungen im Bereich PF anbieten, diese jedoch häufig nicht weiter genutzt werden, da viele Landwirte Schwierigkeiten bei der Dateninterpretation haben.

Die meisten Berater (67,4 %) stufen die Zukunftsfähigkeit von PF als „mittel“ ein. Bei der Frage nach den Schwachstellen von PF gaben die meisten Berater, ähnlich wie die Landwirte in den Messeumfragen, die mangelnde Kompatibilität der Technik (61,8 %) und den hohen Zeitaufwand für den Einstieg (59,6 %) an. Im Hinblick auf diese Schwachstellen hat sich die Technologie, laut Aussage eines Großteils der Berater (67,4 %), nur mäßig weiter entwickelt. Um eine Verbreitung von PF mittel- bis langfristig zu erreichen, ist es laut Aussage einiger Berater notwendig, dass neben einer deutlichen Preissenkung der Technik, diese noch besser ausgereift und herstellerunabhängig kompatibel sein muss.

8.1.3.5 Ergebnisse der Interviews mit der Landtechnikindustrie

Der Großteil der befragten Firmen kommt aus dem Bereich der Landmaschinenherstellung (39,1 %), viele der befragten Firmen stellen Parallelfahrssysteme (17,4 %) her oder kommen aus dem Bereich der Softwareentwicklung (17,4 %). Einige der interviewten Firmen haben schon bereits Anfang der 90er Jahre PF-Technologien angeboten. Der überwiegende Teil hat jedoch erst nach 1995 mit PF begonnen.

Die Umfrageergebnisse zeigen, dass die meisten Firmen sich bei der Produktentwicklung am Feedback bisheriger Käufer (52,2 %) orientieren, viele Firmen führen vor der Entwicklung neuer Produkte eigene Befragungen durch (34,8 %).

Die Firmen wurden gefragt, inwieweit Sie über auftretende Probleme mit der Technik unterrichtet sind und welche Lösungsstrategien sie verfolgen um diese zu beheben. Eine Schwachstelle, die von vielen Nutzern angeführt wird, ist die mangelnde Kompatibilität zwischen den Geräten verschiedener Hersteller. Ein Großteil der Firmen gab zu, dass die mangelnde Kompatibilität in der Vergangenheit oft bewusst forciert wurde, um den Landwirt an einen Hersteller zu binden und sich so Marktanteile zu sichern. Inzwischen setzt ein Großteil der Firmen (34,8 %) auf die Entwicklung einheitlicher, herstellerunabhängiger Standards. Die bereits bestehenden Standards sind noch recht neu und viele Hersteller

arbeiten an ihrer Umsetzung. Darüber hinaus werden Absprachen mit Kunden und mit ausgewählten Firmen getroffen. Andere wiederum agieren unabhängig von allgemeinen Standards und verfolgen bei der Produktentwicklung ihre eigenen Strategien. Probleme mit der Software versuchen die meisten Firmen in persönlichen Beratungsgesprächen durch firmeneigene Berater (52,2 %), sowie mit Hilfe von Handbüchern (43,5 %) zu beheben. Um der komplizierten Handhabung der Technik entgegenzuwirken, streben die meisten Firmen die Umstellung auf eine benutzerfreundliche Technik an (39,1 %).

Ein weiterer Fragenblock beschäftigte sich mit der Zukunftsfähigkeit dieser Technologie in Deutschland und ihrer Verbreitung in der landwirtschaftlichen Praxis. Im Hinblick auf die Zukunftsfähigkeit dieser Technologie gehen die Meinungen der Befragten deutlich auseinander. Der Großteil der Befragten war zwar der Meinung, dass PF eine Zukunft in der deutschen Landwirtschaft hat, jedoch in einer anderen Form als ursprünglich vorgesehen. So glauben viele, dass die deutschen Landwirte PF zukünftig primär einsetzen um eine lückenlose Schlagdokumentation zu erreichen und um Arbeitszeit einzusparen. Das eigentliche Ziel von PF Kosten einzusparen, wird zukünftig in Deutschland eine untergeordnete Rolle spielen. Grundsätzliche Voraussetzung ist jedoch die Schaffung einheitlicher Standards zur Gewährleistung der Kompatibilität zwischen den Geräten verschiedener Hersteller.

Andere Firmen sehen die Zukunftsperspektive von PF in Deutschland negativ. Ihrer Meinung nach hat PF keine Zukunft in Deutschland. Sie begründen diese Aussage mit den regional sehr unterschiedlichen Strukturbedingungen in der deutschen Landwirtschaft. Darüber hinaus haben viele technische Entwicklungen in der Vergangenheit zu einer Fehlleitung der Praxis geführt, z. B. LBS, dann LBS 2, anschließend ISOBUS. Der Nutzer wurde durch die ständigen Neuentwicklungen von Standards verunsichert. Darüber hinaus ist die Technik noch zu teuer bzw. das Preis-Leistungsverhältnis stimmt nicht, was insbesondere kleinere Betriebe von einem Einstieg in PF abhält.

Die Vertreter der Firmen sollten einschätzen, wie die neue Technologie vom Kunden im Vergleich zu anderen technischen Neuerungen angenommen wird. Hier stuften die meisten die Akzeptanz beim Kunden als „mittel“ ein (53,8 %). Die Verbreitung dieser Technologie in der landwirtschaftlichen Praxis in Deutschland wird von einem Großteil als „schlecht“ eingestuft (56,3 %) und der zeitliche Transfer in die Praxis als „langsam“ empfunden (50,0 %)

Bei der Frage nach den Ursachen für die bestehenden Akzeptanzhemmnisse war ein Großteil der Industrie der Meinung, dass die hohen Investitionskosten (34,8 %) und die gleichzeitig unklaren Rentabilitätsaussagen (34,8 %) für die schlechte Verbreitung von PF verantwortlich sind. Daneben gaben 30,4 % der Befragten an, dass die schlechte Informationslage bei einem Großteil der Landwirte und die unklaren Rentabilitätsaussagen bisher die weitere Verbreitung von PF beeinträchtigen. Als weitere Ursachen für eine gehemmte Akzeptanz bei Landwirten, führten die Firmen unter anderem die Agrarsubventionen an, welche dem Landwirt einen finanziellen Spielraum einräumen und er nicht zu maximaler Wirtschaftlichkeit gezwungen wird. Negative Erfahrungsberichte von PF-Pionieren sowie die übersteigerte Erwartung in diese Technologie verhindern die Verbreitung von PF in Deutschland.

Besonderer Entwicklungsbedarf besteht noch in dem Bereich Pflanzenschutz. Daneben wurden zahlreiche weitere Bereiche von den Firmen angeführt, in denen noch Forschungsbedarf besteht, beispielsweise die Erntemengenerfassung für weitere Kulturarten, Flottenmanagement, Saat, Beregnung etc.

Ein Teil der befragten Industrieunternehmen bietet keine Dienstleistungen im Bereich PF an. Als Grund hierfür nannte ein Großteil die zu kleine Gewinnspanne in diesem Bereich. Hohe Entwicklungskosten stehen einer sehr kleinen Gruppe an potentiellen Käufern gegenüber. Diese Aussage deckt

sich mit den Bemerkungen mancher Anbieter von PF-Techniken, die zum Teil einen Zeitraum von 8 bis 10 Jahren kalkulieren bis sich diese Technologie rechnet.

8.1.4 Diskussion

Die Ergebnisse der Messeumfragen (AGRITECHNICA, DLG-Feldtage) deuten zwar auf leicht steigende Tendenzen bei der Verbreitung und Akzeptanz von PF in der landwirtschaftlichen Praxis in Deutschland hin, jedoch wird diese Technologie nach wie vor von einer Minderheit der deutschen Landwirte verwendet. Der Großteil der Landwirte steht dieser Technik eher kritisch gegenüber und zögert mit einer Einführung von PF-Techniken auf seinen Betrieben. Die Ursachen für dieses Zögern sind vielfältig. Viele Landwirte, insbesondere diejenigen mit kleinen Betriebsflächen, sind aufgrund der hohen Investitionskosten abgeschreckt. Eine Investition in diesem Bereich ist daher erst ab einer gewissen Laufleistung der Maschinen rentabel. Insbesondere für kleinere Betriebe bleibt daher fast nur die Möglichkeit Lohnunternehmer oder Maschinenringe mit PF-Dienstleistungen zu beauftragen oder Betriebsgemeinschaften zu gründen und gemeinsam die notwendigen Maschinen anzuschaffen. Wie sich vor allen Dingen in den Expertengesprächen gezeigt hat, sind viele Landwirte zu diesem Schritt noch nicht bereit. Die Bereitschaft, Lohnunternehmer mit diesen Dienstleistungen zu beauftragen, ist zumindest in Westdeutschland noch sehr gering. Da es bisher noch nicht gelungen ist allgemeingültige Aussagen bezüglich der Rentabilität von PF zu treffen und die EU Rahmenrichtlinien dem Landwirt einen gewissen Handlungsspielraum lassen, sehen viele Landwirte noch nicht die Notwendigkeit ihre Wirtschaftsweise sowohl hinsichtlich Ökonomie wie auch Ökologie zu ändern. Momentan ist es daher noch so, dass PF von einer kleinen Gruppe von Landwirten eingesetzt wird, die gekennzeichnet ist durch ihre große Betriebsflächen, den überdurchschnittlich guten Ausbildungsstand, sowie durch ihre Bereitschaft sich mit der Technologie auseinanderzusetzen. Zudem ist allen Landwirten dieser Gruppe gemein, dass Sie genauestens über ihre Betriebszahlen informiert sind und nach einem Maximum an Wirtschaftlichkeit streben.

Der Verkauf von halbfertigen nicht praxisreifen Lösungen in der Vergangenheit hat das Image von PF in Deutschland stark geschädigt, so dass das Vertrauen in diese Technik sowohl bei Nutzern, die schlechte Erfahrungen gemacht haben, sowie bei potentiellen Nutzern, die aufgrund der Negativbeispiele abgeschreckt wurden, erst wieder gewonnen werden muss. Insbesondere die mangelnde Kompatibilität zwischen den Maschinen verschiedener Hersteller, sowie zwischen Maschine und Software ist nach wie vor eines der Hauptprobleme im Umgang mit PF. Hier ist eine zeitnahe Entwicklung und Implementierung einheitlicher Standards eine unabdingbare Voraussetzung für den Erfolg von PF auf dem deutschen Agrarmarkt. So zeigte sich in den Expertengesprächen, dass der Großteil der befragten Landwirte nicht dazu bereit ist, die Anschaffung neuer Maschinen von der Kompatibilität zu den vorhandenen Maschinen abhängig zu machen. Wie sich in den Interviews mit der Industrie gezeigt hat, hat ein Großteil der Unternehmen diesen Trend bereits erkannt und ist dabei einheitliche Standards zu schaffen und zu implementieren. Ebenfalls hat sich in den Expertengesprächen gezeigt, dass ein guter Service, welcher eine gute Beratung mit einschließt, einen maßgeblichen Einfluss auf die Akzeptanz von PF hat. Landwirte, die anfangs zwar viele Schwierigkeiten mit der Technik hatten, jedoch einen sehr guten Beratungsservice durch den Hersteller bekommen haben, sind meistens zufrieden mit der Einführung von PF und wollen zukünftig weitere Methoden nutzen. Hingegen sind viele Landwirte, die keine Unterstützung bei ihren Technikproblemen bekommen haben, erst mal abgeschreckt. Neben der Kompatibilität der Technik ist daher ein guter Beratungsservice eine Grundvoraussetzung für eine weitere Verbreitung von PF.

Teilweise wurde auch ein von den Herstellerfirmen unabhängiger Beratungsservice gewünscht, hier waren jedoch viele Landwirte skeptisch inwieweit diese Rolle die Officialberatung übernehmen kann. Die Erfahrung vieler Landwirte, sowie die Ergebnisse der eigenen Befragung bei den Beratern haben gezeigt, dass ein Großteil bisher keine Beratung im Bereich PF anbietet und eher negativ gegenüber PF eingestellt ist. Spezielle Weiterbildungsveranstaltungen für Berater im Bereich PF, sowie die Erstellung geeigneter Beratungskonzepte, könnten die Akzeptanz von PF bei den Beratern verbessern. Da die Berater mit vielen Landwirten in Kontakt stehen und ein guter Multiplikator für die Streuung von Informationen sind, könnten sie zukünftig eine wichtige Rolle bei der Verbreitung von PF spielen. Obwohl PF seit mehr als 10 Jahren in der landwirtschaftlichen Praxis eingesetzt wird und in der landwirtschaftlichen Fachpresse viel über PF berichtet wurde, ist der Anteil an uninformatierten Landwirten, die nicht wissen was PF und Synonyme ist, nach wie vor relativ hoch (ca. 40 – 50 %). Die Officialberatung könnte in diesem Bereich ansetzen und allgemein über die verschiedenen Möglichkeiten im Bereich PF informieren.

Die Gespräche mit den Experten zeigten darüber hinaus, dass insbesondere große Betriebe vor dem Problem stehen, geeignete Mitarbeiter zu finden, die eine gute Ausbildung haben und mit der Technik umgehen können. Die Experten berichteten, dass junge Landwirte in ihrer Ausbildung an den landwirtschaftlichen Berufs- und Fachschulen zu einem Großteil nicht im Bereich Computer und PF ausgebildet werden und daher nicht in diesem Bereich auf den Betrieben eingesetzt werden können. Die Befragungen der Lehrer an landwirtschaftlichen Berufs- und Fachschulen bestätigt dieses Bild. An einem Großteil der Schulen wird keine Ausbildung im Bereich PF angeboten oder eine Ausbildung findet nur in einem sehr kleinen Umfang statt. Ursache für diese Situation sind die fehlenden Unterrichtsmaterialien und Unterrichtskonzepte zu PF, sowie eine entsprechende Weiterbildung der Lehrer in diesem Bereich. Die von TP 20 auf Basis dieser Untersuchungsergebnisse entwickelten Unterrichtsmaterialien sind daher ein entscheidender Beitrag zur Verbesserung der Ausbildung im Bereich PF und zur Erhöhung der Akzeptanz von PF (siehe Kapitel 8.2).

Die Messebefragungen zeigen bestimmte Akzeptanzmuster bei der Anwendung von PF. So wendet ein Großteil der befragten PF-Nutzer nach wie vor erfassende Methoden, wie die GPS-Flächenvermessung, GPS-Bodenbeprobung und die GPS-Ertragskartierung an. Erst wenige Landwirte setzen die gewonnenen Informationen um und bewirtschaften ihre Schläge teilflächenspezifisch. Einerseits liegt es daran, dass viele Landwirte die Daten rein zu Dokumentationszwecken verwenden und gar nicht vorhaben, die Daten weiter auszuwerten. Andererseits haben viele Landwirte Schwierigkeiten bei der richtigen Interpretation der Daten. Insbesondere die Auswertung der Ertragskarten bereitet vielen Landwirten aufgrund der hohen Variabilität zwischen den verschiedenen Jahren enorme Probleme. Selbst wenn eine Einteilung der Schläge in verschiedene Ertragszonen gelingt, stellt sich vielen trotzdem noch die Frage, nach welchen pflanzenbaulichen Kriterien sie ihre Flächen bewirtschaften (welche Saatkichte, welche Düngemenge, welche Menge an Pflanzenschutzmitteln ...). Hier wünschen sich die Landwirte eine Entscheidungsunterstützung von Industrie, Beratung und Wissenschaft.

Trotz der nach wie vor existierenden Probleme und der recht langsamen Verbreitung von PF in Deutschland sieht der Großteil der befragten Landwirte und Industrievertreter eine Zukunftsperspektive für PF in Deutschland. Nach Meinung der meisten Landwirte wird sich diese Technologie überwiegend in Ostdeutschland durchsetzen. Aber auch im Westen werden die Betriebe aufgrund des allgemeinen Strukturwandels in der deutschen Landwirtschaft größer werden, wodurch ein Einstieg in PF lohnender wird. Dadurch, dass PF mehr und mehr zum Standard wird, erwarten viele Landwirte eine Kostenreduzierung bei der Technik, wodurch sich auch ein Einstieg für kleinere Betriebe lohnen wür-

de. Wie stark sich diese Technik zukünftig in den deutschen Agrarmarkt integrieren wird, hängt jedoch im Wesentlichen von der Schaffung und zeitnahen Implementierung einheitlicher Standards ab.

Literatur

- ARNHOLT M., T.M. BATTE & S. PROCHASKA (2001): Adoption and Precision Farming Technologies: A survey of Central Ohio Precision Farmers. AEDE-RP-0011-01, Agricultural, Environmental and Development Economics, Ohio State University, Columbus, USA, 15 pp.
- BLACKMORE S., R. GODWIN & S. FOUNTAS (2003): The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. *Biosystem Engineering* (2003), 84 (4), pp.455 – 466
- BATTE T.M. & W.M. ARNHOLT (2003): Precision farming adoption and use in Ohio: Case studies of six leading-edge adopters. *Computers and Electronics in Agriculture* 38, 125 – 139
- DABERKOW S.G. & W.D. McBRIDE (2000): Adoption of precision agriculture technologies by U.S. farmers. In: Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, edited by P.C. Robert, R.H. Rust and W.E. Larson (ASA/CSSA/SSSA, Madison, WI, USA)
- DABERKOW S.G. & W.D. McBRIDE (2003): Farm and operator characteristics affecting the awareness and adoption of precision agriculture technologies in the US. *Precision Agriculture* 4, pp. 163 – 177
- DeSTATIS (2006) Landwirtschaft in Deutschland und in Europäischen Union 2006. [Ed.]: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden <http://www.destatis.de>
- FOUNTAS S., S. BLACKMORE, D. ESS, S. HAWKINS, G. BLUMHOFF, J. LOWENBERG-DEBOER & C.G. SORENSEN (2005) Farmers Experience with Precision Agriculture in Denmark and the US Eastern Corn Belt. *Precision Agriculture* 6 (2), pp. 121 – 141
- GUMPERTSBERGER E. & C. JÜRGENS (2003): Acceptance of Precision Agriculture in Germany – Results of a Survey in 2001. In: Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture. Stafford, J. & A. Werner [Eds.]: Wageningen Academic Press, The Netherlands, p. 259 – 264
- McBRIDE W.S. & S.G. DABERKOW (2003): Information and the Adoption of Precision Farming Technologies. *Journal of Agribusiness* 21 (1), pp. 21-38.
- PEDERSEN S.M., R.B. FERGUSON & M. LARK (2001): A Comparison of Producer Adoption of Precision Agriculture Practices in Denmark, the United Kingdom and the United States. SJFI – Working Paper no. 2/2001, Danish Institute of Agricultural and Fisheries Economics, Farm Management and Production Systems Division, Denmark, 40 pp.
- PEDERSEN, S.M. (2003): Precision Farming – Technology Assessment of site-specific input application in cereals, Ph. Dissertation, Technical University of Denmark, Lyngby.
- PEDERSEN S.M., S. FOUNTAS, S.B. BLACKMORE, M. GYLLING & J.L. PEDERSEN (2004): Adoption and Perspective of Precision Farming in Denmark. *Acta Scandinavica Section B – Soil and Plant Science* 54 (1), 2 – 8.
- REICHARDT M., C. JÜRGENS, J. HÜTER & U. KLÖBLE (2006): Precision Farming Education in Germany – Obstacles and Solution. In: Proceedings of the 8th International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis

- REICHARDT M. & C. JÜRGENS (2007): Adoption and Perspective of Precision Farming (PF) in Germany – Results of several surveys among the different agricultural target groups. In: Precision Agriculture 2007: Proceedings of the 6th European Conference on Precision Agriculture, edited John Stafford. Skiathos, Greece, pp. 843 – 850
- SCHNEIDER M. & P. WAGNER (2006): Prerequisite for the Adoption of new Technologies – the Example of Precision Agriculture. In: Proceedings of the XVI World Congress 2006 Bonn, Agriculture for a Better World, VDI Verlag GmbH Düsseldorf, ISBN: 00835560
- SØRENSEN C.G., S. FOUNTAS, H.H. PEDERSEN & S. BLACKMORE (2002): Information Sources and Decision Making on Precision Farming. In: Proceeding of the 6th International Conference on Precision Agriculture and other Precision Resources Management, Minneapolis, USA.
- SWINTON S.M. & J. LOWENBERG-DEBOER (2001): Global Adoption of Precision Agriculture Technologies: Who, When and Why. In: Precision Agriculture 2001: Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture, edited by Grenier G. and Blackmore S. AgroMontpellier, France, pp. 557 – 562

Anschrift der Autoren:**Dipl.-Geogr. Maike Reichardt**

Ruhr-Universität Bochum

Geographisches Institut

NA 5/129

44780 Bochum

Telefon: (0234) 3223438

Telefax: (0234) 3214877

E-Mail: maike.reichardt@rub.de**Prof. Dr. rer. nat. Carsten Jürgens**

Ruhr-Universität Bochum

Geographisches Institut

NA 7/133

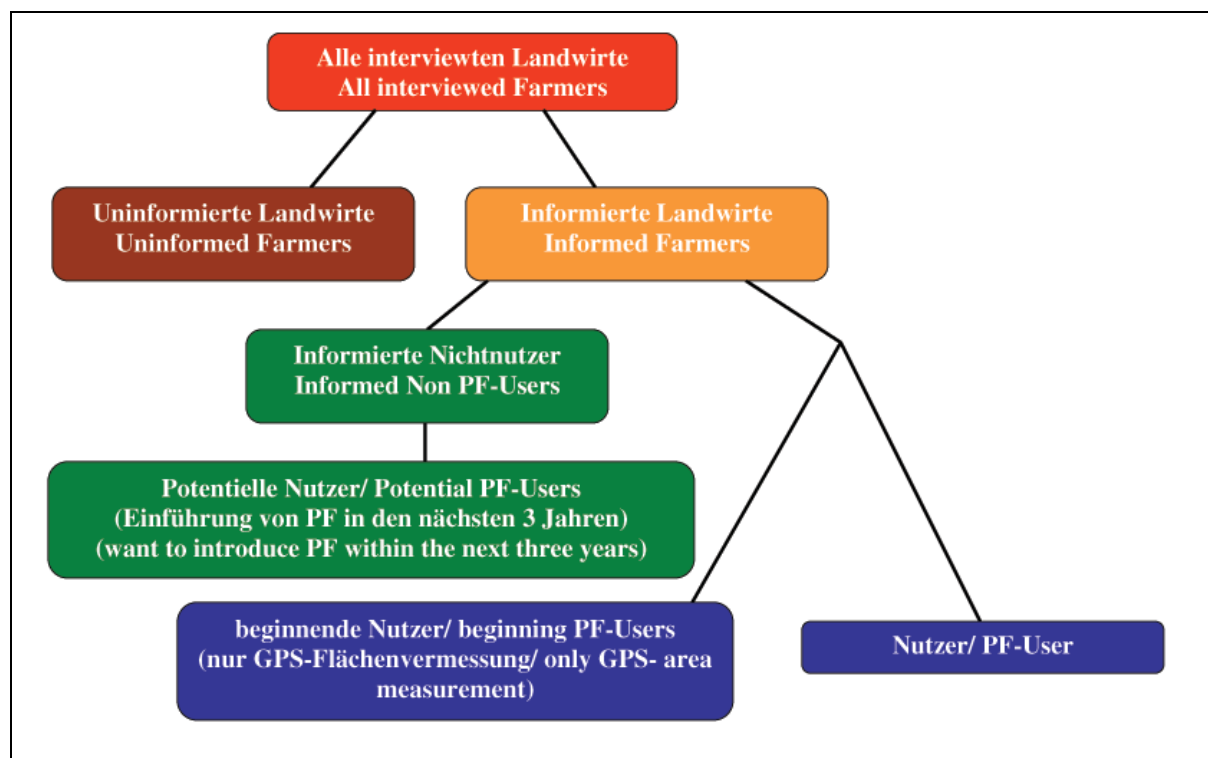
44780 Bochum

Telefon: (0234) 3223376

Telefax: (0234) 3214877

E-Mail: carsten.juergens@rub.de

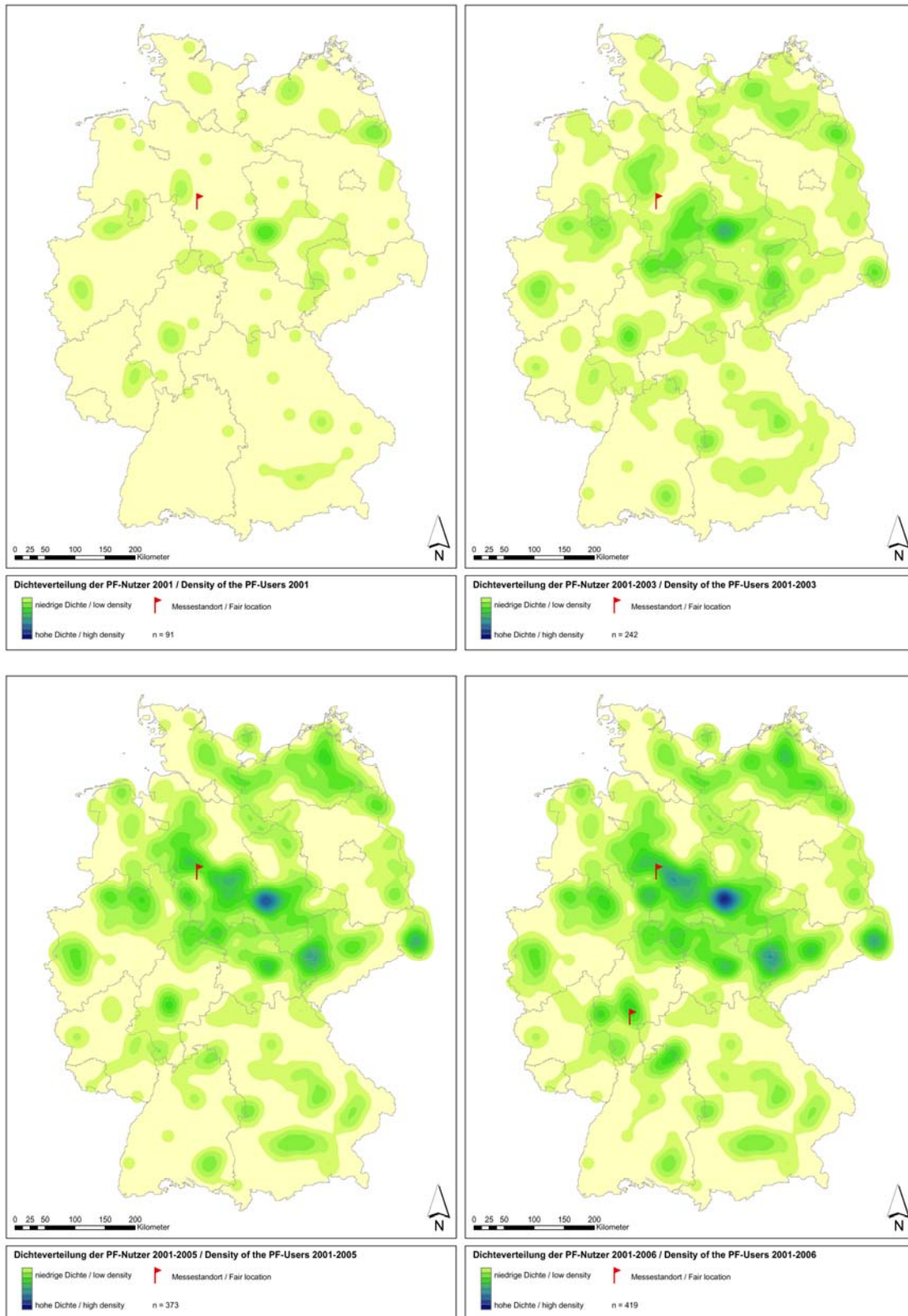
8.1.5 Anhang

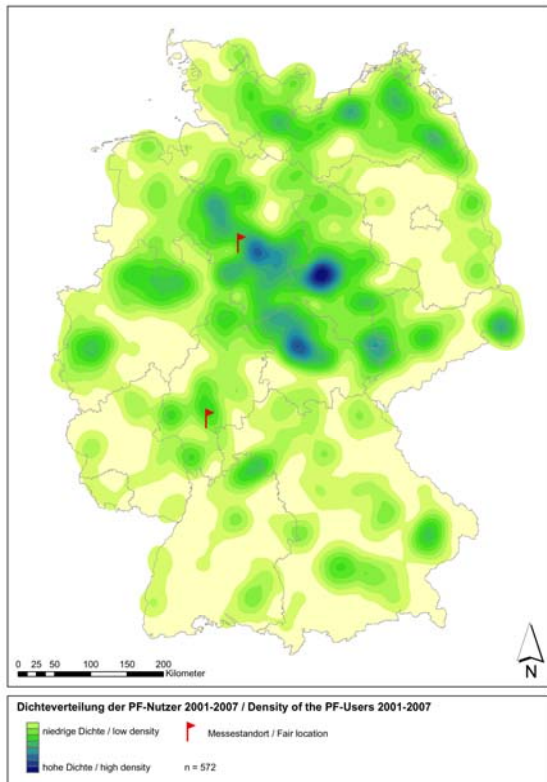


Anhang, Abbildung 3: Unterteilung der Interviewten Landwirte in die verschiedenen Befragungsgruppen
 Appendix, Figure 3: Subdivision of the interviewed famers into the different question groups

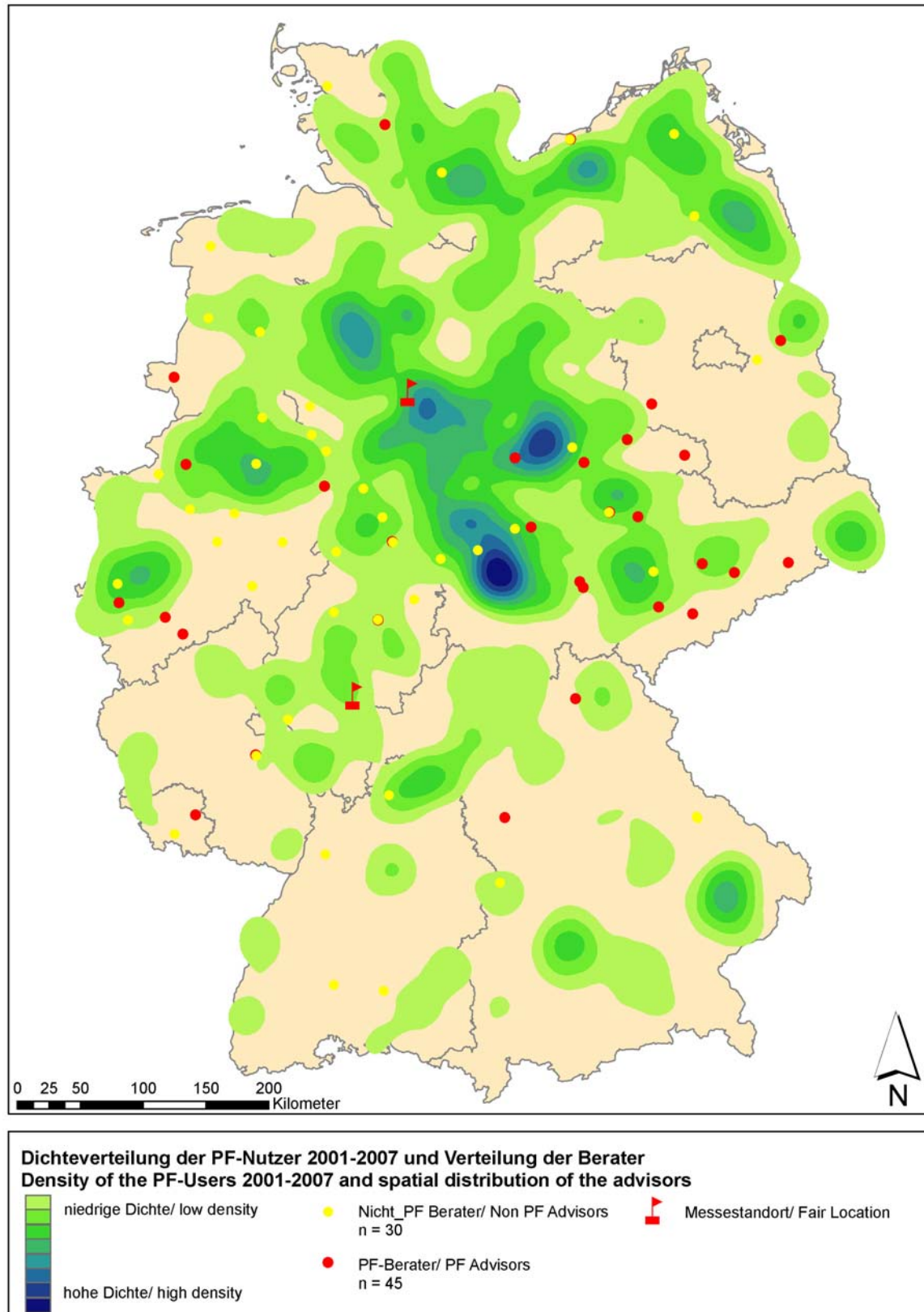
Anhang, Tabelle 18: Altersstruktur der Interviewpartner (alle Landwirte, potentielle PF-Nutzer, PF-Nutzer)
 Appendix, Table 18: Age distribution of the respondents (all farmers, potential PF-User, PF-User)

	All Farmers/ Alle Landwirte				Potential PF-User/ Potentielle PF-Nutzer				PF-User/ PF-Nutzer			
	2001	2003	2005	2006	2001	2003	2005	2006	2001	2003	2005	2006
Alter/Age	---- % ----											
< 20	3.4	4.9	10.6	7.8	0.8	4.4	3.0	2.1	1.0	1.8	6.6	8.3
20 – 34	37.9	52.0	34.1	34.2	35.7	24.6	35.3	46.8	27.3	22.6	29.5	29.2
35 – 50	42.2	23.9	38.1	31.6	50.8	59.9	45.6	31.9	52.5	59.1	38.8	41.2
> 50	16.5	17.7	15.9	25.8	12.7	9.5	15.6	19.1	19.2	16.5	19.1	18.8
No data	0.1	1.5	1.3	0.6	0.0	1.6	0.5	0.1	0.0	0.0	6.0	2.5





Anhang, Abbildung 4: Räumliche Verteilung der PF-Nutzer, aufaddiert nach den Umfragen 2001 – 2007
Appendix, Figure 4: Spatial distribution of the PF-User, sum up for each fair surveys 2001 – 2007



Anhang, Abbildung 5: Räumliche Verteilung der PF-Nutzer (2001 – 2007) und der interviewten Berater (nur Berater mit vollständiger PLZ)

Appendix, Figure 5: Spatial distribution of the PF-Users (2001 – 2007) and of the interviewed advisors (only advisors with a complete zip code)

8.2 Förderung der Kenntnisse über Precision Farming in der Praxis durch Transfer und Bildung

Promotion of the knowledge of Precision Farming into the practice by transfer and education

Ulrike Klöble & Joachim Hüter

Zusammenfassung

Im Teilprojekt 20 wurden in Zusammenarbeit mit den Teilprojekten TP 3, TP 6, TP 13, TP 17 und TP 21 Konzepte für den Transfer von Precision Farming (PF) in die Praxis entwickelt und erprobt, um die Verbreitung der Kenntnisse über diese Technologie zu unterstützen.

Auf der Grundlage einer Situationsanalyse wurden die relevanten Zielgruppen für den Transfer der Technologie des Precision Farming, im Folgenden als PF bezeichnet, in die Ebene der praktischen Landwirtschaft identifiziert. Dies sind Landwirte, landwirtschaftliche Dienstleister, Berater und Lehrer in der landwirtschaftlichen Berufsausbildung.

Während alle Hochschulen im Agrarbereich dieses Thema in unterschiedlichem Umfang in den vergangenen Jahren in die Ausbildung der Studenten integriert haben, wurde es 2005 in den Berufsschulen nur in einem geringen, an den Fachschulen in einem deutlichen Umfang unterrichtet. Besonders bei den Berufsschulen, aber auch an den Fachschulen fehlte es an den Fachkenntnissen der Lehrer und an geeignetem Lehrmaterial.

Als praxisreife Module von PF, die für Transfermaßnahmen geeignet sind, wurden Parallelfahrssysteme, Ertragskartierung im Getreidebau, Einsatz von PDAs in der Außenwirtschaft und die teilflächen-spezifische Düngung identifiziert.

Es wurden zielgruppenspezifische Weiterbildungskonzepte entwickelt und erprobt. Für die relevanten Schlüsselgruppen hat man anwendergerechte Materialien erstellt. Die entwickelten Transfermaterialien wurden von den Zielgruppen positiv aufgenommen. Mehr als 500 Teilnehmer, darunter 134 Lehrer, beteiligten sich an 16 Fortbildungsveranstaltungen zu verschiedenen Themen des PF. Die Bewertung dieser Veranstaltungen war durchweg positiv.

Um den Erfolg dieser Transferaktivitäten zu erfassen und zu verbessern, wurden die Nutzer dieser Maßnahmen auf der Basis wissenschaftlicher Theorien und Modelle befragt. Es zeigte sich, dass nicht nur das Wissen, sondern auch der wahrgenommene Nutzen, und hier besonders die Wirtschaftlichkeit und Funktionssicherheit, für die positive Einstellung zu PF ausschlaggebend sind. Die im Projekt erstellten Transfermaßnahmen sind nur von einem kleinen Teil der befragten Landwirte und von einem Drittel der befragten Experten genutzt worden. Wenn sie genutzt wurden, wurde ihre Qualität als sehr gut eingeschätzt.

Die Erfahrungen aus den Transferaktivitäten sind für den Praxis-Forschungs-Dialog genutzt worden, um die praktische Realisierung der informationsgeleiteten Pflanzenproduktion zu unterstützen. Dafür hat man in einem Expertenworkshop mit Vertretern der Landmaschinenindustrie, der Wissenschaft, Beratung und Praxis die fördernden und hindernden Faktoren im Diffusionsprozess PF diskutiert. Deutlich wurde, dass der Schlüssel für eine weitere Verbreitung von PF nicht nur in der Ausbildung, Information und Beratung liegt. Mindestens genauso wichtig sind wirtschaftliche Aspekte sowie die

Verbesserung der Kompatibilität zwischen den Maschinen, Geräten und Software durch bessere Standardisierungen.

Summary

Subproject 20 is aimed at improving implementation of precision farming (PF) in practical agricultural, developing specific steps for effective knowledge transfer and furthering awareness of this technology.

A 2005 study of PF education in Germany showed the subject was covered only to a small extent in agricultural education curricula. This was found to be particularly the case in vocational and technical schools, although such institutions indicated they intended to devote more time to PF. At higher education levels such as in universities and technical colleges the study indicated teaching of PF was clearly better established.

To promote awareness of PF amongst farmers, information and teaching material was adapted to the relevant education levels and then further developed and tested at training events. Main topics covered were parallel tracking systems, site-specific nitrogen fertilising, cereal yield mapping and PDAs in crop production.

The brochures thus developed include information on a variety of PF topics for farmers and for students at vocational and technical schools and were positively accepted by the target readership. From 2005 to 2007 more than 500 participants, including around 150 teachers of agriculture, attended seminars for farmers and other experts dealing with various aspects of PF. The evaluation of these events was consistently positive. Almost all participants stated that they had gained substantial knowledge and that they would recommend such seminars to colleagues.

To record the success of these knowledge transfer activities and to help with their further development participants took part in a scientifically and mathematically based survey.

Experience from the knowledge transfer activities was used in the dialogue over practical application and research supporting realisation of PF crop production. To further help in this aim the factors promoting the PF diffusion process, and those impeding it, were discussed in an expert workshop that included representatives of the agricultural machinery industry, scientific research, advisory services and practical farming.

The key to successfully implementing PF lies not only in improving appropriate farmer education and establishing a functioning information and advisory service in this respect but also in improving compatibility through standardisation of relevant software and equipment.

8.2.1 Einleitung und Problemstellung

8.2.1.1 Förderung der Verbreitung von PF durch geeignete Transfermaßnahmen

Precision Farming (PF) ist ein Landbewirtschaftungssystem, das in besonders hohem Maße Wissen und Kenntnisse erfordert (BAEY-ERNSTEN 2003). In einem solchen Produktionsprozess wird Wissen zu einem bedeutsamen Produktionsfaktor, dessen Erwerb und Weitergabe bewusst erfolgen sollte (PROBST et al. 1999). In einer Untersuchung des ähnlich wissensintensiven Bewirtschaftungssystems ökologischer Landbau stellte LEHMANN (2005) fest, dass die Landwirte über aktuelle Forschungsergebnisse mit wenigen Ausnahmen kaum informiert sind. Durch Bildung und weitere Transferprozesse werden vorhandene Informationen zu individuellen Kenntnissen und damit anwendbar für die prakti-

sche Umsetzung. Diese Informationen können dem Landwirt als Entscheidungshilfe dienen, ob und wie er einzelne Elemente aus PF anwenden will.

Ergebnisse von JÜRGENS (2002) weisen darauf hin, dass viele Landwirte nicht über PF informiert sind. Da die Gruppe der Nutzer als klein anzusehen ist, lässt dies die Schlussfolgerung zu, dass es uninformierte Landwirte gibt, für die PF sinnvoll sein könnte. Deshalb soll durch den gezielten Abbau von Wissensdefiziten und Heranführen an die Techniken, die Einführung des PF unterstützt werden. Geeignete Werkzeuge dafür sind praxisbezogene Transfermaßnahmen und Ausbildungskonzepte.

Da PF verschiedene Anwendungstechniken umfasst, erscheint es sinnvoll, konkrete Bausteine des PF zu identifizieren, die als praxisreif angesehen werden können und somit als Inhalt der Transfermaßnahmen taugen.

Durch ein zielgruppenorientiertes Vorgehen lässt sich ein Diffusionsprozess zweckmäßig unterstützen (ALBRECHT 1974). Auf der Grundlage einer Situationsanalyse sollen die relevanten Zielgruppen identifiziert werden, zielgruppenspezifische Transfermaßnahmen entwickelt und präzisiert werden. Damit sind sowohl Aus- und Weiterbildungskonzepte wie auch die Entwicklung von Informationsmaterialien gemeint. Es ist davon auszugehen, dass sich ein Transfererfolg dann einstellt, wenn die Inhalte des Transfers wie auch die jeweilige Zielgruppe definiert sind, die entsprechenden Maßnahmen und Materialien an diese Zielgruppe angepasst sind und ihr Nutzen für den Adressaten klar erkennbar wird.

8.2.1.2 Ansatzpunkte für Transfermaßnahmen

Um die Verbreitung von PF zu unterstützen, sollen Konzepte für die Aus- und Weiterbildung erarbeitet werden. Somit sollen Kompetenzen in den Zielgruppen geschaffen werden.

8.2.1.2.1 Ausbildung

Da die im PF angewendeten Techniken und Methoden erst seit relativ kurzer Zeit in der Landwirtschaft eingesetzt werden, konnten die zurzeit praktizierenden Landwirte während ihrer beruflichen Ausbildung nur wenige Kenntnisse auf diesem Gebiet erwerben. Es ist anzunehmen, dass hier eine deutliche Hürde für die Verbreitung von PF zu sehen ist, da viele Befragte äußerten, in ihrer Ausbildung zum Thema PF kaum etwas erfahren zu haben.

In einer Zeit technologischer Veränderungen in der Landwirtschaft sind Kenntnisse zu Techniken, Managementanforderungen und Auswirkungen von Precision Agriculture Bestandteil von Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen auf allen Ebenen notwendig (DOLUSCHITZ & JUNGBLUTH 2004). Änderungen auf diesem Gebiet herbeizuführen, fällt allerdings schwer, vor allem wenn innovative Bildungsinhalte Einzug in bestehende Bildungssysteme oder Ausbildungsorganisationen halten sollen (KUTT 2001). Deshalb ist es sinnvoll, wenn vor dem eigentlichen Transfer eine Analyse der gegenwärtigen Situation, der Strukturen und Zielgruppen steht.

Durch die Einführung der informationsgeleiteten Pflanzenproduktion als Schlüsseltechnologie für eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaftlichen Landnutzung soll die pflanzenbauliche Produktion wieder ein attraktiver Lehrberuf werden. So können auch in einem hoch industrialisierten Land wieder junge Menschen eine interessante berufliche Alternative zu anderen modernen Berufen in der Landwirtschaft finden.

8.2.1.2.2 Weiterbildung

Da viele Akteure im Wissenssystem PF während ihrer beruflichen Ausbildung nur wenig über PF erfahren konnten, kommt der Weiterbildung eine große Bedeutung zu. Notwendig sind zum einen Konzepte für die Weiterbildung der eigentlichen Anwender, wie die der Landwirte und der Dienstleister. Weiterhin sind Konzepte für die Fortbildung von Multiplikatoren, wie Berater und Lehrer, sinnvoll.

8.2.1.2.3 Informations- und Lehrmaterialien

Ein wesentlicher Bestandteil der Aus- und Weiterbildungskonzepte sind Informations- und Lehrmaterialien, in denen der Wissenstand zu den einzelnen PF Modulen zielgruppenspezifisch aufbereitet dargestellt wird, wie z. B. bei ASCHENBRENNER et al. (2003) und GRENZDÖRFER (2003). Außerdem sollen direkt für den Einsatz im Berufs- oder Fachschulunterricht geeignete Lernmodule erstellt werden, in denen die Inhalte didaktisch aufbereitet zur Verfügung gestellt werden.

8.2.1.3 Wissenschaftlich fundiertes Transferkonzept für die Entwicklung und Erprobung von Transfermaßnahmen

Zum Transfer neuer Inhalte in die Praxis liegen verschiedene wissenschaftlich fundierte Theorien und Modelle vor, die für die Aktivitäten im TP 20 genutzt werden können. Ein Transferkonzept kann unter drei Aspekten gesehen werden:

- Zum einen ist es sinnvoll den Effekt durchgeführter Maßnahmen zu erfassen. Dies kann dadurch untersucht werden, wie entwickelte Transfermaßnahmen von den Zielgruppen wahrgenommen und bewertet werden. Hinweise für dieses Vorgehen finden sich z. B. in den Arbeiten von BALDWIN & FORD (1988) über den Effekt von Transfermaßnahmen.
- Als zweiter Aspekt können die Transfereffekte an sich untersucht werden. Dafür wird analysiert, inwieweit die Zielgruppe, die an Transfermaßnahmen teilgenommen hat, die erwünschte Einstellung, das gewünschte Verhalten oder die entsprechende Verhaltensabsicht zeigt. Theoretische Grundlagen hierfür sind das Technologie-Akzeptanz-Konzept von VENKATESH & DAVIS (2000) und das Modell des geplanten Verhaltens von AJZEN (1991).
- Der dritte Aspekt sind Untersuchungen zum Trendsetting (BATINIC et al. 2006). Diese Untersuchungen zeigten, dass im Diffusionsprozess Technologie bezogener Innovationen Trendsettern eine bedeutsame Rolle zukommt.

8.2.1.4 Unterstützung des Praxis-Forschungs-Dialogs innerhalb des Forschungsverbunds *pre agro*

Innerhalb eines interdisziplinären Forschungsverbundes ist eine Unterstützung des Praxis-Forschungs-Dialogs sinnvoll, um die Anwendernähe in den Teilprojekten zu unterstützen. Um die Transferinhalte zu definieren und auszugestalten, die für Transfermaßnahmen genutzt werden sollen, soll das TP 20 eine Vermittlerfunktion einnehmen. Nützlich sind hier vor allem Rückmeldungen aus der Praxis zu den einzelnen Bausteinen von Precision Farming. Die Ergebnisse der anderen Teilprojekte wie auch die Ergebnisse aus *pre agro* I (KTBL 2004, HUFNAGEL et al. 2004) können für die Entwicklung der

Transferinhalte genutzt werden. Hervorzuheben sind die Informationen des TP 3 zu Nutzen und Wirtschaftlichkeit von Precision Farming für die landwirtschaftliche Praxis (vgl. Kapitel 6.1).

8.2.2 Vorgehensweise

8.2.2.1 Situationsanalyse

Als erster Arbeitsschritt des TP 20 erfolgte 2005 eine Situationsanalyse in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl Landwirtschaftliche Kommunikations- und Beratungslehre der Universität Hohenheim und in Abstimmung mit den Akzeptanzuntersuchungen des TP 6 (vgl. Kapitel 8.1). Sie diente dazu, Defizite und Potenziale zu PF im Transfer und in der landwirtschaftlich ausgerichteten Ausbildung in Deutschland zu identifizieren. Der Schwerpunkt lag auf der landwirtschaftlichen Aus- und Weiterbildung. Die Situation in der agrartechnischen Aus- und Weiterbildung wurde aus Kapazitätsgründen nicht untersucht.

Die Situationsanalyse wurde als Expertenbefragung durchgeführt, um einen Überblick zu der Berücksichtigung von Precision Farming in den verschiedenen Stufen der Aus- und Fortbildung zu gewinnen. Dazu wurde ein Gesprächsleitfaden MAYRING (1993) entwickelt. Anhand dieses Leitfadens wurden 27 Professoren und Dozenten an Universitäten und Fachhochschulen befragt. Weiterhin wurden 26 Verantwortliche in Ministerien und Kammern sowie 37 Vertreter von Berufs- und Fachschulen befragt.

Die Lehrpläne der Berufs- und Fachschulen von zwölf Bundesländern (nicht berücksichtigt aufgrund fehlender Angebote Bremen, Hamburg, Berlin, Saarland) bezüglich der Inhalte zum Thema PF wurden gesichtet. Dafür wurden insbesondere Inhalte in den Fachbereichen Pflanzenproduktion, Agrartechnik, Betriebswirtschaft und EDV durchgesehen.

Im Bereich Weiterbildung und Beratung wurde anhand von Fragebögen ermittelt, ob und in welchem Umfang Precision Farming Gegenstand der Weiterbildung bzw. der Beratungsdienstleistungen ist. Im Einzelnen wurden dazu folgende Institutionen kontaktiert:

- sieben Fortbildungseinrichtungen für landwirtschaftliche Berater (Bayern, Brandenburg, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz, Hessen, Thüringen, Sachsen)
- zehn Lehreinrichtungen der überbetrieblichen Ausbildung
- 40 staatliche und private Berater bzw. Beratungsorganisationen.

Außerdem wurden in telefonischen Interviews oder mittels Fragebögen 22 Anbieterfirmen für Agrartechnik und Software befragt, in welcher Form und Umfang die Weitergabe von Kenntnissen zu Precision Farming in ihren Aktivitäten eine Rolle spielt.

8.2.2.2 Identifikation praxisrelevanter Anwendungstechniken

Zur Identifikation der Transferinhalte wurden die Anwendungstechniken des Precision Farming zusammengestellt, die in nennenswertem Umfang in der Landwirtschaft eingesetzt werden, als praxisreif anzusehen sind und somit vermittelt werden können. Dazu dienten Informationen des TP 3 „Wirtschaftlichkeit“, TP 6 „Akzeptanz“ und des TP 21 „Gesamtkoordination“, eine Literaturrecherche sowie Einschätzungen von Wissenschaftlern, Praktikern und Landtechnikern.

8.2.2.3 Erstellung von Informations- und Lehrmaterialien

Um einen Überblick über Veröffentlichungen über PF zu erhalten, wurden von 2005 – 2007 landwirtschaftliche Fachzeitschriften gesichtet und die betreffenden Artikel in einer Übersicht zusammengestellt. Hierbei wurde untersucht über welche PF-Themen in den Fachzeitschriften berichtet wurde und welche Informationen für die Erstellung von Informations- und Lehrmaterialien genutzt werden konnten. Im Einzelnen wurden folgende Zeitschriften durchgesehen: Agrartechnik, Bauernzeitung, DLG-Mitteilungen, dlz agrarmagazin, Getreide Magazin, Landtechnik, Neue Landwirtschaft, Profi und top agrar. Insgesamt wurden ca. 340 Fachartikel gefunden und verschlagwortet.

Um einen Überblick über die bereits vorhandenen Lehrmaterialien zu PF zu erhalten, wurden außerdem Lehrbücher, Spezialeditionen, Broschüren und von den Befragten im Rahmen der Situationsanalyse zur Verfügung gestellte Materialien zu PF gesichtet. Auch diese Unterlagen konnten bei der Erstellung von Lehrmaterialien genutzt werden.

Die veröffentlichten Transfermaterialien wurden von Experten mit Unterstützung durch die Mitarbeiter der KTBL-Geschäftsstelle erstellt. Erfahrungen von Landwirten und Betriebsbeispiele wurden einbezogen. Verschiedene Hersteller und Anbieter von PF-Techniken stellten für diese Veröffentlichungen Abbildungen und Informationsmaterialien zur Verfügung. Die erstellten Lernmodule wurden im Berufs- und Fachschulunterricht getestet und nach Maßgabe der Rückmeldungen angepasst.

8.2.2.4 Erprobung der Fortbildungskonzepte

Für die Erprobung von Fortbildungskonzepten wurden zum einen Zielgruppen, Transferinhalte und Lehrmethoden identifiziert und Partner für die Organisation und Durchführung von Fortbildungsveranstaltungen gewonnen. In Abstimmung mit diesen Partnern wurden die Fortbildungskonzepte weiter verfeinert. Zur Evaluierung der Veranstaltungen wurden Fragebögen entwickelt, mit denen ein Teilnehmerfeedback eingeholt und ausgewertet werden kann. Der Verlauf der jeweiligen Veranstaltung wurde dokumentiert und ebenfalls ausgewertet, so dass zielgruppenspezifische Fortbildungskonzepte erarbeitet werden konnten.

8.2.2.5 Entwicklung eines wissenschaftlich fundierten Transferkonzepts

Um genauer herauszufinden, welche Rolle das Wissen für die Absicht oder die Fähigkeit PF-Techniken einzusetzen hat, wurden verschiedene Aspekte von Wissen, Erfahrung, persönlichen Eigenschaften und Informationsverhalten untersucht. Dafür wurden in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Wirtschafts- und Sozialpsychologie der Universität Erlangen-Nürnberg ein Fragebogen entwickelt, mit dem im Frühjahr 2007 693 Nutzer des KTBL-Informationsangebots und weitere an PF interessierte Personen zu ihrem Informationsverhalten, ihrer Einschätzung der Informationen bzgl. Informationsgehalt zu PF und ihrer Nutzung bzw. Nutzungsabsicht von PF befragt wurden. 200 Fragebögen konnten ausgewertet werden, davon waren 96 Landwirte und 104 Experten ohne eigene Landwirtschaft. Dies entspricht keiner repräsentativen Stichprobe, was bei der Darstellung der Ergebnisse beachtet werden muss. Zu diesem Befragungszeitpunkt konnten nur die PF-spezifischen KTBL-Informationsangebote HUFNAGEL et al. (2004), HÜTER et al. (2005) berücksichtigt werden.

Die weiteren Transferaktivitäten wurden darüber hinaus durch eine zweite schriftliche Befragung Ende 2007 begleitet. Dafür wurden dieselben Personen, die sich dazu einverstanden erklärt hatten (n=99), mit einem ähnlichen Fragebogen befragt, um Veränderungen in ihrem Informationsverhalten und in

ihrer Informationsbewertung zu erfassen. Die Ergebnisse dieser Längsschnittuntersuchung werden 2008 erwartet.

8.2.2.6 Unterstützung des Praxis-Forschungs-Dialogs

Im Dezember 2007 wurde ein Expertenworkshop veranstaltet, an dem 29 Teilnehmer aus Industrie, Wissenschaft, Beratung und Praxis teilnahmen. Es wurden zum einen die technischen Hindernisse, die die Anwendung von PF erschweren wie auch der Bedarf an Information und Aufklärung zur Diskussion gestellt und die Meinung der Experten erfasst. Weiterführende Aktivitäten wurden angeregt und konkrete erste Schritte vereinbart.

8.2.3 Ergebnisse

8.2.3.1 Situationsanalyse

Durch die Situationsanalyse konnten die relevanten Zielgruppen definiert werden:

- Auszubildende im Agrarbereich
- Lehrkräfte an Fach- und Berufsschulen, die mit der Ausbildung im Bereich pflanzliche Produktion und Verfahrenstechnik betraut sind
- Leiter landwirtschaftlicher Betriebe, die an der Nutzung von PF interessiert sind oder die bereits einzelne Techniken einsetzen
- Mitarbeiter landwirtschaftlicher Betriebe, die im Precision Farming eingesetzte elektronisch gesteuerte Geräte und Maschinen bedienen
- Dienstleister und ihre Mitarbeiter, die spezifische Aufgaben im Bereich PF für den Landwirt übernehmen
- Berater, die über die Möglichkeiten des PF informieren und in der Anwendung unterstützen.

8.2.3.1.1 Berücksichtigung von Precision Farming in der landwirtschaftlichen Ausbildung

8.2.3.1.1.1 Berücksichtigung von PF in der Hochschulausbildung

An allen zehn Universitäten mit Agrarstudiengang ist PF in der Lehre seit Mitte der Neunzigerjahre repräsentiert, wenn auch in sehr unterschiedlichem Maß. Die Anzahl der angebotenen Semesterwochenstunden (SWS) reicht von 1 (Witzenhausen, Gießen) bis 20 (Hohenheim). Während in einigen Fällen PF in die Vorlesungen im Bereich Landtechnik (Halle, Witzenhausen, Gießen), landwirtschaftliche Betriebslehre (Halle) oder Agrarinformatik (Hohenheim) eingebunden ist, gibt es an sieben von zehn Universitäten spezielle Module zu PF, in denen das Thema als Wahl- oder Wahlpflichtfach vertiefend behandelt wird (siehe Tabelle 105).

Über das größte Lehrangebot verfügt die Universität Hohenheim, die allein fünf Module rund um PF und zusätzlich ein Modul Precision Livestock Farming anbietet, siehe Tabelle 107. An den Universitäten in Kiel, Berlin, Bonn, Hohenheim und Freising wird PF in der Lehre auch interdisziplinär behandelt. An diesen Lehrveranstaltungen sind in erster Linie die Fachgebiete Landtechnik und Pflanzenbau beteiligt, in einigen Fällen auch Bodenkunde, Pflanzenschutz, Pflanzenernährung und Fernerkundung.

Auch an den zehn **Fachhochschulen**, die über einen Agrarstudiengang verfügen, wird PF gelehrt, jedoch in geringerem Umfang als an den Universitäten (siehe Tabelle 106). Die Spanne reicht hier von 0,5 SWS in Bingen bis zu 8 SWS in Osnabrück; hier sind es 4 SWS im Bachelor- und 4 SWS im Masterstudiengang. Überwiegend ist Precision Farming Bestandteil der Lehrveranstaltungen im Bereich Land- und Verfahrenstechnik und wird als Sparte der Elektronik bzw. der Mess- und Regeltechnik angesehen. Teilweise wird es auch im Fachgebiet Pflanzenbau angesprochen. Nach den Ergebnissen der Befragungen wird Precision Farming an Fachhochschulen weniger differenziert und seltener interdisziplinär behandelt. Zudem werden die Anwendungstechniken auch in einer geringeren Breite dargestellt, als dies an Universitäten der Fall ist. Nur an drei Standorten, in Neubrandenburg, Osnabrück und Nürtingen, gibt es spezielle Module zu PF und eine interdisziplinäre Zusammenarbeit in der Lehre (siehe Tabelle 108).

Tabelle 105: Berücksichtigung von Precision Farming in der Lehre im Agrarstudiengang an Universitäten, Stand 2005

Universität	PF Lehrstoff seit (Jahr)	Fach	Zahl SWS mit PF	Studenten mit PF (pro Jahr)
Kiel	2000	WF/WPF	12	15 – 30
Rostock	2005	WPF	4	10
Berlin	2002	WF	6	18
Halle	2001	PF*	1	100
Göttingen	2000	WF	4	15 – 20
Witzenhausen	2004	PF*	5 % der Landtechnik	100
Bonn	1997	WPF	10	15 – 25
Gießen	1994	PF*	4	30
Hohenheim	2000	WF/WPF	20	15 – 20
Freising	1996	WPF	8	10

Erläuterungen: PF* = Precision Farming ist kein eigenes Fach, sondern wird in Pflichtfächern (Landtechnik, Pflanzenbau) behandelt; WF = Wahlfach; WPF = Wahlpflichtfach

Table 105: Inclusion of precision farming in university agricultural studies curricula 2005

University	PF teaching material since (year)	Course type	Contact hours per semester PF	PF students (per year)
Kiel	2000	WF/WPF	12	15 – 30
Rostock	2005	WPF	4	10
Berlin	2002	WF	6	18
Halle	2001	PF*	1	100
Göttingen	2000	WF	4	15 – 20
Witzenhausen	2004	PF*	5 % of agricultural engineering	100
Bonn	1997	WPF	10	15 – 25
Gießen	1994	PF*	4	30
Hohenheim	2000	WF/WPF	20	15 – 20
Freising	1996	WPF	8	10

PF* = Precision Farming not an individual course but included in compulsory courses (e.g. agricultural engineering, crop production); WF = elective course; WPF = compulsory optional subject

Tabelle 106: Berücksichtigung von Precision Farming in der Lehre im Agrarstudiengang an Fachhochschulen, Stand 2005

Fachhochschule	PF Lehrstoff seit (Jahr)	Fach	Zahl SWS mit PF	Anzahl Studenten
Kiel	2002	PF*	2	70
Neubrandenburg	2005	WPF	6	40
Anhalt	2004	PF*	4	50 – 70
Osnabrück	2001	WF/WPF	8	100 (Pflanzenbau)
Soest	1992	WPF	2	20
Bingen	2002	PF*	0,5	25 – 30
Nürtingen	2000	WPF	4	20
Triesdorf	2002	PF*	4	15 – 20
Weihenstephan	1995	WF	4	40
Dresden	1999	WF	15 % der Landtechnik	15 – 20

Erläuterungen: PF* = Precision Farming ist kein eigenes Fach, sondern wird in Pflichtfächern (Landtechnik, Pflanzenbau) behandelt; WF = Wahlfach; WPF = Wahlpflichtfach

Table 106: Inclusion of PF in technical university agricultural studies curricula 2005

Technical University	PF teaching material since (year)	Course type	Contact hours per semester PF	PF students (per year)
Kiel	2002	PF*	2	70
Neubrandenburg	2005	WPF	6	40
Anhalt	2004	PF*	4	50 – 70
Osnabrück	2001	WF/WPF	8	100 (crop production)
Soest	1992	WPF	2	20
Bingen	2002	PF*	0,5	25 – 30
Nürtingen	2000	WPF	4	20
Triesdorf	2002	PF*	4	15 – 20
Weihenstephan	1995	WF	4	40
Dresden	1999	WF	15 % of agricultural engineering	15 – 20

PF* = Precision farming not an individual course but included in compulsory courses (e.g. agricultural engineering, crop production); WF = elective course; WPF = compulsory optional subject

Tabelle 107: Spezielle Module im Agrarstudiengang zu Precision Farming an Universitäten, Stand 2005

Universität	Modulbezeichnung	Lehrbeteiligung
Kiel	Verfahren des Precision Farming	Landtechnik, Pflanzenernährung und Bodenkunde
	Bodeninformatik (BI) und Präziser Landbau (PL)	Pflanzenernährung und Bodenkunde
Rostock	Geoinformatik und Precision Farming	Geodäsie und Geoinformatik
Berlin	Rechnergestützte Landbewirtschaftung (Precision Farming)	Precision Farming, Agrartechnik
	Innovative Bewirtschaftungsstrategien zum Ressourcenschutz	Precision Farming
Göttingen	Elektronikeinsatz in der Pflanzenproduktion	Agrartechnik
Bonn	Präzisionspflanzenbau	Pflanzenbau, Agrartechnik
	DFG-Graduiertenkolleg 722: Informationstechniken zur Präzisierung des Pflanzenbaus	Pflanzenkrankheiten, Pflanzenbau, Agrartechnik
Hohenheim	Precision Farming	Agrartechnik
	Automatisierung landwirtschaftlicher Verfahren	Agrartechnik
	Precision Farming im Pflanzenschutz	Phytomedizin
	Entscheidungsmodelle, Prognoseysteme und Warndienste im Pflanzenschutz	Phytomedizin
	GIS im Pflanzenschutz	Phytomedizin
	Precision Livestock Farming	Agrartechnik, Agrarinformatik
TUM Freising	Spezielle Techniken der Landnutzung	Technik im Pflanzenbau
	Site-specific farming	Technik im Pflanzenbau, Pflanzenbau, Pflanzenernährung

Table 107: Special PF modules in university agricultural studies curricula 2005

University	Module title	Other subjects involved
Kiel	Precision Farming Processes	Agricultural Engineering, Crop Nutrition and soil science
	Soil Science (BI) and More Precise Farming (PL)	Plant Nutrition and Soil Science
Rostock	Geoinformatics and Precision Farming	Geodesy and Geoinformatics
Berlin	Computer-supported Farming (Precision Farming)	Precision Farming, Agricultural Technology
	Innovative Management Strategies for Protecting Resources	Precision Farming
Göttingen	Application of Electronics in Crop Production	Agricultural Engineering
Bonn	Precision Crop Production	Crop Production, Agricultural Engineering
	DFG-post graduate programme 722: Information Technology for More Precision in Crop Production	Crop Diseases, Crop Production, Agricultural Engineering
Hohenheim	Precision Farming	Agricultural Engineering
	Automation of Agricultural Processes	Agricultural Engineering
	Precision Farming in Plant Protection	Phytomedicine
	Decision Aid Models, Prognosis Systems and Warning Services in Plant Protection	Phytomedicine
	GIS in Plant Protection	Phytomedicine
	Precision Livestock Farming	Agricultural Engineering, Agricultural Informatics
TUM Freising	Special Technologies for Land Usage	Technology in Crop Production
	Site-specific Farming	Technology in Crop Production, Crop Production, Plant Nutrition

Tabelle 108: Spezielle Module im Agrarstudiengang zu Precision Farming an Fachhochschulen, Stand 2005

Fachhochschule	Modulbezeichnung	Lehrbeteiligung
Osnabrück	Precision Farming und spezielle Verfahrenstechnik der pflanzlichen Erzeugung	Umweltschonende Pflanzenproduktion, EDV/Statistik
	Nachhaltige Landnutzungssysteme	Umweltschonende Pflanzenproduktion
	Angewandte Informatik	EDV/Statistik
Brandenburg	Precision Farming	Landtechnik, Pflanzenbau, Pflanzenernährung
Nürtingen	Precision Farming	Landtechnik

Table 108: Special modules for PF at technical universities in 2005

Technical University	Module title	Other subjects involved
Osnabrück	Precision Farming and Special Process Engineering in Crop Production	Environmentally-friendly Crop Production, EDP/Statistics
	Sustainable Land Usage Systems	Environmentally-friendly Crop Production
	Applied Informatics	EDP/Statistics
Brandenburg	Precision Farming	Agricultural Engineering, Crop Production, Plant Nutrition
Nürtingen	Precision Farming	Agricultural Engineering

Nach Aussagen der 27 befragten Hochschullehrer verfügten die Studenten 2005 über keine bis geringe Vorkenntnisse zu PF, es sei denn, sie hatten sich bereits in der Praxis mit dieser Thematik beschäftigt. Aus der Tabelle 105 und Tabelle 106 wird ersichtlich, dass jedes Jahr zwischen 300 und 380 Studenten an den Universitäten und 300 bis 340 Studenten an den Fachhochschulen über Themen des PF informiert werden.

In den Hochschulen wurden Unterrichtsmaterialien, wie z. B. Foliensätze, eingesetzt, die die Dozenten überwiegend selbst erarbeitet hatten und die den Studenten als Handout, auf CD oder zum Download im Internet zur Verfügung standen. Alle Hochschullehrer, mit einer Ausnahme, halten PF für ein wichtiges Thema, dessen Bedeutung in Zukunft noch zunehmen wird. Diese Aussagen werden dadurch unterstützt, dass das Lehrangebot zu PF in den vergangenen Jahren zugenommen hat.

8.2.3.1.1.2 Berücksichtigung von PF im Unterricht an Berufs- und Fachschulen

2005 wurde in fast allen Bundesländern an den **Fachschulen** über die Anwendungsmöglichkeiten von PF vor allem in den Fächern Pflanzenproduktion und Agrartechnik, z. B. im Zusammenhang mit den Themen Düngung und Erntetechnik, informiert (siehe Tabelle 109).

In fünf Bundesländern wurde 2005 das Thema PF im Lehrplan der Fachschulen ausdrücklich erwähnt:

- in Sachsen für die Fachschule für Technik, Fachrichtung Agrartechnik, Schwerpunkt Landbau im Fach Pflanzliche Erzeugung und Vermarktung in der Klassenstufe 1. Lehrplaneinheit 3: Pflanzenernährung und Düngung mit insgesamt 30 Unterrichtsstunden zum Thema Anwendungs- und Ausbringungsverfahren: Anwendung von Geoinformationssystemen.

- in Schleswig Holstein für die Höhere Landbauschule zum Betriebswirt für Landwirtschaft im Fach Pflanzliche Erzeugung mit Verfahrenstechnik:
 - Lernabschnitt 5: Pflanzenernährung und Düngung, 5.3: Vertrautheit mit zeitgemäßen Methoden zur Ermittlung des Nährstoffbedarfs mit einem Zeitrichtwert von 2 Stunden: Satellitentechnik (Global Position System)
 - Lernabschnitt 7: Verfahrenstechnik, 7.5: Überblick über die Datentechnik und deren Nutzbarkeit im landwirtschaftlichen Betrieb – Innovative Datennutzungssysteme, GPS

- in Bayern für die Höhere Landbauschule zum Betriebswirt für Landwirtschaft im Fach Produktion und Unternehmensführung/Management der Pflanzenproduktion. Wahlweise zu behandelndes Lernfeld 13: Teilflächenspezifische Bewirtschaftung und Gewannebewirtschaftung mit einer Richtstundenzahl von 15 Stunden

- in Niedersachsen für die Landwirtschaftsschule, Fach Betriebswirtschaft, Handlungsfeld 3: Innerbetriebliche Organisation und Dokumentation, Konzeption einer Grundmechanisierung – Elektronik- und Datenübertragungssysteme für spezifische Einsatzbedingungen

- in Nordrhein-Westfalen
 - an der Landwirtschaftsschule Fach Agrartechnik, Handlungsbereich Prozessüberwachung, Messgrößen, Messwerterfassung und -übertragung
 - an der Höheren Landbauschule Fach Datenverarbeitung: Handlungsbereich EDV Einsatz im Pflanzenbau – Bestandesführung als eine komplexe EDV Anwendung.

In der Hälfte der Bundesländer wird im Lehrplan die Zusammenarbeit mit der DEULA oder mit anderen Einrichtungen wie den Landmaschinenschulen oder Maschinenringen gefordert. In diesem Rahmen könnte über die Möglichkeiten und den Einsatz der Technik zum Thema PF informiert werden. Einige Bundesländer sehen im Fachschulunterricht fächerübergreifende Projektarbeit vor, in der PF integriert werden kann.

Auch ansonsten lassen sich in den vorliegenden Lehrplänen Inhalte finden, die die Möglichkeit bieten, das Thema PF zu integrieren. Im Bereich Pflanzenproduktion sind dies z. B. die Themen umweltgerechte Düngung und Produktion, integrierter Pflanzenschutz, Produktions- und Verfahrenstechnik der verschiedenen Kulturen. Im Bereich Agrartechnik ist eine Integration bei Themen wie Mechanisierung der Außenwirtschaft, besondere landtechnische Schwerpunkte, aktuelle Technik und Mechanisierung oder Prozessüberwachung denkbar. Im Bereich Betriebswirtschaftslehre können Verfahren zum PF beim Vergleich von Arbeitsverfahren, Verfahrenskosten und Rentabilitätsüberlegungen einbezogen werden. In einigen Fachschulen wird die Datenverarbeitung als eigenes Fach unterrichtet. Auch hier ist es möglich die elektronische Datenverarbeitung unter dem Gesichtspunkt PF anzusprechen.

Eine Änderung der Lehrpläne hielt die Hälfte der Verantwortlichen für die Fachschulen nicht für notwendig. Begründet wurde es zum Teil damit, dass die Lehrpläne flexibel genug sind, um das Thema PF in den Unterricht zu integrieren oder das Thema würde bereits ausreichend in den Lehrplänen berücksichtigt. Interesse das Thema stärker im Unterricht zu behandeln, wurde vor allem in einigen neuen Bundesländern geäußert, wofür allerdings das entsprechende Unterrichtsmaterial notwendig sei.

Das Thema PF wurde 2005 in den Lehrplänen der **Berufsschulen** nicht erwähnt (siehe Tabelle 109). In vier Bundesländern wurde der Rahmenlehrplan der Kultusministerkonferenz direkt umgesetzt, in

dem das Thema PF nicht erwähnt wird. In den anderen Bundesländern gab es jeweils landeseigene Lehrpläne, die auf diesem Rahmenlehrplan aufbauen.

In einigen Bundesländern wurde PF im Unterricht oder auf Exkursionen angesprochen. Themen sind dabei die Anwendung von PF im Bereich der Düngung und des Pflanzenschutzes. Als Gründe dafür, dass in einigen Bundesländern PF nicht an der Berufsschule angesprochen wurde, wurden genannt, dass das Thema zu spezifisch und zu viel Hintergrundwissen erforderlich sei, außerdem sei es im Rahmenlehrplan nicht erwähnt.

Unterrichtsthemen an Berufsschulen, in die PF integriert werden könnte, sind zum einen die Pflanzenproduktion unter dem Stichpunkt umweltschonende und wirtschaftliche Düngung. Zum anderen kann PF in der Agrartechnik bei der Besprechung von Schlepper-, Bestell-, Ernte-, oder Düngetechnik vorgestellt werden. Dies könnte stattfinden im Rahmen von Fallstudien oder Projektunterricht, Ausstellungen und Präsentationen, Wahlthemen oder Wahlpflichtunterricht.

Die Interviewpartner lehnten es für die Berufsschulen teilweise ab, dass Thema PF in den Unterricht oder die Lehrpläne zu integrieren, da es für die Berufsschüler zu schwierig sei oder der Lehrplan ihrer Ansicht nach bereits überfüllt wäre. Das Thema wurde als geeigneter für den Fachschulbereich angesehen, da zu diesem Zeitpunkt bereits mehr Grundwissen vorhanden ist. Als Schwierigkeiten wurden vor allem die fehlende Technik zum Anschauen und fehlendes Wissen bei den Lehrern genannt. Als Lösungsmöglichkeiten wurden Lehrerfortbildungen, Bereitstellung von geeignetem Lehrmaterial und eine Legitimation durch den Lehrplan, das Thema zu behandeln, angesehen. Einige Interviewpartner hielten andererseits eine Lehrplanänderung nicht für notwendig, da die Lehrpläne genügend Freiraum ließen, das Thema PF bei Bedarf zu integrieren. Bereitschaft und Interesse PF stärker im Unterricht der Berufsschule zu berücksichtigen, äußerten vor allem die Verantwortlichen in den östlichen Bundesländern.

Ab Sommer 2005 wurde bundesweit ein neuer Ausbildungsberuf zur Fachkraft für Agrarservice eingerichtet, dessen Arbeitsbereich insbesondere bei Maschinenringen und Lohnunternehmern liegt. Hier ist eine Integration von PF in den Unterricht vorgesehen.

Tabelle 109: Übersicht über die aktuelle Bedeutung von PF im Unterricht an den Berufs- und Fachschulen in den einzelnen Bundesländern, Stand 2005

Schultyp/ Bundesland	Berufsschulunterricht			Fachschulunterricht		
	im Lehrplan erwähnt	Behandlung im Unterricht	Integration in den Unterricht möglich	im Lehrplan erwähnt	Behandlung im Unterricht	Integration in den Unterricht möglich
Brandenburg	0	0	1	0	1	1
Baden-Württemberg	0	1	1	0	1	1
Bayern	0	1	1	1	1	1
Hessen	0	k. A.	1	0	1	1
Mecklenburg- Vorpommern	0	1	1	0	k.A.	1
Niedersachsen	0	0	1	1	1	1
Nordrhein- Westfalen	0	1	1	1	1	1
Rheinland-Pfalz	0	0	1	0	0	1
Schleswig-Holstein	0	k. A.	1	1	1	1
Sachsen	0	1	1	1	1	1
Sachsen-Anhalt	0	1	1	0	1	1
Thüringen	0	1	1	0	1	1

0=nein, 1=ja, k. A.: keine Angaben

Table 109: Overview of PF in curricula at vocational and technical schools in German states 2005

School type/ State	Vocational school lessons			Technical school lessons		
	mentioned in curriculum	covered in lessons	Integration in lessons possible	mentioned in curriculum	covered in lessons	Integration in lessons possible
Brandenburg	0	0	1	0	1	1
Baden- Württemberg	0	1	1	0	1	1
Bavaria	0	1	1	1	1	1
Hesse	0	n.r.	1	0	1	1
Mecklenburg- Vorpommern	0	1	1	0	n.r.	1
Lower Saxony	0	0	1	1	1	1
North Rhine West- phalia	0	1	1	1	1	1
Rhineland Palatina- te	0	0	1	0	0	1
Schleswig-Holstein	0	n.r.	1	1	1	1
Saxony	0	1	1	1	1	1
Saxony Anhalt	0	1	1	0	1	1
Thuringia	0	1	1	0	1	1

0=no, 1= yes, n.r.: no response

8.2.3.1.2 Berücksichtigung von Precision Farming in Beratungsangeboten

2005 konnten nur sehr wenige **private Berater** ausfindig gemacht werden, die zum Thema PF beraten, weil diese vor allem in betriebswirtschaftlichen und steuerlichen Angelegenheiten aktiv sind. In Schleswig-Holstein, Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern konnten private Berater befragt werden, die bei Bedarf über PF informieren, sei es in persönlichen Gesprächen oder in speziellen Vorträgen. Die wichtigsten Inhalte waren GPS-Anwendungen, Ertragskartierung, teilflächenspezifische Düngung, Parallelfahrssysteme und die elektronische Dokumentation von Pflanzenbaumaßnahmen.

In der **Offizialberatung** wurde PF fallweise aufgegriffen, gehörte aber nicht zu den Inhalten, die in allen Bundesländern regelmäßig oder systematisch vermittelt werden. Nach Aussage vieler Befragter nahm die Beratung 2005 die notwendige Anpassung der Betriebe an die Agrarreform der Europäischen Union den größten Raum ein. Zudem war zu beobachten, dass sich die Offizialberatung, dort wo sie überhaupt noch in nennenswertem Umfang existierte, immer mehr auf hoheitliche Aufgaben zurückzog und praktische Produktionsthemen kaum bis gar nicht berücksichtigte.

In Einzelfällen existieren spezielle Beratungskonzepte, so unterstützte z. B. das Institut für Boden und Umwelt der LUFA Nord-West Einsteiger auf ihrem Weg in PF. Zusammen mit der Landwirtschaftskammer Niedersachsen bot es Beratung zu Hofbodenkarte, Bodenuntersuchung und Düngung an.

Generell besteht in der Beratung ein Bedarf für gezielt aufbereitete Informationen, die den Nutzen für die Anwender klar kenntlich machen und Antworten liefern auf die Frage: Was ist tatsächlich machbar und rechnet sich dies für den landwirtschaftlichen Betrieb?

Die 2005 befragten Berater äußerten die Meinung, dass der Informationsbedarf der Landwirte bezüglich PF nicht sehr groß sei. Regional hätte dieses Thema eher in den neuen Bundesländern eine Bedeutung. Ein wachsendes Interesse sei in Niedersachsen und Schleswig-Holstein festzustellen, während in Hessen, Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg und Bayern das Thema in der Beratung so gut wie keine Rolle spiele. Als Grund dafür wurden die kleineren Strukturen der Familienbetriebe im Süden

Deutschlands angeführt, die über keine ausreichende Flächenausstattung verfügen. Dennoch rechneten fast alle Befragten im Bereich Beratung mit einer zunehmenden Bedeutung von PF in der Zukunft.

8.2.3.1.3 Berücksichtigung von Precision Farming in Weiterbildungsangeboten

8.2.3.1.3.1 Berücksichtigung von Precision Farming in Weiterbildungsangeboten für Landwirte

In den bestehenden Einrichtungen bzw. den Lehranstalten der **überbetrieblichen Aus- und Weiterbildung** in Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Hessen fanden 2005 noch keine Weiterbildungsveranstaltungen zu PF statt. Dagegen boten zwei Lehranstalten in Sachsen sowie drei von vier Landmaschinenschulen in Bayern gelegentlich Veranstaltungen dazu an. Letztere hatten seit 2000 verschiedene Anwendungstechniken von PF in ihre Bildungsmaßnahmen integriert. Zu nennen sind hier GPS-Einsatz, Lenkhilfen und Parallelfahrssysteme, N-Sensor und Möglichkeiten der elektronischen Dokumentation. Nach Angabe der Befragten nahmen pro Jahr etwa 600 Teilnehmer an diesen Kursen teil, vorwiegend waren dies Auszubildende bzw. junge Landwirte. In Schleswig-Holstein bot die DEULA Rendsburg Kurse zu PF an, an denen pro Jahr ca. 50 Praktiker teilnahmen. 2005 fand an der DEULA Rendsburg außerdem ein Fortbildungskurs zu PF für Kursleiter/Dozenten anderer DEULA-Standorte statt.

Eine große Bedeutung in der Vermittlung von Precision Farming haben die **Anbieter von Technik und Software**, die eigene Informationsveranstaltungen durchführen oder den Verkauf ihrer Produkte mit einer Einweisung/Schulung koppeln. Art und Umfang der Fortbildungen ist abhängig von der Bedeutung von PF in eigenen geschäftlichen Aktivitäten. Von vielen Unternehmen werden in der Regel zahlreiche Halbtages- oder Tagesveranstaltungen durchgeführt, die pro Jahr in der Summe mehrere tausend Teilnehmer verzeichnen. Größere Maschinenhersteller setzen mehr auf die Schulung ihrer Vertriebspartner (train the trainer). Bei einer Reihe der befragten Unternehmen ist eine grundlegende Einweisung bzw. ein Anwendungstraining meist im Kaufpreis eingeschlossen. Bei Raiffeisen Westfalen/Münsterland (Agravis) hat man versucht, den Verkauf von Landtechnik zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung mit Beratungsleistungen zu koppeln. Obwohl dieser Ansatz richtig erscheint, konnte sich das Angebot am Markt nicht durchsetzen.

8.2.3.1.3.2 Berücksichtigung von Precision Farming in der Lehrerfortbildung

Den meisten Befragten waren keine Lehrerfortbildungsangebote im Bereich der Berufs- und Fachschulen zum Thema PF bekannt. Nur in Bayern, Hessen, Sachsen-Anhalt und Thüringen gab es diese Angebote.

Für die Zukunft wurden Lehrerfortbildungen zum Thema PF als sinnvoll eingeschätzt. Dazu wurden folgende Anmerkungen gemacht: Ein gemeinsames Angebot für Lehrer und Berater sollte angeboten werden. Es ist zu überlegen, inwieweit Firmen in die Fortbildung integriert werden können, um die Kosten zu senken. In Sachsen gibt es z. B. einen Tag der grünen Berufe, der auch der Lehrerfortbildung dient, an dem das Thema aufgegriffen werden könnte. Ein Erfahrungsaustausch zwischen den Bundesländern zum Thema PF im Unterricht wurde befürwortet. Im Rahmen der Fortbildungen sollten die erarbeiteten Unterrichtskonzepte und -materialien zum Thema PF vorgestellt werden.

Durchweg äußerten alle Befragten in allen Bundesländern, dass sie Weiterbildungsangebote für Lehrer und Officialberater unterstützen würden sowie erstellte Lehrmaterialien zu PF diesem Personenkreis zur Verfügung stellen würden.

8.2.3.1.3.3 Berücksichtigung von Precision Farming in der Beraterfortbildung

Precision Farming wurde in der Fortbildung der Officialberatung 2005 nur fallweise aufgegriffen und gehörte nicht zu den Inhalten, die in allen Bundesländern regelmäßig oder systematisch vermittelt wurden. Spezielle Fortbildungen für Berater wurden 2005 in Form von ein- bis zweitägigen Fachtagungen, Schwerpunktseminaren oder einzelnen Vorträgen an fünf Einrichtungen durchgeführt. Daran haben zuletzt etwa 300 Berater pro Jahr teilgenommen. Die Teilnahme daran ist für die meisten Berater nicht verpflichtend.

Ein Bedarf an Materialien besteht besonders hinsichtlich Foliensätzen, die für Unterricht und Vorträge verwendet werden können. Die meisten Befragten sehen keine Möglichkeiten, selbst diese Materialien zu erstellen.

Tabelle 110: Berücksichtigung von PF in der Fortbildung der Officialberater

Bundesland	Institution	PF in anderen Fortbildungsthemen integriert	Spezielle Fortbildungen zu PF	Teilnehmer	Teilnahme für Berater verpflichtend
Bayern	FÜAK Landshut	ja	nein	Pflanzenbauberater, LKP-Feldbetreuer	nein
Brandenburg	BLAK	ja	ja	Berater	nein
Baden-Württemberg	LEL Schwäbisch Gmünd	ja	nein	Berater	nein
Rheinland-Pfalz	DLR	ja	nein	k. A.	k. A.
Thüringen	Staatl. Bildsem. Guthmannshausen	nein	nein	k. A.	k. A.
Sachsen	Staatl. FBS Reinhardtsgrimma	ja	ja	Berater	ja
Hessen	LLH, Rauischholzhausen	ja	ja	Pflanzenbauberater	nein

Table 110: Inclusion of PF instruction in further education of official advisors

Federal state	Institution	PF integrated in other further education themes	Special further education in PF	Participants	Participation mandatory for advisers
Bavaria	FÜAK Landshut	Yes	no	Crop production advisors, LKP (State) field organizers	no
Brandenburg	BLAK	Yes	yes	Advisor	no
Baden-Württemberg	LEL Schwäbisch Gmünd	Yes	no	Advisor	no
Rhineland Palatinate	DLR	Yes	no	n. r.	n.r.
Thuringia	Staatl. Bildsem. Guthmannshausen	No	no	n. r.	n.r.
Saxony	Staatl. FBS Reinhardtsgrimma	Yes	yes	Advisor	yes
Hesse	LLH, Rauischholzhausen	Yes	yes	Plant production advisor	no

8.2.3.1.4 Kontaktaufnahme zu Kooperationspartnern für die Erprobung von Transfermaßnahmen

Neben der Stuserhebung zu Precision Farming in Aus- und Weiterbildung konnten während der Befragungen zur Situationsanalyse auch mögliche Kooperationspartner für Transfermaßnahmen in Ausbildung und Beratung gewonnen werden. Zu nennen sind hier vor allem:

- die Landwirtschaftskammern Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen für Weiterbildungsangebote für Landwirte und Mitarbeiter landwirtschaftlicher Betriebe
- das Bayerische Kultusministerium für Lehrerfortbildungen
- das Berufsschulzentrum in Schwerstedt/Thüringen für Maßnahmen zur Integration von Precision Farming in den Unterricht an Berufsschulen
- die Fachschule für Agrarwirtschaft in Herford und die Landwirtschaftliche Fachschule Darmstadt für die Entwicklung und Erprobung von Unterrichtsmodulen
- DEULA Rendsburg für Fortbildungsmaßnahmen von Praktikern, Beratern und Lehrern
- LUFA Nord-West für Beratung zum Einstieg in Precision Farming
- die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft für Fortbildungsmaßnahmen für landwirtschaftliche Berater
- Bundesverband der Maschinenringe und das Kuratorium Bayerischer Maschinen- und Betriebshilfsringe für Informationen zum überbetrieblichen Maschineneinsatz
- Bundesverband der Lohnunternehmer für Weiterbildungsangebote für Lohnunternehmer und ihre Mitarbeiter.

8.2.3.2 Identifikation praxisrelevanter Techniken

Für die Vermittlung von Precision Farming sind praxisreife und bereits im Einsatz befindliche Techniken von entscheidender Bedeutung. In Abstimmung mit anderen Teilprojekten wurden diese Bausteine als relevant identifiziert. Es wurden acht Bausteine in unterschiedlicher Intensität für den Transfer aufbereitet (Tabelle 111).

Begründung der Themenauswahl:

Kleincomputer (PDA) werden verschiedentlich eingesetzt, z. B. für die Flächenvermessung. Auf sehr großes Interesse stoßen zurzeit **Parallelfahrssysteme**, die nicht nur die Arbeit erleichtern, sondern auch dazu dienen Überlappungen in der Bewirtschaftung zu vermeiden und dadurch Produktionsmittel wie Dünger oder Diesel einsparen. Die **Ertragskartierung im Getreidebau** gehört bei Mähdreschern der höheren Leistungsklassen heute zur Standardausstattung. Pro Jahr werden in Deutschland zurzeit etwa 800 Mähdrescher mit Ertragsmesssystemen verkauft. Zu den wichtigen Anwendungstechniken in der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung gehört auch die **teilflächenspezifische Stickstoffdüngung** bzw. Kalkung anhand von Applikationskarten oder mithilfe von Sensoren. Da deutschlandweit von 200 Yara-N-Sensoren und über 40 Crop-Meter-Geräten (Pendelsensor) im praktischen Einsatz ausgegangen werden kann, wird hier ein wachsendes Interesse angenommen.

Eine noch nicht praxisrelevante Technik ist die Regulierung der Bearbeitungstiefe in der **Bodenbearbeitung**. In *pre agro I* wurde zusammen mit der Firma Amazone ein entsprechender Grubber (Centaur) entwickelt (SOMMER & VOBHENRICH 2004), der jedoch erst in fünf Exemplaren im Einsatz ist. Obwohl es die technischen Voraussetzungen zur Differenzierung der **Aussaatmengen** und zur Variation der Ausbringungsmengen im **Pflanzenschutz** gibt, werden sie in der teilflächenspezifischen Be-

wirtschaftung zurzeit noch wenig genutzt. Erste verfügbare Systeme zur **Ertragskartierung in der Futterernte und bei Hackfrüchten** sind ebenfalls noch nicht verbreitet.

Tabelle 111: Berücksichtigung der als praxisrelevant identifizierten Bausteine von PF in den verschiedenen Transfermaßnahmen

Baustein von PF	Thema in Fortbildungsveranstaltungen	Heft	Lernmodul
Parallelfahrssysteme	x	x	x
Kleincomputer (PDA) für Dokumentation und einfache Precision Farming-Anwendungen in der Außenwirtschaft	x	x	x
Teilflächenspezifische Düngung mit Karten und Sensorgestützten Online-Verfahren	x	x	x
Ertragsmessung im Getreideanbau und Auswertung von Ertragskarten	x	x	x
Erfahrungen aus der landwirtschaftlichen Praxis zu Nutzen und Wirtschaftlichkeit von Precision Farming	x	x	-
Dokumentation der pflanzenbaulichen Bewirtschaftungsmaßnahmen	x	-	-
Verfahren und Methoden zur Erfassung von Standortunterschieden	-	-	-
Differenzierte Verfahren für Bodenbearbeitung, Saat und Pflanzenschutz	-	-	-

x = wurde berücksichtigt, - = wurde nicht berücksichtigt

Table 111: Inclusion of PF subjects identified as relevant to practical farming in the various knowledge transfer measures

PF subjects	Subject in further education courses	Textbook	Curriculum module
Parallel tracking systems	x	x	x
PDA's for documentation and simple field PF applications	x	x	x
Area-specific fertilising with field maps and sensor-supported online systems	x	x	x
Yield measurements in cereal cropping and evaluation of yield maps	x	x	x
Exploiting practical agricultural experience for PF application and financial efficiency	x	x	-
Documentation of crop management methods	x	-	-
Processes and methods for recording spatial differences	-	-	-
Differentiated procedures for soil cultivation, drilling and crop protection	-	-	-

x = taken account of, - = not taken account of

8.2.3.3 Konzeption, Entwicklung und Erprobung von Informations- und Lehrmaterialien zu PF

Da sowohl die Ergebnisse des TP 6 „Akzeptanz“ (vgl. Kapitel 8.1) wie auch die Ergebnisse im Rahmen der Situationsanalyse den Bedarf an gut verständlichem Informationsmaterial zu PF aufzeigten (siehe Kapitel 8.2.3.2), wurde ein Heft entwickelt, das einen Überblick über die PF-Techniken mit Praxisbeispielen bietet (HÜTER et al. 2005) sowie eine ergänzende PowerPoint-Präsentation (HÜTER & KLÖBLE 2007). Vier weitere Hefte, in denen die wichtigsten PF Bausteine ausführlicher dargestellt wurden, konnten 2007 fertig gestellt werden (Tabelle 112). Die Vorgehensweise bei der Erstellung der Informationsmaterialien wurde im Kapitel 8.2.2.3 dargestellt.

Darüber hinaus hatten Vertreter der Berufs- und Fachschulen einen Bedarf an direkt einsetzbaren Lernmodulen geäußert. Auf Basis der Informationsmaterialien wurden korrespondierend zu den Hef-

ten von Experten Lernmodule zu vier Themen entwickelt. Die erstellten Lernmodule sind im Unterricht erprobt worden und auf Basis dieser Rückmeldungen angepasst. In den Lernmodulen wird das Thema didaktisch aufbereitet beschrieben. Es werden Hinweise zur Integration des Themas in den Lehrplan und zur Unterrichtsmethodik gegeben sowie Übungsblätter und Lernkontrollen dargestellt. Es ist auch jeweils eine eigenständig nutzbare PowerPoint-Präsentation zu jedem der vier Themen in das jeweilige Lernmodul integriert. Zum Thema Parallelfahrssysteme wurde darüber hinaus ein E-Learning-Modul erstellt.

Tabelle 112: Im Rahmen des Transferprojekts erstellte Lehrmaterialien zu PF

Titel des Hefts	Autoren	Themen	Lernmodul
Elektronik, Satelliten und Co. – Precision Farming in der Praxis	HÜTER et al. (2005)	Überblick über PF-Techniken, Praxisbeispiele	PowerPoint-Präsentation (HÜTER, KLÖBLE 2007)
Parallelfahrssysteme	NIEMANN et al. (2007)	Funktionen, Kosten und Nutzen von Parallelfahrssystemen, Praxisbeispiele	Lernmodul mit PowerPoint- Präsentation und E-Learningmodul in Vorbereitung
Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung	RECKLEBEN et al. (2007)	Offline- und Online Systeme, Kosten und Nutzen, Praxisbeispiele	Lernmodul mit PowerPoint- Präsentation in Vorbereitung
Ertragskartierung im Getreidebau	NOACK (2007)	Ziele, Vorgehensweise, Kosten und Nutzen, Praxisbeispiele	Lernmodul mit PowerPoint- Präsentation in Vorbereitung
Einsatz von PDA's in der Außenwirtschaft	DRANGMEISTER (2007)	Funktionen und Einsatzbereiche, Kosten	Lernmodul mit PowerPoint- Präsentation in Vorbereitung

Table 112: PF teaching materials developed for knowledge transfer projects

Textbook title	Authors	Themes	Module presentation
Elektronik, Satelliten und Co. – Precision Farming in der Praxis	HÜTER et al. (2005)	PF overview; Technologies, examples in practice	PowerPoint presentation (HÜTER, KLÖBLE 2007)
Parallelfahrssysteme	NIEMANN et al. (2007)	Functions, costs and applications of parallel tracking systems, examples in practice	Teaching module with PowerPoint presentation and e-learning module in preparation
Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung	RECKLEBEN et al. (2007)	Offline and online systems; costs and applications, examples in practice	Teaching module with PowerPoint presentation in preparation
Ertragskartierung im Getreidebau	NOACK (2007)	Targets, methods, costs and applications, examples in practice	Teaching module with PowerPoint presentation in preparation
Einsatz von PDA's in der Außenwirtschaft	DRANGMEISTER (2007)	Functions and operational areas, costs	Teaching module with PowerPoint presentation in preparation

8.2.3.4 Konzeption, Entwicklung und Erprobung von Fortbildungskonzepten zu PF für verschiedene Zielgruppen

Am effektivsten, aber auch am aufwändigsten sind Fortbildungsveranstaltungen, wenn der Transferprozess einer Technologie unterstützt werden soll (ALBRECHT 1974). Das KTBL führte in Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnerinstitutionen 16 Fortbildungsveranstaltungen zu den praxisrelevanten Bausteinen durch (Tabelle 113). Es handelte sich um vorwiegend eintägige Veranstaltungen. Die Partner waren die Agrarverwaltung, Industriefirmen oder Organisationen der überbetrieblichen Maschinenverwendung. Zwei Seminare für Landwirte mussten aus mangelndem Interesse abgesagt werden. Die drei Fortbildungen für Berufs- und Fachschullehrer wurden in Zusammenarbeit mit den zuständigen Einrichtungen für Lehrerfortbildungen durchgeführt, die diese Veranstaltungen als berufliche Weiterbildung anerkannten. Insgesamt haben 511 Personen an den Fortbildungsveranstaltungen teilgenommen. 134 Personen waren Lehrer aus 11 verschiedenen Bundesländern. Zwei der drei Lehrer-

fortbildungen wurden in Zusammenarbeit mit Claas und Agrocom, Harsewinkel, und Amazone, Leipzig, durchgeführt.

Die meisten Teilnehmer schätzten ihre Vorkenntnis zu PF selbst als gering ein. Die Veranstaltungen wurden durchweg positiv bezüglich der Inhalte und der Darstellungsweise beurteilt. Auch äußerten die Teilnehmer, dass sie wertvolle Informationen gewonnen hatten und ein solches Seminar an ihre Berufskollegen empfehlen würden.

Tabelle 113: Durchgeführte Veranstaltungen zum Transfer von Precision Farming

Thema	Ort	Termin	Zielgruppe	Anzahl Teilnehmer
Ackerschlagkartei – was muss sie leisten, was darf sie kosten?	Dorfmark	08.12.2005	Junglandwirte	28
Sensor- und Navigationstechnik in der landwirtschaftlichen Praxis	Ostheide/ Barendorf	04.01.2006	Landwirte, landwirtschaftliche Angestellte	27
Sensor- und Navigationstechnik in der landwirtschaftlichen Praxis	Goslar	10.01.2006	Landwirte, landwirtschaftliche Angestellte	28
Sensor- und Navigationstechnik in der landwirtschaftlichen Praxis	Hildesheim	19.01.2006	Landwirte, landwirtschaftliche Angestellte	27
Sensor- und Navigationstechnik in der landwirtschaftlichen Praxis	Hildesheim	24.01.2006	Landwirte, landwirtschaftliche Angestellte	28
Sensor- und Navigationstechnik in der landwirtschaftlichen Praxis	Nienburg	31.01.2006	Landwirte, landwirtschaftliche Angestellte	19
Satellitenortung, Sensoren, Computersteuerung, Telemetrie, Informationsmanagement – wie ergibt dies eine moderne, nachhaltige Landwirtschaft?	Schloß Criewen	23.03.2006	Lehrer an Allgemeinbildenden Schulen	22
Precision Farming – Technik und Anwendungsmöglichkeiten	Rauischholzhausen	27.11.2006	landwirtschaftl. Fach- und Berufsschullehrer	25
Neue technische Lösungen für Bewirtschaftung, Dokumentation und Abrechnung bei Lohnarbeiten	Haus Düsse	25.01.2007	Lohnunternehmer, Landwirte	22
GPS-Parallelfahrssysteme	Helmstedt	29.01.2007	Landwirte	27
Flächen tauschen und schlagübergreifend produzieren	Ulm-Seligweiler	13.02.2007	Landwirte, Führungskräfte von Maschinenringen, Lohnunternehmer, Berater	49
Parallelfahrssysteme –Meilensteine in der Landtechnik?	Gifhorn	15.02.2007	Landwirte	25
Sensorgesteuerte Stickstoffdüngung	Hohenbünstorf	07.02.2007	Landwirte	22
Funktion, Kosten und Nutzen von Parallelfahrssystemen	Homberg/ Efze	14.03.2007	Landwirte, Fachschüler	51
Precision Farming – Technik und Anwendungsmöglichkeiten	Leipzig	16.07.2007	landwirtschaftl. Fach- und Berufsschullehrer	68
Precision Farming – Technik und Anwendungsmöglichkeiten	Harsewinkel	21.11.2007	landwirtschaftl. Fach- und Berufsschullehrer	41
Stand und Zukunft von Precision Farming, (Fachgespräch)	Berlin	03. – 04.12.2007	Landtechnikindustrie, Wissenschaftler, Landwirte	29
			Summe	511

Table 113: Accomplished PF knowledge transfer presentations

Theme	Location	Date	Target group	Participants
Digital field maps – what they should offer and cost	Dorfmark	08.12.2005	Young farmers	28
Sensor and navigation technologies in practical farming	Ostheide/ Barendorf	04.01.2006	Farmers, farm workers	27
Sensor and navigation technologies in practical farming	Goslar	10.01.2006	Farmers, farm workers	28
Sensor and navigation technologies in practical farming	Hildesheim	19.01.2006	Farmers, farm workers	27
Sensor and navigation technologies in practical farming	Hildesheim	24.01.2006	Farmers, farm workers	28
Sensor and navigation technologies in practical farming	Nienburg	31.01.2006	Farmers, farm workers	19
Satellite navigation, sensors, computerised process control, telemetry, information management: how do these serve a modern sustainable agriculture?	Schloß Criewen	23.03.2006	Teachers in general education schools	22
Precision farming – technology and application possibilities	Rauschholzhausen	27.11.2006	Specialised agricultural and vocational school teachers	25
New technical solutions for management, documentation and calculations in agricultural contracting	Haus Düsse	25.01.2007	Agricultural contractors, farmers	22
GPS-parallel tracking systems	Helmstedt	29.01.2007	Farmers	27
Field area exchange and interfarm production systems	Ulm-Seligweiler	13.02.2007	Farmers, machinery ring management, agricultural contractors, advisors	49
Parallel tracking systems – milestones in agricultural engineering?	Gifhorn	15.02.2007	Farmers	25
Sensor controlled nitrogen fertilising	Hohenbünstorf	07.02.2007	Farmers	22
Functions, costs and applications of parallel tracking systems	Homburg/ Efze	14.03.2007	Farmers, agriculture students	51
Precision farming – technology and applications	Leipzig	16.07.2007	Specialist agriculture and vocational school teachers	68
Current situation and future for precision farming, (specialist dialogue)	Berlin	03. – 04.12.2007	Agricultural machinery sector management, scientists, farmers	29
			Total	511

8.2.3.5 Ergebnisse der Befragung von Nutzern des KTBL-Informationsangebots

Im Frühjahr 2007 wurden bundesweit 693 Personen schriftlich befragt. Rückmeldungen kamen von 96 Landwirten und 104 Experten ohne eigene Landwirtschaft; dies entspricht einem Rücklauf von ca. 28 %. Die Stichprobe stellt hinsichtlich der Zusammensetzung der befragten Personen keine repräsentative Stichprobe dar, so dass die deskriptiven Ergebnisse weniger aussagekräftig sind als die Ergebnisse zu den Zusammenhängen zwischen den Variablen. Da es sich um eine vermutlich eher überdurchschnittlich gut informierte Personengruppe handelt, unterscheiden sich die im Folgenden dargestellten Ergebnisse in einigen Punkten von den Ergebnissen des Teilprojekts 6 „Akzeptanz von PF“ REICHARDT et al. (in Vorbereitung).

In dieser Befragung konnten vom KTBL-Informationsangebot zu PF nur das KTBL-Internetangebot und das bereits erwähnte Heft „Elektronik, Satelliten und Co.“ HÜTER et al. (2005) und die Loseblattsammlung „Precision Farming“ HUFNAGEL et al. (2004) berücksichtigt werden. Die weiteren vier Hefte und die entsprechenden Lernmodule, wie in Tabelle 107 dargestellt, waren zum Befragungszeitpunkt noch nicht am Markt verfügbar.

8.2.3.5.1 Ergebnisse der Befragung von Landwirten, die KTBL-Informationsangebote nutzen

Die 96 Landwirte, die sich an dieser Befragung beteiligten, waren durchschnittlich 40,51 Jahre alt mit einer durchschnittlichen Berufserfahrung von 17,94 Jahren. 92 Personen waren männlich. Tabelle 114 gibt einige Ergebnisse dieser Befragung wieder, wie die Mittelwerte und Standardabweichungen der Hauptvariablen. Die im Weiteren dargestellten Ergebnisse, wie z. B. die der multiplen Regressionsanalyse, sind ausführlich in MOSER, LUCA & KLÖBLE (2008a) erläutert.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen des TP 6 „Akzeptanz von PF“ REICHARDT et al. (in Vorbereitung) waren die befragten Landwirte sehr gut über PF informiert, sowohl über PF im Allgemeinen als auch über die einzelnen Methoden und Verfahren, z. B. über GPS-gestützte Flächenvermessung, Ertragskartierung und teilflächenspezifische Stickstoffdüngung. Darüber hinaus wurden GPS-unterstützte Parallelfahrssysteme häufig genannt.

Die Akzeptanz von PF war bei den befragten Landwirten insgesamt recht hoch (Tabelle 114). Ein Drittel der befragten Personen hatte sogar bereits eigene Erfahrungen mit PF gemacht: 16 % hatten bereits PF-Verfahren, vor allem in den Bereichen informationserfassender Techniken, im eigenen Betrieb eingesetzt und 19 % hatten PF schon einmal ausprobiert.

52 % der befragten Landwirte hatten die Absicht, PF auf ihren Betrieben einzusetzen. Dies ist ein höherer Anteil als er im TP 6 „Akzeptanz“ festgestellt werden konnte. Von diesen potenziellen PF-Nutzern hatten 47,9 % bisher keine Erfahrung mit PF. Diese potenziellen PF-Nutzer bewirtschaften eher größere Betriebe als die befragten Landwirte, die PF nicht nutzen wollen: 71 % von ihnen bewirtschaften Betriebe über 200 ha. Sie beurteilen zu 87,8 % PF als positiv, zu 79,6 % als sinnvoll und aber auch zu 53 % als zu teuer, womit sie der im TP 6 festgestellten Tendenz entsprechen. Sie schätzen an PF, dass es genaues Arbeiten ermöglicht, Betriebsmittel einspart und sie dabei unterstützt, Maßnahmen zu dokumentieren und damit ihren Nachweispflichten nachzukommen. Die potenziellen PF-Nutzer unterscheiden sich in ihrem Alter und im Umfang ihrer Berufserfahrung nicht von den Landwirten, die PF nicht nutzen wollen. Letztere schätzen PF lediglich zu 50 % als positiv und sinnvoll ein. Dass weit mehr Personen über PF informiert sind als Personen, die PF nutzen bzw. die Nutzung beabsichtigen, zeigt, dass das bisherige Wissen nur wenig Einfluss auf die wahrgenommene Nützlichkeit hat.

Das Informationsverhalten der befragten Landwirte wich beim Thema PF nicht von ihrem allgemeinen Informationsverhalten ab. Am häufigsten wurden Fachzeitschriften, Messen, Weiterbildungsveranstaltungen und Gespräche mit Berufskollegen zur Information herangezogen. Diese Quellen wurden als qualitativ gut eingeschätzt. Sehr selten wurden Informationen aus der Ausbildung zu PF genutzt. Damit werden die unter Kapitel 8.2.2.1 dargestellten Ergebnisse der Situationsanalyse unterstützt. Die PF-Nutzer informieren sich mehr über Firmenprospekte, über das Internet und bei Händlern als diejenigen Landwirte, die PF nicht nutzen, obwohl diese Informationsquellen allgemein als qualitativ hochwertig eingeschätzt worden waren. Die KTBL-Informationsmaterialien, wie das bereits erwähnte Heft „Elektronik, Satelliten und Co.“ HÜTER et al. (2005) und die Loseblattsammlung „Precision Farming“ HUFNAGEL et al. (2004), wurden nur von 10 % der befragten Landwirte genutzt, die die Qualität dieser Informationen sehr positiv beurteilten.

Tabelle 114: Deskriptive Statistiken und Interkorrelationen der Untersuchungsvariablen, Teilstichprobe Landwirte

	Variable	M	SD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	Akzeptanz ^d	2.39	.71	.71																				
2	Benutzerfreundlichkeit ^d	3.49	.62	.33*	(.71)																			
3	Nützlichkeit ^d	2.39	.88	.63**	.16	(.90)																		
4	Nutzungsabsicht ^c	1.6	.32	.42**	.08	.67**	(.80)																	
5	Empfehlungsverhalten ^c	1.76	.42	.31**	.17	.36**	.36**																	
6	Alter (in Jahren)	40.51	9.88	.12	.04	.00	.05	.01																
7	Geschlecht ^a	1.97	.17	-.18	.11	.25*	.10	.10	.03															
8	Berufserfahrung (in Jahren)	17.94	10.89	.11	.01	.00	.00	.09	.85**	.07														
9	Betriebsgröße ^b	3.15	1.05	-.15	.08	.48**	.48**	.06	.07	.09	.05													
10	Subjektive Normen ^d	3.51	.88	.14	.06	.38**	.50**	.22*	.06	.14	-.12	.20*												
11	Trendsetting ^d	2.41	.56	.25	.21*	.19	.33**	.27**	.05	-.05	.03	-.04	.06	(.86)										
12	Wahrgenommener Druck ^d	2.82	.66	.46**	.24*	.65**	.58**	.33**	.05	-.05	.04	-.29**	.49**	.27**	(.78)									
13	Fest angestellte Mitarbeiter ^c	1.40	.49	.14	-.03	.37**	.35**	.03	.16	-.02	.09	-.57**	-.23*	.18	.25*									
14	Alte / Neue Bundesländer ^e	1.61	.49	.15	.09	.43**	.35**	-.06	-.10	-.02	-.09	-.52**	.23*	.03	.34**	.40**								
15	Bilden Sie aus? ^c	1.63	.48	-.02	.04	.16	.24*	.03	-.14	.23*	-.10	-.23*	.08	-.11	.15	.46**	.42**							
16	Berufsausbildung ^g	3.96	1.59	-.08	-.22	-.22	-.14	-.10	.07	-.21	.00	.16	.08	.03	-.06	-.34**	-.36**	-.37**						
17	Wissen über die Methode ^f	2.56	.52	-.19	-.01	-.19	-.24*	-.22*	-.20	-.03	-.22*	.31**	.01	.25*	-.14	-.25*	-.15	-.27**	.26*					
18	Image (wagemutig) ^c	1.76	.25	.22*	.13	.14	.02	.00	.14	.07	.20	.03	-.00	.04	.04	.11	.01	-.04	-.10	.01	(.59)			
19	Image (aufgeschlossen) ^c	1.20	.13	-.15	.05	-.08	-.09	-.26*	.05	-.05	.10	-.02	-.06	.37**	-.16	-.02	.09	-.12	.09	.22*	-.34**	(.73)		
20	Image (zukunftsorientiert) ^c	1.03	.13	-.10	.03	.00	.00	-.11	-.16	-.04	-.13	-.07	-.05	.13	-.07	.03	.10	-.17	-.05	.10	-.15	-.33**	(.69)	
21	Kaufhindernisse (finanz.)	1.40	.40	-.42**	-.39**	-.67**	-.55**	-.23*	-.14	.03	-.10	.38**	-.38**	.05	-.42**	-.27**	-.38**	-.10	.20	.03	.19	.01	.17	(.78)

Anmerkungen: * p<.05, ** p<.01, N=94; die Reliabilitäten der Skalen finden sich, wo angemessen berechenbar, in der Diagonalen (Cronbachs α).^a 1 = weiblich, 2 = männlich, ^b 1=bis 50ha, 2 = 51-120ha, 3 = 121 – 200, 4= über 200 ha. ^c 1 = ja, 2 = nein, ^d Einstufungsskalen von 1 = „trifft völlig zu“ bis 5 = „trifft überhaupt nicht zu“, ^e 1 = Neue Bundesländer, 2 = Alte Bundesländer, ^g 1 = keine Ausbildung bis 6 = akademische Abschlüsse, ^f 1 = „Ich weiß wenig/ nichts darüber“, 2 = „Ich weiß ungefähr, was darunter zu verstehen ist.“, 3 = „Ich weiß ziemlich genau, was darunter zu verstehen ist“.

Table 114: Descriptive statistics and correlations between study variables, in part spot-checks with farmers

	Variable	M	SD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	Acceptance ^d	2.39	.71	.71																				
2	Operator-friendliness ^d	3.49	.62	.33*	(.71)																			
3	Practicability ^d	2.39	.88	.63**	.16	(.90)																		
4	Utilisation plans ^c	1.6	.32	.42**	.08	.67**	(.80)																	
5	Readiness to recommend ^c	1.76	.42	.31**	.17	.36**	.36**																	
6	Age (years)	40.51	9.88	.12	.04	.00	.05	.01																
7	Gender ^a	1.97	.17	-.18	.11	.25*	.10	.10	.03															
8	Professional experience (years)	17.94	10.89	.11	.01	.00	.00	.09	.85**	.07														
9	Farm size ^b	3.15	1.05	-.15	.08	.48**	.48**	.06	.07	.09	.05													
10	Subjective norms ^d	3.51	.88	.14	.06	.38**	.50**	.22*	.06	.14	-.12	.20*												
11	Trend setting ^d	2.41	.56	.25	.21*	.19	.33**	.27**	.05	-.05	.03	-.04	.06	(.86)										
12	Perceived pressure ^d	2.82	.66	.46**	.24*	.65**	.58**	.33**	.05	-.05	.04	-.29**	.49**	.27**	(.78)									
13	Full-time employees ^c	1.40	.49	.14	-.03	.37**	.35**	.03	.16	-.02	.09	.57**	-.23*	.18	.25*									
14	Old / new federal states ^e	1.61	.49	.15	.09	.43**	.35**	-.06	-.10	-.02	-.09	.52**	.23*	.03	.34**	.40**								
15	Do you instruct trainees? ^c	1.63	.48	-.02	.04	.16	.24*	.03	-.14	.23*	-.10	-.23*	.08	-.11	.15	.46**	.42**							
16	Vocational education ^g	3.96	1.59	-.08	-.22	-.22	-.14	-.10	.07	-.21	.00	.16	.08	.03	-.06	.34**	.36**	.37**						
17	Knowledge of methods ^f	2.56	.52	-.19	-.01	-.19	-.24*	-.22*	-.20	-.03	-.22*	.31**	.01	.25*	-.14	-.25*	-.15	.27**	.26*					
18	Image (risk-taking) ^c	1.76	.25	.22*	.13	.14	.02	.00	.14	.07	.20	.03	-.00	.04	.04	.11	.01	-.04	-.10	.01	(.59)			
19	Image (open minded) ^c	1.20	.13	-.15	.05	-.08	-.09	-.26*	.05	-.05	.10	-.02	-.06	.37**	-.16	-.02	.09	-.12	.09	.22*	.34**	(.73)		
20	Image (future oriented) ^c	1.03	.13	-.10	.03	.00	.00	-.11	-.16	-.04	-.13	-.07	-.05	.13	-.07	.03	.10	-.17	-.05	.10	-.15	.33**	(.69)	
21	Purchase obstacles (finance.)	1.40	.40	.42**	.39**	.67**	.55**	-.23*	-.14	.03	-.10	.38**	.38**	.05	.42**	.27**	.38**	-.10	.20	.03	.19	.01	.17	(.78)

* p<.05, ** p<.01, N=94; the reliabilities of the scales are found (where measurable) in the diagonals (Cronbachs α). ^a 1= female, 2 = male, ^b 1= up to 50ha, 2 = 51-120ha, 3 = 121 – 200ha, 4= over 200ha. ^c 1 = yes, 2 = no, ^d Scale from 1 = "I agree completely" to 5 = "I disagree completely", ^e 1 = New federal states (former East Germany), 2 = old federal states (former West Germany), ^g 1 = no vocational training to 6 = university graduate, ^f 1 = "I know little /absolutely nothing about it", 2 = "I know something about it", 3 = "I have detailed knowledge of it"

Durch diese Befragung sollte vor allem geklärt werden, wovon die Absicht PF zu nutzen beeinflusst wird und welche Rolle dabei das Informationsangebot spielt. Entsprechend dem Technologie-Akzeptanz-Modell von VENKATESH & DAVIS (2000) ist für die Annahme einer Technologie vor allem die Akzeptanz ein ausschlaggebender Faktor. Je mehr die Technologie von den Personen akzeptiert wird, desto eher wird beabsichtigt sie zukünftig zu nutzen. Die Akzeptanz wiederum wird laut diesem Modell von der wahrgenommenen Nützlichkeit sowie der wahrgenommenen Benutzerfreundlichkeit der Technologie beeinflusst. Entsprechend der Ergebnisse von VENKATESH & DAVIS (2000) und einer großen Zahl ähnlicher Untersuchungen konnte hier festgestellt werden, dass die wahrgenommene Nützlichkeit mehr Einfluss auf die Akzeptanz hat als die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit. Die Ergebnisse lassen darüber hinaus den Schluss zu, dass bisherige Erfahrungen mit der Technologie im

Zusammenhang zur wahrgenommenen Nützlichkeit stehen. Dies könnte den Schluss zulassen, dass theoretisches Wissen allein nicht ausreicht, um die Nützlichkeit der PF-Technologie abschätzen zu können. In einem negativen Zusammenhang mit der wahrgenommenen Nützlichkeit standen die wahrgenommenen wirtschaftlichen Schwächen. Mit „wirtschaftlicher Schwächen“ wurden die Unwirtschaftlichkeit, der zu hohe Aufwand und auch die Meinung, dass PF lediglich für große Betriebe effizient sei, erfragt.

Entsprechend dem Modell des geplanten Verhaltens von AJZEN (1991) wurden Variablen untersucht, die soziale Prozesse im Zusammenhang mit der Bereitschaft zur Übernahme technischer Neuerungen beschreiben. In Tabelle 114 sind dies die Variablen „Subjektive Normen“ und „Wahrgenommener sozialer Druck“. Es konnte gezeigt werden, dass die Meinung von anderen Menschen, die von der betreffenden Person als wichtig angesehen werden, für die Entscheidung PF anzunehmen bzw. abzulehnen von Bedeutung zu sein scheint. Es konnte zudem aufgezeigt werden, dass auch soziodemografische Merkmale eine wesentliche Rolle für die Annahme von PF spielen. So hatte die Größe der bewirtschafteten Fläche sowohl einen Einfluss auf die wahrgenommene Nützlichkeit, als auch auf die Nutzungsabsicht.

Trotz einer hohen wahrgenommenen Nützlichkeit und Akzeptanz der Technologie kann es Faktoren geben, die den entscheidenden Ausschlag geben, die Technologie in Zukunft nicht zu nutzen. Es zeigte sich, dass die Meinung, die Technologie sei unwirtschaftlich für den eigenen Betrieb, das finanzielle Risiko sei zu hoch und der Anschaffungspreis zu teuer einen signifikant negativen Einfluss auf die Nutzungsabsicht haben. Es sind demnach wirtschaftliche Gründe, die den Einsatz von PF bisher verhindern.

Wie bereits erwähnt, wurden zumindest bis zu Beginn des Jahres 2007 die verschiedenen Informationsangebote des KTBL von den befragten Landwirten vergleichsweise wenig genutzt, obwohl sie durchaus als sehr hochwertig von eben diesen Nutzern eingeschätzt werden. Um erste Hinweise zu erhalten, wie das Nutzungsverhalten genauer zu erklären ist und welchen Stellenwert die Informationsquellen haben könnten, wurde analysiert, ob sich auffällige Unterschiede zwischen den Nutzern und den Nichtnutzern des KTBL-Informationsangebotes zu PF finden lassen. Als ein wesentlicher Unterschied konnte ermittelt werden, dass die Nutzer des KTBL-Informationsangebots auch mit größerer Wahrscheinlichkeit Trendsetter (BATINIC et al.2006) sind. Mit Trendsetter sind die Menschen gemeint, die sich für Neues unabhängig von allgemeinen Modeströmungen interessieren und die diese Neuigkeiten aktiv weiter verbreiten. Insofern wird wohl durch das KTBL-Informationsangebot zu PF die richtige Zielgruppe erreicht. Bemerkenswert ist allerdings auch, dass sich die Nutzer des KTBL-Informationsangebots von den anderen Befragten gerade nicht darin unterscheiden, dass sie PF ganz besonders positiv einschätzen. Vielmehr zeigt sich, dass sie in der Tendenz eher der Meinung sind, die Technologie sei noch unausgereift. Dies könnte als ein Hinweis auf eine objektive Darstellung der Informationen gewertet werden. Allerdings ergibt sich kein Zusammenhang zwischen der Nutzung des KTBL-Informationsangebots zu PF, dem subjektiven Wissen über PF, dem Ausbildungsstand, der Akzeptanz oder Verhaltensabsichten bezüglich des PF-Einsatzes. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass die in der Befragung berücksichtigten Informationsangebote einfach noch zu neu waren.

Solange sich die Neuerung Precision Farming weiterhin langsam verbreitet, scheint es sinnvoll zu sein, mit Informationsangeboten Trendsetter zu erreichen und diese auch zu überzeugen, weil sie zum einen eher PF bereits anwenden oder die Anwendung beabsichtigen, wie in der vorliegenden Untersuchung gezeigt werden konnte. Zum anderen haben sie eine größere Bereitschaft Neuerungen zu empfehlen und sie sind in ihrer Empfehlungsbereitschaft unabhängiger von der Meinung anderer, auch ihnen wichtiger Personen.

8.2.3.5.2 Ergebnisse der Befragung von Experten ohne eigene Landwirtschaft, die KTBL- Informationsangebote nutzen

An der Befragung beteiligten sich 104 Experten ohne eigene Landwirtschaft. Ihre Meinung und ihr Verhalten bezüglich PF sind im vorliegenden Zusammenhang von Interesse, weil sie als Lehrer oder Berater wichtige Multiplikatoren im Wissenstransferprozess sind. Ihre Nutzung von PF bezieht sich nicht auf eine Investition und praktische Anwendung von PF, sondern ob sie sich Wissen über PF aneignen und dieses Wissen weitergeben. Ihre Entscheidung für oder gegen PF ist also mit einem deutlich geringeren finanziellen Risiko verbunden.

Die befragten Experten waren überwiegend in der Ausbildung und Beratung tätig. Ihre Haupttätigkeitsgebiete waren (mehrere Antwortmöglichkeiten waren zu gelassen.): Beratung 33, Unterricht 30, Ausbildung 9, Forschung und Entwicklung 25, Vertrieb 14, Landtechnische Dienstleistungen 4, anderes 18.

Die Experten ohne eigene Landwirtschaft waren wie die befragten Landwirte nahezu sehr gut über PF informiert. Auch hier waren es GPS-gestützte Flächenvermessung, Ertragskartierung und GPS-unterstützte Parallelfahrssysteme, worüber sie sich vor allem auskannten. 71 % der befragten Experten informieren oder beraten bereits über PF. Bei 34,7 % der Befragten war PF bereits fester Bestandteil ihres Informationsangebots. Für die Zukunft planten 81 % der Befragten über PF zu informieren. Ähnlich wie in den bereits dargestellten Ergebnissen beabsichtigen die Experten mehr über die Informationen erfassenden Techniken als über die reagierenden Techniken zu informieren.

Im Gegensatz zu den befragten Landwirten konnte nur ein schwacher Zusammenhang zwischen der Akzeptanz von PF und der Absicht zukünftig über PF zu informieren festgestellt werden. Außerdem empfehlen nur 43 % der befragten Experten PF einzusetzen, obwohl 82 % PF als positiv und 73 % auch als sinnvoll bewerten.

Hinderungsgründe, sich zukünftig über PF intensiver zu informieren, waren die Meinung, dass PF noch zu teuer sei, der wahrgenommene Druck, damit ist gemeint, wie sich Konkurrenten und Kollegen verhalten, und die Meinung wichtiger Personen im sozialen Umfeld (Tabelle 115).

Tabelle 115: Deskriptive Statistiken und Interkorrelationen der Untersuchungsvariablen zu den befragten Experten ohne eigene Landwirtschaft

	M	SD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
(1) Akzeptanz ^e	2.32	.70	(.77)															
(2) Beratungsabsicht ^c	1.19	.39	.15	-														
(3) Empfehlungsverhalten ^c	1.46	.50	.38**	.31**	-													
(4) Alter (in Jahren)	42.58	10.49	-.08	-.03	-.16	-												
(5) Geschlecht ^a	1.87	.33	-.16	.01	-.25*	.22*	-											
(6) Berufserfahrung (in Jahren)	17.02	10.90	-.13	-.02	-.13	.92**	.27**	-										
(7) Subjektive Normen ^e	1.98	.78	.23*	.17	.19	.03	.02	.00	-									
(8) Trendsetting ^e	2.46	.86	.25*	.17	.36**	.05	-.38**	-.02	-.21*	(.88)								
(9) Wahrgenommener Druck ^e	2.53	.68	.37**	.37**	.48**	.03	-.20*	-.01	-.48**	.61**	(.77)							
(10) Wissen über Precision Farming ^d	2.82	.39	-.14	-.03	-.19	-.09	.11	-.08	.02	-.23*	-.18	-						
(11) Erfahrungen mit Precision Farming ^d	2.06	.79	-.25*	-.47**	-.47**	.04	.33**	-.02	.05	-.39**	-.42**	.32**	-					
(12) Image (wagemutig) ^c	1.73	.23	.11	.00	.01	.25*	-.10	.18	.04	-.01	.04	-.11	.03	(.50)				
(13) Image (aufgeschlossen) ^c	1.12	.21	.04	-.15	-.14	.07	.06	.07	-.03	-.01	-.05	.04	.26**	-.27**	(.65)			
(14) Image (zukunftsorientiert) ^c	1.02	.10	-.09	-.06	.08	-.05	.02	.02	-.01	.04	.01	.06	.02	.19	-.34**	(.53)		
(15) Benutzerfreundlichkeit ^e	3.38	.53	.40**	.13	.29**	.06	-.08	.02	-.27**	.33**	.37**	-.12	-.13	-.13	-.14	-.13	(.49)	
(16) Beratungshindernisse ^e	1.74	.23	-.22*	-.36**	-.50**	-.11	.12	-.07	.28**	-.44**	-.55**	.37**	.37**	.18	-.08	.00	-.40**	(.59)

Anmerkungen: * $p < .05$, ** $p < .01$, $N=104$; die Reliabilitäten der Skalen finden sich, wo angemessen berechenbar, in der Diagonalen (Cronbachs α). ^a 1 = weiblich, 2 = männlich, ^b 1 = „Ich weiß wenig/nichts darüber“, 2 = „Ich weiß ungefähr, was darunter zu verstehen ist.“, 3 = „Ich weiß ziemlich genau, was darunter zu verstehen ist“, ^c 1 = ja, 2 = nein. ^d 1 = „Ich habe keine persönlichen Erfahrungen“, 2 = „Ich habe schon einmal darüber informiert/beraten“, 3 = „Es ist fester Teil meines Informationsangebots.“ ^e 5-stufige Skalen mit Werten von 1 = „trifft völlig zu“ bis 5 = „trifft überhaupt nicht zu“

Table 115: Descriptive statistics and correlations of study variables (experts without own farms)

Variable	M	SD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
(1) Acceptance ^e	2.32	.70	(.77)															
(2) Intention to seek advice ^c	1.19	.39	.15	-														
(3) Readiness to recommend PF ^c	1.46	.50	.38**	.31**	-													
(4) Age (years)	42.58	10.49	-.08	-.03	-.16	-												
(5) Gender ^a	1.87	.33	-.16	.01	-.25*	.22*	-											
(6) Professional experience (years)	17.02	10.90	-.13	-.02	-.13	.92**	.27**	-										
(7) Subjective norms ^e	1.98	.78	.23*	.17	.19	.03	.02	.00	-									
(8) Trend setting ^e	2.46	.86	.25*	.17	.36**	.05	-.38**	-.02	-.21*	(.88)								
(9) Perceived pressure ^e	2.53	.68	.37**	.37**	.48**	.03	-.20*	-.01	-.48**	.61**	(.77)							
(10) PF knowledge ^b	2.82	.39	-.14	-.03	-.19	-.09	.11	-.08	.02	-.23*	-.18	-						
(11) PF experience ^d	2.06	.79	-.25*	-.47**	-.47**	.04	.33**	-.02	.05	-.39**	-.42**	.32**	-					
(12) Image (risk-taking) ^c	1.73	.23	.11	.00	.01	.25*	-.10	.18	.04	-.01	.04	-.11	.03	(.50)				
(13) Image (open minded) ^c	1.12	.21	.04	-.15	-.14	.07	.06	.07	-.03	-.01	-.05	.04	.26**	-.27**	(.65)			
(14) Image (future oriented) ^c	1.02	.10	-.09	-.06	.08	-.05	.02	.02	-.01	.04	.01	.06	.02	.19	-.34**	(.53)		
(15) Operator-friendliness ^e	3.38	.53	.40**	.13	.29**	.06	-.08	.02	-.27**	.33**	.37**	-.12	-.13	-.13	-.14	-.13	(.49)	
(16) advisory obstacles ^e	1.74	.23	-.22*	-.36**	-.50**	-.11	.12	-.07	.28**	-.44**	-.55**	.37**	.37**	.18	-.08	.00	-.40**	(.59)

p<.10, ** p<.01, N=104; reliabilities of scales where appropriate are presented in the diagonal (Cronbachs alphas). ^a 1= female, 2 = male, ^b 1 = "I know little /absolutely nothing about it", 2 = "I know something about it", 3 = "I have detailed knowledge of it", ^c 1 = yes, 2 = no. ^d 1 = "I have no personal experience", 2 = "I have already informed myself or asked for advice", 3 = "It is an established part of my curriculum or available advisory service" ^e Scale of 5 from 1 = "I agree completely" to 5 = "I disagree completely"

Die Experten, die zukünftig über PF informieren wollen, unterscheiden sich von den anderen Experten dadurch, dass sie häufiger bereits über PF informieren, dass sie PF eher akzeptieren, PF eher positiv beurteilen und PF eher empfehlen. Sie schätzen auch den Anteil von Landwirten, die bereits PF anwenden, als höher ein als die Experten, die zukünftig nicht über PF informieren wollen. Sie stimmen auch eher den Thesen zu, dass es sinnvoll sei, sich dem technischen Fortschritt anzupassen und dass moderne Technologien in der Landwirtschaft immer wichtiger werden. Auch sind unter ihnen eher Trendsetter zu finden als unter den Experten, die nicht beabsichtigen über PF zu informieren.

Im Informationsverhalten der befragten Experten nehmen wie bei den Landwirten die Fachzeitschriften, Messen, Weiterbildungsveranstaltungen und Gespräche mit Berufskollegen die ersten Plätze ein. Auch wurden diese Quellen als qualitativ gut eingeschätzt. Im Gegensatz zu den Landwirten wurde das Internet mit 67,7 % der Nennungen häufiger genutzt, die Landwirte nannten es nur zu 40 %. Die befragten Experten nutzen das KTBL-Informationsangebot zu PF deutlich mehr als die befragten Landwirte: Die Veröffentlichung von HUFNAGEL et al. (2004) ist 30 % der befragten Experten, von HÜTER et al. (2005) 39,8 % bekannt. Wie die Landwirte auch schätzen diese Experten die Qualität dieser Produkte hoch ein. Die Experten, die das KTBL-Informationsangebot zu PF nutzen, sind besser über PF informiert, akzeptieren PF eher und beraten oder unterrichten mehr über PF, als diejenigen, die es nicht nutzen.

8.2.3.6 Ergebnisse des Expertenworkshops zur Unterstützung des Praxis-Forschungsdialogs

In einem zweitägigen Workshop Ende 2007 wurden auf der Basis von Expertenvorträgen folgende Themen in Kleingruppen näher betrachtet (siehe Tabelle 116): Erfassung von Standort und Bodenunterschieden, Möglichkeiten von Luft- und Satellitenbildern, Erfassung von Ertrag und Qualität, Stand der Landtechnik für PF, Rahmenbedingungen und Infrastruktur für PF, Erfassung von Ertragspotenzial und Ableitung von Maßnahmen, Daten- und Informationsmanagement im Betrieb, Ausbildung zu PF, Demonstrationsbetriebe zu PF, Infrastruktur für PF und Kundennutzen von PF.

In den Diskussionen wurden die nach wie vor großen Probleme in der Kompatibilität zwischen den einzelnen Geräten und auch zwischen den Angeboten verschiedener Hersteller sehr deutlich. Mit dem ISOBUS stehen nun zwar genormte Schnittstellen vom Gerät bis zum Betriebs-PC zur Verfügung. Diese müssen zukünftig stärker durch die Firmen umgesetzt werden. Die Firmenvertreter sagten zu, hier für Abhilfe zu sorgen. Die Vorbehalte der Praxis müssen ausgeräumt und neues Vertrauen geschaffen werden. Die Standardisierung im Bereich Datenaustausch muss durch agroXML weiter vorangetrieben werden. Die in der Tabelle 117 dargestellten Ziele und Maßnahmen wurden vereinbart.

Tabelle 116: Ergebnisse der Diskussion einzelner Themenbereiche im KTBL-Fachgespräch „Stand und Zukunft von Precision Farming“ Berlin, 03. – 04.12.2007

Themenbereich	für eine weitere Entwicklung in diesem Bereich ist zukünftig erforderlich
Erfassung von Standortunterschieden	Verbesserung von Ausbildung und Beratung
	Bessere Normierung
	Entwicklung von Sensoren und systemorientierten Modellen
Erfassung von Bestandesunterschieden	Identifizierung von Steuerungsgrößen
	Entwicklung von Werkzeugen und Regeln
	Verbesserung der Anwendbarkeit
Luft- und Satellitenbilder	Business-Cases schaffen
	Bewusstsein beim Nutzer schaffen
	Anforderungen und Interessen formulieren gemeinsam in einer Arbeitsgruppe der Anbieter
Erfassung von Ertrag und Qualität	Kundennutzen entwickeln und aufzeigen (z. B. Abrechnung nach Qualität)
	Kalibrierungsnetzwerk aufbauen
	Neue Qualitätsindikatoren entwickeln
Technik für PF	Standards weiterentwickeln
	Automatisierung (Technik <-> Dienste) verbessern
	Funktionssicherheit verbessern
Rahmenbedingungen von PF	Akzeptanz schaffen
	Normierung verbessern
	Internet-Portale (Produkte und Abrechnungsmodi) aufbauen
Ertragspotential und Ableitung von Maßnahmen	Erfahrungswissen höher gewichten
	Berechnungen und Kompatibilität von Ertragsdaten offenlegen
	einfache Modelle für die Ertragziele und Ertragserwartung entwickeln
Daten- und Informationsmanagement	bessere Aufklärung der Nutzer
	Vereinfachung der Systeme
	zu hohe Erwartungen dämpfen

Table 116: Results from discussion of individual themes within the KTBL specialist meeting “Current situation and Future of Precision Farming”, Berlin 03 – 04.12.2007

Themes	Necessary for further development in this area:
Recording of spatial differences	Improvement of training and advice
	Better standardisation
	Development of sensors and system-oriented models
Recording of differences in crop performance	Identification of controlling factors
	Development of tools and guidelines
	Improvement of user-friendliness
Aerial and satellite photographs	Establishing business cases
	Establishing user-confidence
	Formulating requirements and interests together within a supplier working group
Recording of yield and quality	Developing and presenting customer-advantages (e.g. quality-based accounting)
	Building-up calibration network
	Developing new quality indicators
PF equipment/technology	Further development of standards
	Improving automation (technology <-> service)
	Improving functional reliability
PF regulatory conditions	Creating acceptance
	Improving standardisation
	Developing Internet portals (product and accounting modes)
Yield potential and associated actions	Giving experience more importance
	Publication of calculations and compatibilities of yield data
	Simple models for development of yield targets and expectations
Management of data and information	Offering users more information
	Simplifying the system
	Reducing excessive expectations

Tabelle 117: Vereinbarte Ziele, Akteure und erste Schritte in den einzelnen Themenbereichen als Ergebnis des KTBL-Fachgesprächs „Stand und Zukunft von Precision Farming“ Berlin, 03. – 04.12.2007

Themenbereich	Ziel bis 2012	Akteure	1. Schritt
Ausbildung	„Precision Farming“ in den Lehrplänen für die Ausbildung verankern	BMBF/BMELV, KTBL	pre agro Workshop „Ausbildung“ bei der Abschlusskonferenz im Februar 2008
Demonstrationsbetriebe	15 Demonstrationsbetriebe aufbauen, die PF-Methoden nutzen, die unterschiedliche Techniken anwenden und verschiedenen intensiv PF nutzen. Dadurch u. a. die Funktionsfähigkeit des ISOBUS demonstrieren.	KTBL, Industrie, Beratung und Forschung	Bildung einer Initiativgruppe
Infrastruktur	Klärung von Nutzungszielen und Bedingungen für Fernerkundungs- und Geodaten, Installation von Kalibrierungsnetzwerken, einheitliche Formate für RTK-GPS, Abrechnungsmodelle für die gemeinsame Nutzung erstellen	Industrie, weitere Beteiligte	noch offen
Kundennutzen	ISOBUS ist praxistauglich, Nutzen von PF ist anerkannt und bekannt	Industrie, KTBL, DLG	KTBL/Industrie -> ISOBUS-Erfahrungen bekannt machen KTBL-Heft zum ISOBUS DLG -> Kompatibilität der Maschinen und Geräte nachweisen Firmen -> Technik-Testtage für Landwirte KTBL -> Netzwerk zu Precision Farming aufbauen

Table 117: Agreement on targets, participants and first steps within the individual themes resulting from the KTBL specialist meeting “Current Situation and Future of Precision Farming” Berlin, 03. – 04.12.2007

Themes	Targets to 2012	Participants	First steps
Training	Establishing “Precision Farming in training curricula	BMBF/BMELV, KTBL	pre agro workshop “Training“ at concluding conference February 2008
Demonstration farms	Establishing 15 demonstration farms that apply PF methods but with a variety of equipment and PF intensity so that, among other aspects, the functionality of ISOBUS can be demonstrated.	KTBL, industry, advisory services and research	Establishment of an initiative group
Infrastructure	Clarification of application targets and conditions for remote sensing and geo data, installation of calibration networks, standard RTK-GPS formats, establishment of calculation models for common utilisation	Industry, further participants	Still open to discussion
Customer advantages	ISOBUS is practicable, application of PF is accepted and known	Industry, KTBL, DLG	KTBL/Industry -> publicising ISOBUS experiences KTBL book on ISOBUS DLG -> Demonstrating compatibility of machinery and equipment Firms -> machinery-test meetings for farmers KTBL -> building-up a PF network

8.2.4 Diskussion

8.2.4.1 Transferinhalte

8.2.4.1.1 Ausgewählte PF-Module

Inwieweit die für die Transfermaßnahmen ausgewählten praxisreifen Module von PF (siehe Kapitel 8.2.3.2) die wirklich relevanten Themen sind, lässt sich zurzeit noch nicht sagen, da die Transfermaßnahmen erst kurze Zeit den Nutzern angeboten werden konnten. Die Ergebnisse der zweiten Befragung, die von der Universität Nürnberg-Erlangen im Dezember 2007 gestartet wurde, werden darüber in Kürze Auskunft geben können.

Bereits jetzt ist absehbar, dass das Thema Parallelfahrssysteme die größte Resonanz erfahren hat. Dies ist nur ein peripheres PF-Thema, da die teilflächenspezifische Bewirtschaftung, die Standortunterschiede berücksichtigt, hier nicht im Vordergrund steht. Auch die Ergebnisse des TP 6 zeigen, dass die PF-Techniken, bei denen Informationen gesammelt werden, weiter verbreitet sind als reagierende PF-Maßnahmen. Deshalb ist anzunehmen, dass in der Praxis ein großer Informationsbedarf besteht, die Aufbereitung der gesammelten Informationen zu unterstützen und ihre Nutzung für reagierende Maßnahmen darzustellen. Anwendungsgebiete sind z. B. Informationen aus der GPS-gestützten Flächenvermessung, der Standortanalyse und der Ertragskartierung, die für die teilflächenspezifische Bodenbearbeitung, Aussaat, Düngung oder Pflanzenschutz genutzt werden können, soweit praxistaugliche Anwendungstechniken verfügbar sind.

8.2.4.1.2 Wahrgenommener Nutzen

Die Ergebnisse von MOSER et al. (2008a und b) zeigen, dass der Wissensstand über PF allein nicht ausreicht, um PF positiv zu bewerten. Auch die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit, die Komplexität und die Neuartigkeit der Techniken scheinen weniger bedeutsam zu sein. Vielmehr ist der wahrgenommene Nutzen für die Einstellung zu PF von Landwirten und Experten von ausschlaggebender Bedeutung (siehe Kapitel 8.2.3.5). Hier stehen besonders Fragen der Wirtschaftlichkeit und das Vertrauen in den ISOBUS im Vordergrund. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt Reichardt et al. (in Vorbereitung). Auch die Ergebnisse des Expertenworkshops (siehe Kapitel 8.2.3.6) unterstützen diese Sichtweise. Deshalb sollten zukünftige Transfermaßnahmen die Wirtschaftlichkeit und die Funktionssicherheit in den Vordergrund stellen.

8.2.4.2 Zielgruppen der Transfermaßnahmen

Das TP 20 konzentrierte sich auf Zielgruppen im landwirtschaftlichen Bereich. Die agrartechnische Aus- und Weiterbildung wurde nicht berücksichtigt. Hier sind durchaus im Transferprozess von PF Potenziale zu erwarten, so dass Transfermaßnahmen für diese Zielgruppe empfehlenswert sind.

Die wichtigsten Zielgruppen im landwirtschaftlichen Bereich für Maßnahmen im Transferprozess von PF scheinen vor allem Fachschullehrer zu sein, da sie als Multiplikatoren die eigentliche Zielgruppe, die Landwirte, am ehesten erreichen können und hier große ungenutzte Potenziale liegen. Hochschullehrer scheinen bereits sehr gut informiert und an der Verbreitung der Kenntnisse zu PF beteiligt zu sein. Berufsschullehrer haben im Gegensatz zu Fachschullehrern weniger Raum im bereits überfüllten Lehrplan. Auch ist anzunehmen, dass ihre Schüler weniger am Thema interessiert sind, da ihnen die notwendigen Grundlagen, z. B. die des Pflanzenbaus und der Regelungs- und Steuerungstechnik, fehlen.

Die Offizialberater scheinen im Diffusionsprozess PF eine weniger große Rolle zu spielen, da sie kaum Gelegenheit haben, zu produktionstechnischen Fragen zu beraten, wie die Ergebnisse im Kapitel 8.2.3.1.2 zeigen. Die Zahl der in diesem Gebiet tätigen privaten Berater ist sehr gering.

Von den persönlichen Merkmalen scheint das Alter der beteiligten Personen wenig ausschlaggebend zu sein, wie im Kapitel 8.2.3.5 dargestellt wurde. Wichtig dürfte es hingegen sein, durch die Transfermaßnahmen Trendsetter zu erreichen, weil sie zum einen eher PF bereits anwenden oder die Anwendung beabsichtigen, und zum anderen eine größere Bereitschaft haben Neuerungen zu empfehlen unabhängig von der Meinung anderer ihnen wichtiger Personen. Zu überlegen ist, ob mit einer gewissen Marktsegmentierung diese Zielgruppe vorrangig erreicht werden könnte. Wie die Ergebnisse von MOSER et al. (2008a und b) zeigen, wurden durch das KTBL-Informationsangebot Trendsetter erreicht, so dass diese Aktivitäten auch in Zukunft Erfolg versprechend sind.

8.2.4.3 Empfehlenswerte Transfermaßnahmen

Im Diffusionsprozess von PF wird auch weiterhin die Verbreitung von Wissen und Kenntnissen über PF bedeutsam sein, auch wenn für die Übernahme der Neuerung der wahrgenommene Nutzen im Vordergrund steht. Insbesondere werden wie bisher die aktuellen und detaillierten Informationen der Hersteller einen großen Part übernehmen. Aber auch vergleichende Darstellungen von neutraler Seite, insbesondere zur Wirtschaftlichkeit oder mit Erfahrungsberichten aus der Praxis, werden weiterhin benötigt werden. Wie in Kapitel 8.2.3.5.2 dargestellt, empfiehlt nur ein deutlich geringer Anteil der Experten PF einzusetzen, obwohl sie es überwiegend als sinnvoll einschätzen. Dies weist darauf hin, dass genau abgewogen werden muss, für welchen landwirtschaftlichen Betrieb welche PF-Technik sinnvoll sein kann.

Um PF stärker in den Berufs- und Fachschulunterricht zu integrieren, ist es vielversprechend geeignete Lernmodule anzubieten, die dem Lehrer die Darstellung der PF-Inhalte im Unterricht erleichtern. In der Testphase wurden die von TP 20 erstellten Lernmodule positiv bewertet. Ähnlich sind Lehrerfortbildungen einzuschätzen. Um PF in berufsbildenden Schulen zu behandeln, wäre eine Änderung des Rahmenlehrplans wünschenswert, aber nicht unbedingt erforderlich. Dies ist darin begründet, dass die Lehrpläne für die Fachschulen in fünf Bundesländern PF ausdrücklich erwähnen und die der anderen Bundesländer und die der Berufsschulen genügend Freiraum lassen für die Behandlung dieses Themas.

Darüber hinaus zeigten die in Kapitel 8.2.3.5 dargestellten Ergebnisse, dass das soziale Umfeld durchaus bedeutsam ist, in dem in vielen Fällen eher skeptische Meinungen vertreten sein dürften. Im Rahmen von Weiterbildungsveranstaltungen ist es bei geeigneter Durchführung möglich, aus den anderen Teilnehmern eine Art von Bezugsgruppe zu entwickeln, so dass sich die verschiedenen Teilnehmer an einer Maßnahme gegenseitig in ihrer Meinung bestärken könnten.

Da die eigene Erfahrung mit PF in einem engen Zusammenhang zur positiven Einschätzung von PF steht (siehe Kapitel 8.2.3.5), kommt allen Methoden der Wissensvermittlung, die eigenes Ausprobieren und Erfahrungsaustausch unter den Teilnehmern zulassen, eine besondere Bedeutung bei. Hervorzuheben ist hier z. B. der Vorschlag, Demonstrationsbetriebe einzurichten (siehe Kapitel 8.2.3.6). Auch Weiterbildungsveranstaltungen ermöglichen den Einsatz dieser Methoden.

Literatur

- ALBRECHT, H. (1974): Die Verbreitung von Neuerungen – Der Diffusionsprozeß. Der Förderungsdienst, Wien. Sondernummer: Beratungsmethodik. 22. Jahrgang, S. 33 – 40.
- AJZEN, I. (1991): The theory of planned behaviour. *Organizational Behaviour and Human Decision Processes*, 50, S. 179 – 211.
- ASCHENBRENNER, G., J. BOXBERGER & O. KRÖNIGSBERGER (2003): *Elektronikeinsatz in der Landwirtschaft*. ÖKL-Schrift 221 Wien, Österreich.
- BAEY-ERNSTEN, H. de (2003): Agrartechnik – von der Hacke zur satellitengesteuerten Hightech-Maschine. *Forum TTN*, H9, S. 17 – 47.
- BALDWIN, T.T. & J.K. FORD (1988). Transfer of Training: A review and directions for future research. *Personnel Psychology*, 41, 63 – 105.
- BATINIC, B., C.M. HAUPT & J. WIESELHUBER (2006): Validierung und Normierung des Fragebogens zur Erfassung von Trendsetting (TDS) *Diagnostica*, 52, S. 60 – 72.
- DRANGMEISTER, H. (2007): Einsatz von PDAs in der Außenwirtschaft. *KTBL-Heft 69*, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
- DOLUSCHITZ, R. & T. JUNGBLUTH (2004): Precision Agriculture – Notwendigkeit, Stand der Technik und Perspektiven. *B&B Agrar* 5, S. 166 – 170.
- GRENZDÖRFFER, G. (2003): Moderne Landwirtschaft nutzt Fernerkundungsdaten. *Praxis Geographie* 33 (3), 26 – 29.
- HÜTER, J., F. KLOEPFER & U. KLÖBLE (2005): *Elektronik, Satelliten und Co. – Precision Farming in der Praxis*. *KTBL-Heft 52*, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
- HÜTER, J. & U. KLÖBLE (2007): *Precision Farming in der Praxis – Technik und Anwendungsmöglichkeiten*. PowerPointPräsentation auf CD, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt.
- HUFNAGEL, J., R. HERBST, A. JARFE & A. WERNER (2004): *Precision Farming – Analyse, Planung, Umsetzung in die Praxis*. *KTBL-Schrift 419*, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
- JÜRGENS, C. (2002): *Akzeptanz von Precision Agriculture in Deutschland*. Internes Arbeitspapier. Universität Regensburg, Lehrstuhl für Kulturgeographie.
- KTBL [Hrsg.] (2004): *Precision Agriculture – Ergebnisse des Verbundprojekts pre agro*. Endbericht. CD-ROM, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
- KUTT, K. (2001): Den Transfer gestalten. Aber wie? Für eine bessere Umsetzung von Modellversuchsergebnissen durch ein „Management“ des Transfers. *Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis*, 30 (2), S. 28 – 32.
- LEHMANN, I. (2005): *Wissen und Wissensvermittlung im ökologischen Landbau in Baden-Württemberg in Geschichte und Gegenwart*. Sozialwissenschaftliche Schriften zur Landnutzung und ländlichen Entwicklung, Nr. 62. Weikersheim.
- MAYRING, P. (1993): *Einführung in die qualitative Sozialforschung*. Weinheim.

- MOSER, K., G. LUCA & U. KLÖBLE (2008a): Die Diffusion neuer Technologien in der Landwirtschaft, Teil 1: Landwirte (Unveröffentlichtes Manuskript) Universität Erlangen-Nürnberg.
- MOSER, K., G. LUCA & U. KLÖBLE (2008b): Die Diffusion neuer Technologien in der Landwirtschaft, Teil 2: Experten (Unveröffentlichtes Manuskript) Universität Erlangen-Nürnberg.
- NIEMANN, H., R. SCHWAIBERGER & N. FRÖBA (2007): Parallelfahrssysteme. KTBL-Heft 67, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
- NOACK, P.O. (2007): Ertragskartierung im Getreidebau. KTBL-Heft 70, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
- PROBST, G., S. RAUB & K. ROMHARDT (1999): Managing Knowledge – Building Blocks of Success. London.
- RECKLEBEN, Y., M. SCHNEIDER, P. WAGNER, J. SCHWARZ & J. HÜTER (2007): Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung. KTBL-Heft 75, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
- REICHARDT, M., C. JÜRGENS, J. HÜTER, U. KLÖBLE & K. MOSER: (in prep.): Diffusion of Precision Farming in Germany – Acceptance, Adoption, Obstacles, Knowledge Transfer and Training Activities. Precision Agriculture, Sonderheft.
- SOMMER, C. & H.H. VOBHENRICH (2004): Bodenbearbeitung und Bestellung. In: KTBL [Hrsg.] (2004): Precision Agriculture – Ergebnisse des Verbundprojekts *pre agro*. Endbericht. CD-ROM, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
http://www.preagro.de/Veroeff/preagro_Endbericht_Bodenbearbeitung.pdf (zuletzt besucht am 2.7.2008)
- VENKATESH, V. & F.D. DAVIS (2000): A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. Management Science, 46, S. 186 – 204.

Anschrift der Autoren:**Dr. Ulrike Klöble**

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.
Bartningstraße 49
64289 Darmstadt
Telefon: (06151) 7001192
Telefax: (06151) 7001204
E-Mail: u.kloeble@ktbl.de

Dipl. Ing. agr. Joachim Hüter

Am Steinkreuz 5
35435 Wettenberg
Tel: (0641) 8772414
E-mail: Joachim.Hueter@freenet.de

Kapitel 9

Forschung und Entwicklung zu Precision Farming als transdisziplinärer Prozess

9.1 Entwicklung von Informationssystemen für das Verbundprojekt und zur Verwendung raumbezogener Informationen

Development of information systems for the collaborative research project and for usage of geospatial data

Ralf Bill, Martin Kofahl & Peter Korduan

Zusammenfassung

Dieses Teilprojekt hatte das Ziel, den Forschungsverbund *pre agro* durch die Bereitstellung einer gemeinsamen Informations- und Dokumentationsplattform zu unterstützen sowie Verfahren für die einfachere Nutzung raumbezogener Informationen in der Landwirtschaft zu entwickeln. Unter Anwendung der Erfahrungen und Ergebnisse aus dem Vorläuferprojekt wurde eine web-basierte Plattform bereitgestellt und fortlaufend dem Bedarf angepasst. Besonderer Wert wurde auf die fachgerechte Archivierung von Geobasis- und Geofachdaten gelegt, da sie für viele Verbundpartner die Datenbasis stellten oder auch stellen werden. Die Bereitstellung von Hilfsmitteln zur sicheren Arbeit mit Geodaten ergänzte dieses Tätigkeitsfeld. Ferner erstreckte sich die Dokumentationsaufgabe auf Mittel zur Erfolgskontrolle und Maßnahmenplanung auf den Versuchsschlägen. Parallel zu den für den Verbund dienstleistenden Tätigkeiten wurden Fortschritte auf dem Gebiet der ortsunabhängigen Verwendung von Geofachdaten für landwirtschaftliche Zwecke erbracht. In Zusammenarbeit mit Verbundpartnern konnten verschiedene Datenbestände durch den einheitlichen Gebrauch von Schnittstellen inhaltlich zusammengeführt und somit redundante und ggf. veraltete Daten vermieden werden. Die Untersuchung von Möglichkeiten zur mobilen Nutzung von Web-GIS und anderen standortbezogenen Informationssystemen lieferten Hinweise über zukünftige Formen mobiler Informationssysteme.

Summary

The goal of this subproject was to support the *pre agro* collaborative research project by providing a shared platform for information and documentation use as well as to develop methods for the simple usage of spatial data in agriculture. A web based platform was installed and continuously improved, using experiences and results of the previous *pre agro* project. The professional archiving of spatial base data and spatial thematic data was one of the main tasks, as these data were and will be the pool for the research association. Developments of utilities to work with spatial data were part of this work. Documentation spanned from simple tasks such as tools for progress monitoring to specific tasks such as planning activities on the fields. Additionally to the service role, a number of results regarding site-independent usage of specialised spatial data for agriculture were achieved. In collaboration with other subprojects, different datasets could be combined with respect to content by using standardised interfaces. Investigations towards a mobile usage of Web-GIS and other location-based information systems gave important information about future forms of mobile information systems.

9.1.1 Einleitung und Problemstellung

Das *pre agro*-Teilprojekt 22 (Entwicklung von internetbasierter Informationsplattform und Datendokumentationssystem für das Verbundprojekt) verbindet die Bereitstellung und Pflege der internen Informationsplattform für das Verbundprojekt als gemeinsame Basis für die Projektplanung, Kommuni-

kation und Archivierung im Internet mit der Entwicklung internetgestützter Werkzeuge zur Nutzung von Geodaten bis in den mobilen Bereich.

Die Informationsplattform, im weiteren als *pre agro* Metainformationssystem *premis* bezeichnet, wurde aus *pre agro* I übernommen (BILL & KORDUAN 2002), weiterentwickelt und über die gesamte Projektlaufzeit gepflegt. Sie umfasst im Wesentlichen die folgenden Module, die für *pre agro* II inhaltlich ausgebaut und an neue Hard- und Softwareumgebungen angepasst werden mussten:

- die gemeinsame Planung von Maßnahmen auf den Versuchsschlägen,
- die Vor- und Nachbereitung von gemeinsamen Veranstaltungen,
- eine Publikationsdatenbank, ebenfalls für den öffentlichen Web-Auftritt,
- ein Archiv über im Verbundprojekt erzeugte oder nutzbare Geodaten,
- Arbeitsbereiche für Teilprojekte und Arbeitsgruppen für Dokumentation und Datenaustausch bzw. -archivierung.

Neue Werkzeuge für die Organisation und Nutzung der im *premis* umfangreich vorhandenen Geodaten waren neben der Überarbeitung und Laufendhaltung der Informationsplattform ein zentraler Gegenstand im Forschungsprojekt. Es wurden zwei Nutzungsbereiche betrachtet:

- a) in das *premis* eingebettete Arbeitsmittel zur Nutzung der meist dort verfügbaren Geodaten und
- b) die entfernte, auch mobile Nutzung von Geodaten.

Dieser Arbeitsbereich behandelte also die Ausweitung und Verbesserung von den mittels Internet-GIS gegebenen Möglichkeiten. Diese sind vielfältig, da sich z. B. objekt-/raumbezogene Geschäftsprozesse vollständig mit dem Austausch und der Verarbeitung von Geodaten abbilden und automatisieren lassen (NASH & KOFAHL 2006). Während das Teilprojekt 7 solche Prozesse detailliert analysierte (vgl. Kapitel 5.1), hatte das TP 22 die Aufgabe, hierfür eine Basis zu schaffen und entsprechende Schnittstellen der Geodatendienste (OGC 2008) zu ermöglichen. Solche standardisierten Schnittstellen sind z. B.

- WMS (Bereitstellung von beliebigen Geodaten in Rasterform),
- WFS (Bereitstellung von Vektordaten),
- WFS-T (Entgegennahme von Vektordaten),
- CSW (Lieferung von Metadaten an Katalogdienste).

Mit diesen vom Open Geospatial Consortium (OGC) erarbeiteten Schnittstellen ergaben sich für dieses Teilprojekt Möglichkeiten zur vor-Ort-Nutzung von Geodaten. Der sich daraus ergebende Vorteil für die informationsgeleitete Landwirtschaft sollte untersucht und veranschaulicht werden.

Zusammengefasst waren somit die Informationsplattform, die Geodatenspeicherung und -bereitstellung sowie das stationäre und mobile Web-GIS zentrale Themen dieses Teilprojektes.

9.1.2 Material und Methode / Vorgehensweise

Im ersten Jahr der Projektlaufzeit standen für dieses Teilprojekt grundsätzliche Aufgaben zur Bereitstellung der aus *pre agro* I bekannten Infrastruktur für die Projektteilnehmer im Vordergrund. Dies betraf nicht nur die Erneuerung von Geräten, sondern in großen Teilen auch die Aktualisierung und Umstellung von Software, die für den ständigen Betrieb der Geräte und Dienste essentiell waren. Insbesondere mussten dringend aktualisiert werden: das Betriebssystem (SuSE 10), die Datenbanken (MySQL sowie für räumliche Objekte PostgreSQL+PostGIS), die Web-Server (Apache, Apache Tomcat) und die Entwicklersprachen (Php, Perl, Java). Hinzu kamen die im Zusammenhang mit der gemeinsamen Arbeit von TP 7 notwendigen Dienstprogramme UMN MapServer³⁴, Geoserver³⁵, deegree³⁶ und GeoNetwork³⁷ zur Bereitstellung von Geodaten über die OGC-Schnittstellen WMS, WFS(-T) und CSW. Die vorgestellte Informationsplattform wurde zu Teilen aus *pre agro* I übernommen und in die aktuelle Systemumgebung eingepasst. Neue Funktionen wurden schrittweise ergänzt, beispielsweise Möglichkeiten zur eigenständigen Einpflege von Dokumenten und Inhalten jeglicher Art in den Projektarbeitsbereichen und weitere im Bericht an späterer Stelle gezeigte Werkzeuge zur Nutzung bzw. Verarbeitung von Geodaten.

Für den verbundinternen Geodatenabruf wurde die aus *pre agro* I bekannte Datenhaltung mitsamt den bereits verfügbaren Geodaten übernommen. Damit standen bereits mehrere tausend Datensätze überwiegend im Shape-Format zur Verfügung, wenngleich nicht alle Versuchsflächen in *pre agro* II von Interesse waren. Während der Projektlaufzeit neu aufgenommene oder ermittelte Geodaten wurden durch die Teilprojekte in die gemeinsame Datenbank eingepflegt.

Nach Aufbau der Infrastruktur stand die Nutzung verteilt vorliegender Geodatenquellen im *premis*-eigenen Web-GIS im Vordergrund. Dazu wurde der Daten-Betrachter aus *pre agro* I durch ein umfangreiches Web-GIS *kvwmap*³⁸ (KORDUAN & ZEHNER 2008) abgelöst. Sowohl im *premis* als auch anderenorts vorliegende Daten (z. B. Orthophotodaten der Vermessungsämter) wurden in das System eingebunden, soweit über die standardisierte WMS/WFS-Schnittstellen verfügbar. Das Web-GIS wurde im Folgenden dem TP 17 vorgestellt und zur eigenen Nutzung in die dortige Infrastruktur eingebunden. Diese Praxiseinführung im Agrarsektor erforderte eine spezifische und fortlaufende Weiterentwicklung, so z. B. der automatisierte Import neuer Geodaten und deren spezifische Integration in die vorhandene bzw. beabsichtigte Struktur der Geodatenbanken. Die im Web-GIS verfügbaren Daten können über eine Export-Funktion in standardisierter Form (OGC-Schnittstellen) firmenintern oder -extern verwendet werden. Mit der Möglichkeit des entfernten Datenzugriffs wurden Wege zur Unterstützung landwirtschaftlicher Abläufe durch mobile Rechentechnik untersucht. Der Anwendungsfall „Bodenbeprobung“ (NASH & KOFAHL 2006) wurde mit dem TP 7 intensiv bearbeitet (vgl. Kapitel 9.1.3 und Statusseminar April 2006) und mit örtlichen Experten der LUFA M-V diskutiert. Der mobile Anwendungsfall wurde mit grundlegenden Arbeiten zur Anwendung der Web-GIS-Technologie im Bereich der mobilen Endgeräte fortgeführt.

Zur Einführung eines standardisierten Datenaustausches von Wetterdaten für das Precision Farming wurden Technologien aus dem Bereich Sensor Web Enablement (SWE) des OGC implementiert und getestet. Im Speziellen wurde ein Sensor Observation Service (SOS) für die Wetterdaten der im Projekt gesammelten Wetterstationen eingerichtet und getestet.

³⁴ <http://mapserver.gis.umn.edu/>

³⁵ <http://geoserver.org/>

³⁶ <http://www.deegree.org/>

³⁷ <http://geonetwork-opensource.org/>

³⁸ <http://www.kvwmap.de/>

9.1.3 Ergebnisse

Der mit diesem Teilprojekt bereitgestellte und gepflegte Server war technische Grundlage für die Informationsplattform im Verbundprojekt und den durch das TP 21 realisierten öffentlichen Web-Auftritt (Web-Server), die Archivierung und Bereitstellung von Statusberichten und Geodaten (Datenbank-Server), den Datenaustausch im Verbund (File-Server) und für Entwicklungen des TP 7 (Geodateninfrastruktur). Dabei wurde eine bis auf Wartungszeiten fast durchgehende Verfügbarkeit sichergestellt. Der Betrieb des Web-Servers machte sich für den Verbund mit der gemeinsamen Informations- und Dokumentationsplattform am deutlichsten bemerkbar. Die Wahl von Soft- und Hardware stand im Einklang mit den erwarteten Anforderungen und der letztendlich zu erbringenden Leistung. Einen Großteil der Speicherkapazität (über 7.000 Rohdatensätzen) haben fachbezogene Geodaten eingenommen, was auch dem Vorhalten von Daten aus *pre agro* I geschuldet ist, die für die Forschung auch längerfristig verfügbar bleiben sollen.

Die Einführung neuer Kommunikationswege, im Speziellen die Videokonferenz am PC, war nicht gewinnbringend. Verschiedene Möglichkeiten ohne oder nur mit geringem finanziellen Aufwand wurden evaluiert. Während einige Produkte an Sicherheitsmechanismen der vielen verschiedenen Einrichtungen im Verbund scheiterten, waren auch technisch vielversprechende Produkte bei den Projektteilnehmern fruchtlos, die in der Praxis etablierte Kommunikationswege vorziehen.

Zur Dokumentation von im Verbund geleisteten Arbeiten und genutzten oder ermittelten Daten standen primär drei etablierte Mechanismen zur Verfügung:

- Gemeinsam wurde die Erstellung von monatlichen Berichten, den Statusberichten, vereinbart, die selbständig in das Informationssystem einzupflegen waren und durch die Projektkoordination überwacht wurden.
- Das mit *pre agro* I entwickelte Metainformationssystem für Geodaten stellte mit seiner spezifischen Kategorisierung von Geodaten auch in diesem Verbund ein geeignetes Mittel zur Archivierung von raumbezogenen Daten dar.
- Ebenfalls in *pre agro* I entwickelt und hier weitergeführt wurde das Betriebstagebuch zur Abstimmung von Maßnahmen auf den Versuchsschlägen.

Für die Arbeit mit Geodaten entwickelte Werkzeuge wurden von Teilnehmern im Verbund konkret angefragt, so z. B. eine Möglichkeit zur (verständlichen) Transformation von Geodaten zwischen den verwendeten Koordinatensystemen. Die im Verbund gebräuchlichen geographischen Bezugssysteme wurden ermittelt und in einer Web-Anwendung zusammengefasst (Abbildung 198). Die Arbeit basiert auf der Programmbibliothek GDAL³⁹.

³⁹ Geospatial Data Abstraction Library, <http://www.gdal.org/>

Koordinatentransformation
Auftrag 811658038

1. Dateien wählen
Bereits geladen sind:

UNREGISTERED

0%

Dateien wählen Abbruch

2. Ausgangs-Koordinatensystem

- bei GPS-Empfängern i. d. R. WGS84
- preagro-Daten meist DHDN, 4. Streifen
- Übersicht zu den Streifen: [Betriebspiegel](#)
- S42/83 nur für DDR-Daten (Volkswirtschaft)

WGS 84
DHDN (Bessel, Rauenberg) / Gauss-Krueger Zone 3
DHDN (Bessel, Rauenberg) / Gauss-Krueger Zone 4
DHDN (Bessel, Rauenberg) / Gauss-Krueger Zone 5
S42/83 (Krassowski, Pulkovo) / Gauss-Krueger Zone 3
S42/83 (Krassowski, Pulkovo) / Gauss-Krueger Zone 4
S42/83 (Krassowski, Pulkovo) / Gauss-Krueger Zone 5

3. Ziel-Koordinatensystem

- bei GPS-Empfängern i. d. R. WGS84
- preagro-Daten meist DHDN, 4. Streifen
- weitere Systeme auf Anfrage

WGS 84
DHDN (Bessel, Rauenberg) / Gauss-Krueger Zone 3
DHDN (Bessel, Rauenberg) / Gauss-Krueger Zone 4
DHDN (Bessel, Rauenberg) / Gauss-Krueger Zone 5
S42/83 (Krassowski, Pulkovo) / Gauss-Krueger Zone 3
S42/83 (Krassowski, Pulkovo) / Gauss-Krueger Zone 4
S42/83 (Krassowski, Pulkovo) / Gauss-Krueger Zone 5

4. Download

Download als zip

- Daten werden erst jetzt umgerechnet
- Vorgang kann einige Minuten dauern

5. Neue Transformation

Neu starten

- nur für ganz neuen Geodatensatz benutzen!
- alte Daten können weiterverwendet werden
- (z.B. zur Abänderung der Bezugssysteme)

pre agro

Admin
Adressen
Aktivitäten
Beirat
Betriebspiegel
Datenbank
Doktoranden
Formulare
Methoden
Mittelungen
Neuigkeiten
Nutzerverwaltung
Statusberichte
Suche
Kartenausschnitt
Veranstaltungen
Veröffentlichungen
Vorstand
Projektbereiche
InternetGIS

Nutzer: **kofahl**

[Startseite preagro!](#)

Abbildung 198: Werkzeug zur Koordinatentransformation

Figure 198: tool for coordinate transformation

Die im Verbundprojekt vorliegenden Geodaten sind nun auch öffentlich recherchierbar. Metainformationen werden in einer räumlichen Datenbank (PostgreSQL) vorgehalten und über den deegree OGC-CSW-Dienst im Web verfügbar. Die Metadaten können in beliebige andere Kataloge eingebunden werden, sofern sie die OGC-CSW-Schnittstelle unterstützen. Für den Web-Auftritt von *pre agro* wurde eine Frontend entwickelt (Abbildung 199), das Recherchen nach Stichwörtern, dem Datenproduzent, dem Gültigkeitszeitraum und nach räumlichen Kriterien zulässt. Da *pre agro*-Daten in der Regel nur einen regionalen Bezug haben, werden die Ergebnisse so präsentiert, dass sofort die räumliche Zuordnung erkennbar ist. Der Zugriff auf die Geodaten ist mit Rücksicht auf die wissenschaftliche Arbeit der Datenproduzenten nur nach Kontaktaufnahme möglich. Dieses Modul ist für andere OGC-CSW-Dienste gleichermaßen nutzbar. Solche können wie in diesem Beispiel der manuellen Recherche dienen (Verknüpfung verschiedener Metadatenbanken) oder automatisiert genutzt werden. Die automatische Nutzung von Katalogdiensten ist in einem betriebsinternen Szenario denkbar, bei dem der Katalogserver zusätzlich die Zugriffsadressen für das direkte Anfordern der recherchierten Daten ausgibt. Prozesse können so ohne weitere Interaktion auf neue Datenquellen zurückgreifen, sobald diese im Netzwerk verfügbar sind.

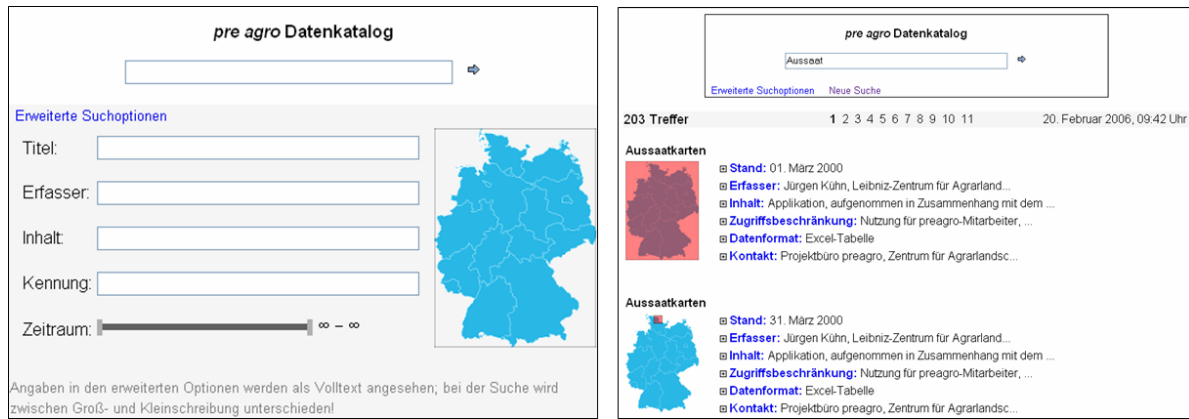


Abbildung 199: Web-Frontend und Ergebnisliste zur Geodatenrecherche

Figure 199: web-frontent and results for enquiring geospatial data

Ein für *pre agro* zur Verfügung gestelltes und weiterentwickeltes Internet-GIS (Abbildung 200) auf der Basis von kwmap dient als Ergänzung zum Geodatenbezug per Download oder via Online-Schnittstellen.



Abbildung 200: *pre agro* Internet-GIS

Figure 200: *pre agro* internet-GIS

Für Basis-Anwendungen macht es ein lokales Desktop-GIS überflüssig und sichert außerdem den Zugriff auf die jeweils aktuellen Daten. Nach zu erwartenden Nutzungszwecken vorbereitete Nutzerprofile („Stellen“) enthalten bereits strukturiertes Datenmaterial. Selbst zusammengestellte Inhalte können per Knopfdruck für den Online-Zugriff via OGC-WMS-Schnittstelle gespeichert werden. Im

Internet-GIS bearbeitete Themenblöcke lassen sich somit unkompliziert in das eigene Desktop-GIS übernehmen. Das System wurde dem im Verbund beteiligten KMU Agro-Sat zur Verfügung gestellt. Verfügbare Daten wurden eingebunden und die Mitarbeiter im Umgang mit diesem Werkzeug geschult. Durch den Einsatz des Internet-GIS wird die informationsgeleitete Pflanzenproduktion im praktischen Einsatz im Betrieb WIMEX effektiv unterstützt.

Die vom *pre agro*-Server online angebotenen Geodaten wurden in Kombination mit anderen Datenquellen genutzt, um die Möglichkeiten und den Nutzen einer Geodateninfrastruktur in der Landwirtschaft zu verdeutlichen. In Zusammenarbeit mit dem TP 7 wurde ein Szenario untersucht, das die verschiedenen bei einer Bodenuntersuchung beteiligten Akteure bezüglich der Datenverarbeitung miteinander verbindet. Das TP 22 hat für dieses Szenario eine Mobilkomponente entwickelt, welche die Koordinierung und Datenaufnahme auf den Schlägen vereinfacht. Durch ein in das Mobilgerät integriertes GPS lässt sich der Probenahmepunkt einfach auffinden. Eine Karte visualisiert die aktuelle Position, die Probenahmepunkte und die Umgebung. Die Probenahmestellen werden über die WFS-Schnittstelle direkt vom Server des Unternehmens angefordert. Sie können am Mobilgerät mit Attributdaten, z. B. einer ID-Nummer, versehen werden, die direkt in den originären Datenbestand eingehen. In Gesprächen mit der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt M-V wurde erörtert, welche Möglichkeiten für eine weiterführende Automatisierung des Datenverkehrs bestehen. So wurde vorgeschlagen, die Bodenproben mit einer computerlesbaren Kennung zu versehen. Im Zuge der Analyse würden die Ergebnisse der computerlesbaren Proben mit dem jeweiligen Vorgang verknüpft werden, so dass sogar das Farm-Management-System des Auftraggebers die Daten automatisch abrufen und einlesen könnte. Wenngleich die zu erwartende Arbeitsvereinfachung auf Resonanz stieß, ist der erforderliche Aufwand für die Umsetzung und Laufendhaltung hoch, so z. B. die Ergänzung hoch-spezifischer Labortechnik, und nicht ohne Beteiligung von Geräteherstellern zu erreichen.

Als Fortführung der Software für den mobilen Anwendungsfall wurde untersucht, inwieweit sich ein Web-GIS mobil nutzen lässt. Der Fokus der Untersuchung lag auf der Verwertung des Standortbezugs in Web-Anwendungen (KOFAHL 2007a). Aufbauend auf vorhandenen Konzepten wurde ein für standortbezogene Web-Anwendungen geeignetes Modell erarbeitet (Abbildung 201). Ein erster Prototyp wurde auf dem Symposium für Angewandte Geoinformatik präsentiert (KOFAHL 2007b). Es handelt sich um einen adaptierten Web-Browser, der Mechanismen zur Positionsermittlung enthält und die so gewonnenen Daten in die Kommunikation einbetten kann. Die Weiterführung dieser Entwicklung kann die Attraktivität von Web-GIS als standortbezogenes Informationsmedium für die mobilen Verwendungen steigern.



Abbildung 201: Schema zu Verwendung von Positionsinformationen im Web

Figure 201: schema for using position data on the web

9.1.4 Diskussion

Das Teilprojekt hatte die Entwicklung einer internetbasierten Informationsplattform und eines Datendokumentationssystems für das Verbundprojekt und der Ausweitung des netzwerkbasierten Informationsaustausches für Fachdaten zur Aufgabe.

Die Informationsplattform wurde je nach Relevanz für die eigene wissenschaftliche Arbeit, mindestens aber zur Abstimmung und Dokumentation im Verbund von den Teilnehmern angenommen. Funktionale Erweiterungen wurden in der Regel seitens der Projektkoordination angefragt und wurden durch die so geleistete Vorabstimmung sofort durch die Nutzer angenommen (Gruppenarbeitsbereiche, Datenaustausch, Geo-Konverter, ...). Lediglich die vorgeschlagene Nutzung der Videokonferenz fand trotz einfachster Technik bei den Teilnehmern kein Interesse. Mit dem Vorteil, elementare Konzepte und Implementierungen zur Datendokumentation aus dem vorangegangenen Projektzeitraum weiter nutzen zu können, konnten Themenkomplexe der Geoinformatik intensiver bearbeitet werden.

Verbindendes Element ist die Geodateninfrastruktur. Geeignete Nutzungsformen aufzuzeigen, war das Anliegen dieser Arbeiten. Die Spezifikation der Schnittstellen (WMS, WFS, usw.) ist ein andauernder Prozess. Die Version 1 der WMS-Schnittstelle kann jedoch als etabliert angesehen werden und wird von vielen Softwareprodukten unterstützt. Die Verfügbarmachung von *pre agro*-Daten in Rasterform war dementsprechend unkompliziert. Der Gebrauch von Vektordaten und Katalogdiensten in einer Geodateninfrastruktur wird derzeit von fortwährenden Weiterentwicklungen der Dienst-Software begleitet. Verschiedene Produkte sind unterschiedlich komplettiert, insbesondere aber auch verschieden stabil. Während der Projektlaufzeit war aus diesem Grund eine Umstellung der Katalogsoftware (CSW) notwendig. Sehr neue Komponenten in einer Geodateninfrastruktur, wie z. B. die Authentifizierung und Autorisierung, fanden in die Arbeit des TP 22 keinen Einzug, da diese Spezifikationen teilweise noch eher rudimentär sind.

Für das in *pre agro* bereitgestellte Internet-GIS waren die zur Verfügung stehenden Geo-Dienste jedoch ausreichend und zweckmäßig. Das GIS stellte in erster Linie ein Auskunftssystem für *pre agro*-

interne Zwecke dar und konnte deshalb individuell und gemäß programmtechnischer Möglichkeiten angepasst werden. Die Entwicklung eines Internet-GIS für die standardisierte Bereitstellung von Geodaten für das Precision Farming ist auf wissenschaftlicher Ebene weitestgehend abgeschlossen. Die Installation in einem Betrieb und der operative Einsatz in der Praxis wurden bereits in diesem Projekt erprobt. Jetzt steht vor allem die Überführung bestehender Systeme zu den neuen standardisierten Technologien sowie die Homogenisierung der in den landwirtschaftlichen Betrieben existierenden Geodaten im Vordergrund. Die im Projekt als freie Software entwickelte Internet-GIS steht Dienstleistern und jedem Landwirt, der an Precision Farming interessiert ist, zur Verfügung. Ein wesentlicher Aspekt für die zukünftige Weiterentwicklung muss die Implementierung der Geschäftsprozesse der landwirtschaftlichen Betriebe über standardisierte Dienste sein.

Die Kapazität einer Geodateninfrastruktur auszuschöpfen ist Anliegen der Client-Entwicklung. Neben der üblichen Verwendung der Rasterdatendienste bietet vor allem der Web Feature Service (WFS) ausgedehnte Möglichkeiten. Der vorgestellte Prototyp schöpft die zur Verfügung stehenden Mittel nicht aus, demonstriert aber wie raumbezogene Sachdaten ortsunabhängig genutzt werden können. Mit dem voraussichtlichen Anstieg angebotener Geodatendienste wird der Überblick verloren gehen. Bisher unabhängige Katalogdienste, soweit überhaupt vorhanden, werden stärker vernetzt werden müssen, um Datenquellen auffinden zu können. Dabei wird für Fachanwendungen, z. B. dem landwirtschaftlichen Bereich, ein einheitliches Datenschema eine große Rolle spielen.

Die Ausweitung von Web-GIS auf mobile Nutzungsszenarien ist ebenso ein aktuelles Thema, das zukünftig weiter verfolgt werden muss. Die Fähigkeit mobiler Endgeräte, zunehmend ähnliche Aufgaben wie Desktop-PCs zu übernehmen, wird sich fortsetzen. Der überdies auftretende Raumbezug wird für einige Anwendungen einen Mehrwert im Vergleich zu Desktop-Anwendungen darstellen. Konsequenterweise wurde die Eignung mobiler Web-Browser für den Einsatz von GIS untersucht. Angesichts mehrfacher Aufwendungen für die Entwicklung verschiedener Systeme für stationäre und mobile Rechner kann ein Web-GIS als Kosten sparende Alternative gelten.

Literatur

- BILL, R. & P. KORDUAN (2002): *pre agro* Management- und Informationssystem premis. In: Werner, A. & A. Jarfe [Hrsg.]: Precision Agriculture: Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis; Tagungsband Precision Agriculture Tage, 13. – 15. März 2002 in Bonn. Darmstadt 2002, S. 339 – 352. (KTBL-Sonderveröffentlichung 038).
- KOFAHL, M. (2007a): Mobile Nutzung von Location Based Services im Web. In: GIS – Zeitschrift für Geoinformatik. Nr. 4, 2007. S. 28 – 34.
- KOFAHL, M. (2007b): Standortübermittlung für Location Based Services im World Wide Web – ein Beitrag zur Standardisierung. In: Strobl, J., T. Blaschke & G. Griesebner [Hrsg.]: Angewandte Geoinformatik 2007, Beiträge zum 19. AGIT-Symposium, Salzburg 2007, S. 390 – 398. ISBN 978-3-87907-451 – 8.
- KORDUAN, P. & M.L. ZEHNER (2008): Geoinformation im Internet. Technologien zur Nutzung raumbezogener Informationen im WWW. Wichmann Verlag. S. 281 – 286. ISBN 978-3-87907-456-3.
- NASH, E. & M. KOFAHL (2006): Special interest SDIs to support business processes. In: Suarez, J. & M. Bela [Hrsg.]: 9th AGILE International Conference on Geographic Information Science:

Shaping the future of Geographic Information Science in Europe. Székesfehérvár, Hungary.
ALTO Press 2006, S. 72 – 79. ISBN 963-229-422-X.

OGC (2008): OpenGIS Standards and Specifications. <http://www.opengeospatial.org/standards>, Aufruf: 23.01.2008.

Anschrift der Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Ralf Bill

Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Institut für Management ländlicher Räume
Justus-von-Liebig-Weg 6
18059 Rostock
Telefon: (0381) 4983200
Telefax: (0381) 4983202
E-Mail: ralf.bill@uni-rostock.de

Dipl. Ing. Martin Kofahl

Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Institut für Management ländlicher Räume
Justus-von-Liebig-Weg 6
18059 Rostock
Telefon: (0381) 4983212
Telefax: (0381) 4983202
E-Mail: martin.kofahl@uni-rostock.de

Dr.-Ing. Peter Korduan

Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Institut für Management ländlicher Räume
Justus-von-Liebig-Weg 6
18059 Rostock
Telefon: (0381) 4983212
Telefax: (0381) 4983202
E-Mail: peter.korduan@uni-rostock.de

9.2 Öffentlichkeitsarbeit für das Verbundprojekt *pre agro*

Public relations of the collaborative research project *pre agro*

Frank Dreger, Claudia Nikschtat, Reinhart Schwaiberger, Jürgen Schwarz, Karin Stahl, Armin Werner & Kirstin Wulf

Zusammenfassung

Ziel von *pre agro* II waren Forschungsarbeiten, die sich nicht nur auf landwirtschaftliche Nutzflächen bezogen sondern in einen umfassenderen betrieblichen und gesellschaftlichen Kontext eingebunden waren. Neben den pflanzenbaulich relevanten Produktionsveränderungen durch Precision Farming sollten vermehrt die ökologisch, ökonomisch und informationstechnologisch bedeutsamen Wirkungen des Precision Farming an eine erweiterte Fachöffentlichkeit kommuniziert werden. Das Projekt hatte bei der Kommunikation seiner Ergebnisse folgende Zielgruppen im Auge: (i) die landwirtschaftliche Praxis und landwirtschaftliche Unternehmen, (ii) die wissenschaftliche Öffentlichkeit sowie (iii) eine erweiterte Öffentlichkeit.

Die Teilprojekte von *pre agro* waren für die wissenschaftliche Verbreitung ihrer Ergebnisse verantwortlich, dies erfolgte über Publikationen und Präsentationen auf Fachtagungen. Die Öffentlichkeitsarbeit hat Ergebnisse des Projektes insbesondere über folgende Wege kommuniziert: (i) Erstellung und Pflege der Projekthomepage <http://www.preagro.de> (ii) Auftritte des Verbundprojektes auf Messen und Feldtagen, (iii) eigene Durchführung öffentlicher Veranstaltungen und (iv) eigene Pressearbeit.

Zusammenfassend kann die Öffentlichkeitsarbeit von *pre agro* sehr positiv bewertet werden. Dies belegen die Resonanz auf die Auftritte des Verbundes auf Messen und Feldtagen sowie auf die selbst durchgeführten Veranstaltungen. Es ist als großer Erfolg zu verzeichnen, dass an diesen Veranstaltungen Führungskräfte aus verschiedenen Bereichen teilnahmen. Der Zugriff auf die Homepage des Verbundes stieg während der Projektlaufzeit kontinuierlich an. Die zunächst nicht zufriedenstellende Präsenz in Tages- und Wochenzeitungen konnte in der zweiten Projekthälfte erheblich gesteigert werden. Insgesamt erschienen 2007 und 2008 im Printbereich (inkl. Internetzeitungen) 19 Beiträge, die in unterschiedlichster Form Bezug auf die Arbeiten von *pre agro* nahmen. Zusätzlich wurden zwei Hörfunk- und ein Fernsehbeitrag über Precision Farming mit Beiträgen von *pre agro* erstellt und gesendet.

Summary

The research activities of *pre agro* II not only comprised agricultural subjects but were also integrated into a larger economic and social context. In addition to issues concerning changes in crop production by means of precision farming, the target of the project's public relation was to communicate topics dealing with the effects of precision farming on the economy, ecology and information technology to a broader public. The issues should be communicated to the following target groups: (i) agricultural practice, (ii) scientific community and (iii) broader public.

The subprojects of *pre agro* were responsible for distributing their results to the scientific community. This was done by publications and presentations on scientific congresses. Public relations of the project distributed results of the projects by the use of (i) developing and maintaining the project website <http://www.preagro.de>, (ii) participation on fairs and field days, (iii) organising its own public events and (iv) its own media relations.

Summing up, public relations of *pre agro* were very successful. This can be demonstrated by the positive feedback on the projects' participations on fairs and field days as well as the positive feedback on its own events. A good achievement was the participation of executive managers from various areas. Visits to the project website continuously increased during the time span of the project. The perception of the project in the media was not satisfactory in the first half of the project, but could be increased in the second half. Altogether, 19 articles referring to different aspects of the project were printed in daily and weekly newspapers (incl. electronic papers). Additionally, two radio features and one television feature referring to the project were broadcasted.

9.2.1 Einleitung

Ziel von *pre agro* II waren Forschungsarbeiten, die sich nicht nur auf landwirtschaftliche Nutzflächen bezogen sondern in einen umfassenderen betrieblichen und gesellschaftlichen Kontext eingebunden waren. Möglichkeiten, die sich durch die informationsgeleitete Pflanzenproduktion im Hinblick auf nachhaltiges Wirtschaften eröffnen, sollten analysiert und exemplarisch implementiert werden. Diese Themen galt es, neben den wissenschaftlichen Fragestellungen des Projektes, während der Projektlaufzeit an eine interessierte Öffentlichkeit zu kommunizieren. Neben den pflanzenbaulich relevanten Produktionsveränderungen durch Precision Farming sollten vermehrt die ökologisch, ökonomisch und informationstechnologisch bedeutsamen Wirkungen des Precision Farming an eine erweiterte Öffentlichkeit kommuniziert werden. Daher standen nicht ausschließlich Wissenschaft, Landwirtschaft und der Landwirtschaft nahestehende Personen im Fokus der Öffentlichkeitsarbeit.

Dies erforderte ein Konzept zur Kommunikation von Projekthinhalten, das festlegt, welche Inhalte und wie diese an verschiedene Zielgruppen zu kommunizieren sind. Mehrertrag und Mitteleinsparung durch Precision Farming waren hierbei nicht vorrangig, mussten sich aber im Gesamtkontext wiederfinden, wenn eine breitere Öffentlichkeit Precision Farming als ein gangbares Bewirtschaftungskonzept für die Zukunft akzeptieren soll. Vorrangiges Ziel der Öffentlichkeitsarbeit war daher die vielschichtige Kommunikation über Möglichkeiten und Auswirkungen des Precision Farming. Die Kommunikationsstrategie sollte insgesamt Kenntnisse zum Precision Farming transportieren und beschränkte sich nicht auf das Projekt und seine Ergebnisse. In diesem Beitrag werden wesentliche Aspekte der Öffentlichkeitsarbeit von *pre agro* vorgestellt.

9.2.2 Methoden

Die Organisation von zentralen Aufgaben des Verbundprojektes *pre agro* war Aufgabe von Projektleitung und Teilprojekt 21 „Projektkoordination“, der auch die Betreuung der Öffentlichkeitsarbeit oblag. Die konkrete Umsetzung der Öffentlichkeitsarbeit erfolgte während der Projektlaufzeit durch die Firma Diva Enterprises sowie das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung gGmbH (Berlin) in enger Abstimmung mit der Projektkoordination.

Arbeitsfortschritt und Ergebnisse von *pre agro* wurden während der Projektlaufzeit kontinuierlich veröffentlicht. Dabei wurden folgende Medien genutzt:

- Projekthomepage <http://www.preagro.de>
- Publikation wissenschaftlicher Artikel; kontinuierliche Information über Publikationen auf der Projekthomepage
- Beiträge in Fachzeitschriften

- Präsentationen auf Kongressen
- Auftritte auf Messen und Feldtagen
- Durchführung eigener Feldtage
- Kommunikation von Pressemitteilungen an spezifische Verteiler
- Einstellen von Pressemitteilungen in den „Informationsdienst Wissenschaft“ (<http://idw-online.de/pages/de/>)
- Abschlussveranstaltung.

Die Öffentlichkeitsarbeit griff zur Erfüllung der gesetzten Ziele einerseits auf die Teilprojekte in *pre agro* zurück. Bei Bedarf wurden diese mit ihren Ergebnissen und Kompetenzen in die Öffentlichkeitsarbeit einbezogen. Darüber hinaus wurden im Sinne der Kommunikation von Kenntnissen zum Precision Farming auch Themen aufgegriffen, die nicht unmittelbar im Rahmen des Verbundprojektes *pre agro* bearbeitet wurden.

Das Projekt hatte bei der Kommunikation seiner Ergebnisse folgende Zielgruppen im Auge: (i) die landwirtschaftliche Praxis und landwirtschaftliche Unternehmen, (ii) die wissenschaftliche Öffentlichkeit sowie (iii) eine erweiterte Öffentlichkeit. Letztere sollte sich auf Gruppen konzentrieren, die ein hohes Interesse an der Entwicklung der Landwirtschaft und des ländlichen Raumes haben, bzw. dort starkes Engagement zeigen, ohne notwendigerweise selbst in der Landwirtschaft tätig zu sein. Hierzu wurden u. a. das Agrarumfeld (wie z. B. zugeordnete Verbände und Handel), Kirchen und ihre Vertretungen, Wirtschafts- und Verwaltungskräfte, Verbraucher- sowie Naturschutzorganisationen und ihre Vertretungen gerechnet.

Diese Zielgruppen wurden insbesondere über folgende Kommunikationswege erreicht:

i) Landwirtschaftliche Praxis und Industrieunternehmen

Hier sind insbesondere folgende Kommunikationswege zu nennen:

- Präsenz auf der Agritechnica 2005 (eigener Stand, Vorträge auf verschiedenen Foren)
- Präsenz auf der Agritechnica 2007 (Vorträge auf verschiedenen Foren)
- Präsentation von verschiedenen Einstiegsvarianten in das Precision Farming auf den DLG-Feldtagen 2006 (gemeinsam mit dem Forschungsverbund PIROL)
- der auf den Flächen des Partnerbetriebes Täger-Farny in Groß Twülpstedt durchgeführte Feldtag des Verbundprojektes im Juni 2007
- Beiträge in landwirtschaftlichen Fachzeitschriften. Insbesondere ist hier die vom KTBL herausgegebene Zeitschrift LANDTECHNIK zu nennen, die dem Projekt – analog zu *pre agro* I – ab der Ausgabe 1/2007 bis zur Ausgabe 2/2008 (insgesamt acht Ausgaben) ermöglichte, einen Artikel je Ausgabe kontinuierlich zu publizieren.

Ergänzend wurde die landwirtschaftliche Praxis durch gezielte Fortbildungsveranstaltungen des Teilprojektes 20 erreicht (siehe Kapitel 8.2).

ii) Wissenschaftliche Öffentlichkeit

Hinweise auf Publikationen, die während der Projektlaufzeit entstanden, wurden kontinuierlich auf der Projekthomepage eingestellt. Wo immer möglich, wurden pdf-Dateien zum Download angeboten bzw. Links auf diejenigen Beiträge gesetzt, die im Internet frei verfügbar sind. Einzelne Teilprojekte des Verbundprojektes waren auf zahlreichen wissenschaftlichen Kongressen während der Projektlaufzeit vertreten, u. a.:

- 5th ECPA, 8. – 11. Juni 2005, Uppsala, Schweden
- 26. GIL-Jahrestagung, 6. – 8. März 2006, Hasso-Plattner-Institut für Softwaresystemtechnik an der Universität Potsdam
- CIGR World Congress „Agricultural Engineering for a Better World, 3. – 7. September 2006, Bonn
- 4th World Congress on Computers in Agriculture, 24. – 26. Juli 2006, Orlando, Florida, USA
- 8th ICPA, 23. – 26. Juli 2006, Minneapolis, Minnesota, USA
- 27. GIL-Jahrestagung, 5. – 7. März 2007, Universität Hohenheim, Stuttgart
- 6th ECPA, 3. – 6. Juni 2007, Skiathos, Griechenland.

iii) Breitere Öffentlichkeit

In den ersten beiden Projektjahren erfolgte die Kommunikation an die Öffentlichkeit insbesondere über die Homepage sowie über die Auftritte des Verbundes bei Messen und Feldtagen. Im letzten Projektjahr legte die Projektleitung verstärkten Wert auf die Kommunikation von Projektergebnissen über allgemeine Medien. Dabei wurde in Printmedien, in Radiosendungen sowie in einem Fernsehbeitrag über Precision Farming unter Einbeziehung von Materialien von *pre agro* berichtet.

9.2.3 Ergebnisse

9.2.3.1 Internet-Auftritt (<http://www.preagro.de>)

Die Projekthomepage wurde gegenüber *pre agro* I deutlich überarbeitet und mit neuen Inhalten im Mai 2005 ins Internet gestellt. Sie war Drehscheibe der internen und externen Kommunikation. Der externe Bereich stellte gewissermaßen die Außensicht für das Projekt dar.

Der Internetauftritt gab in umfassender Form die Inhalte des Verbundprojektes *pre agro* wieder (siehe Abbildung 202). Neben einer Einführung in das Projekt inkl. der Projektstruktur stellte jedes Teilprojekt zu Beginn des Vorhabens seine Forschungsansätze und seine Stellung im Verbund dar. Diese Darstellungen wurden im Projektverlauf aktualisiert. Struktur und Ziele der Teilprojekte, Projektbereiche und Querschnittsprojekte wurden so deutlich. Alle Projektpartner und Mitarbeiter waren im öffentlichen Internetauftritt aufgeführt, die Adressdatenbank wurde stets aktuell gehalten. Auf der Projekthomepage wurden Veranstaltungen des Projektes angekündigt, sowie Publikationen, Pressemitteilungen und Presseberichte eingestellt. Arbeitsfortschritte der Teilprojekte wurden im Rahmen von „News“ allgemein verständlich und in reduziertem Umfang dokumentiert. Im Verlauf des Projektfortschritts und durch die Neuausrichtung der Öffentlichkeitsarbeit im letzten Projektjahr wurde ein neuer Bereich „Presse“ eingerichtet. Bis auf diesen Bereich waren alle Seiten zweisprachig (deutsch/englisch) verfügbar.

Auf der öffentlichen Seite wurden alle im Rahmen von *pre agro* I und II entstandenen Publikationen aufgeführt und, wo immer möglich, direkt als Download angeboten. Dies erfolgt i.d.R. als pdf-file, die Dateien wurden im *premis* des TP 22 an der Universität Rostock gehalten. Seit Ende 2005 konnte der bis dahin ausschließlich vom KTBL vertriebene Abschlussbericht von *pre agro* kapitelweise digital heruntergeladen werden.

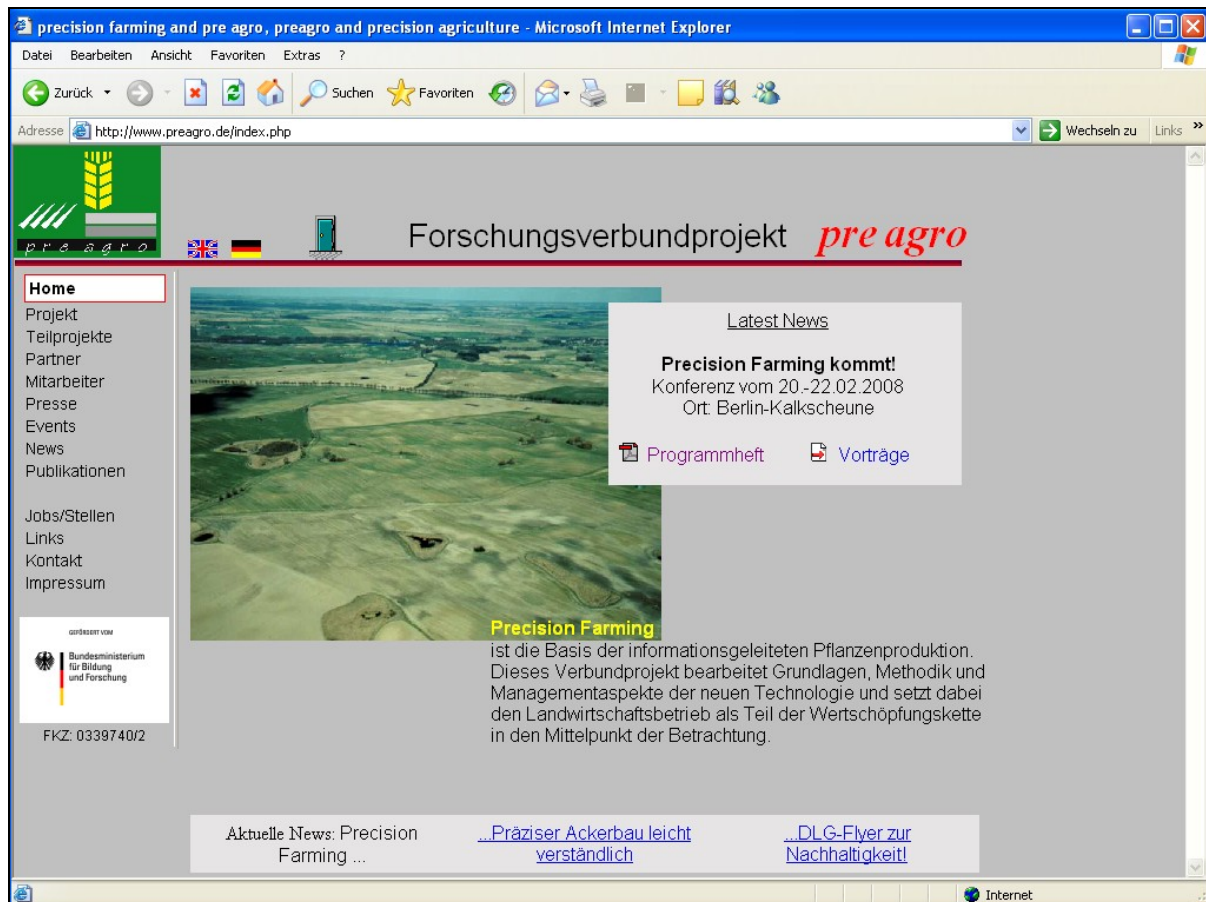


Abbildung 202: Deutschsprachige Startseite der Homepage <http://www.preagro.de> (Ende Februar 2008, nach der Abschlusskonferenz)

Figure 202: German welcome page of <http://www.preagro.de> (as of end of February 2008 after the closing conference)

Über die aktuelle *pre agro*-Homepage war auch ein Zugriff auf die Seiten des Vorläuferprojekts möglich. Da alle Publikationen incl. aller Zwischenberichte beider Projektphasen sowie der Abschlussbericht von *pre agro* I im externen Bereich verfügbar waren, mindestens jedoch zitiert wurden, war gewährleistet, dass ein Besucher sich über Inhalte beider Projekte umfassend informieren konnte. Der Abschlussbericht von *pre agro* II wird nach Fertigstellung ebenfalls auf der Projekthomepage verfügbar sein und damit den „Schlussstein“ zu den Projektinhalten von *pre agro* darstellen.

Die Projekthomepage wurde innerhalb der Projektlaufzeit zunehmend durch die Öffentlichkeit genutzt (Abbildung 203). Im ersten Projektjahr besuchten pro Monat durchschnittlich 1.200 unterschiedliche externe Nutzer die Homepage. 2006 steigerte sich diese Zahl auf ca. 1.940 und 2007 auf durchschnittlich ca. 2.360 unterschiedliche externe Nutzer/Monat. Im Umfeld der Abschlussveranstaltung in Berlin

konnten im Februar 2008 mehr als 3.300 unterschiedliche Benutzer mit erstmals mehr als 5.000 Besuchen registriert werden.

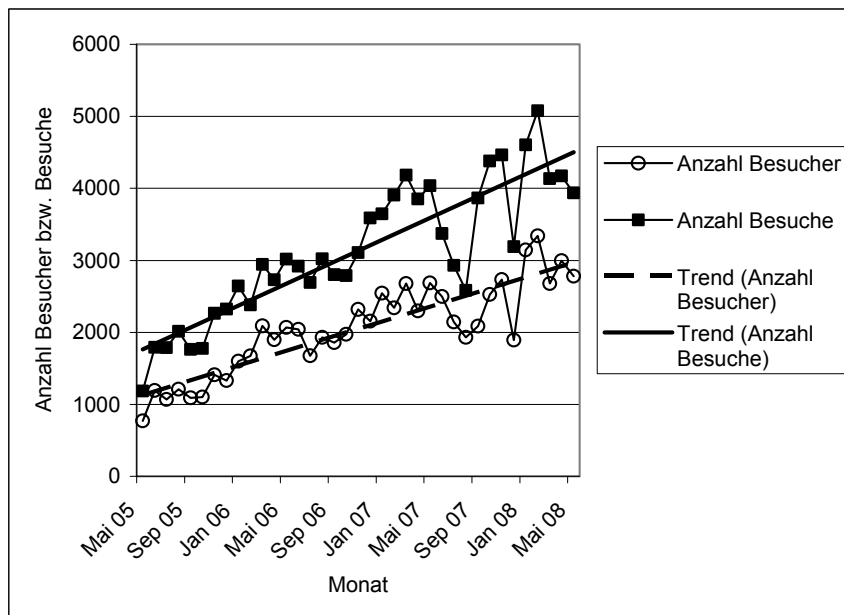


Abbildung 203: Anzahl Besucher und Besuche der *pre agro*-Homepage von Mai 2005 bis Mai 2008

Figure 203: Number of visitors (Besucher) and visits (Besuche) of the project homepage between May 2005 and May 2008

Die Projekthomepage ist auch nach Abschluss des Vorhabens mit allen Informationsangeboten verfügbar. Insgesamt wurden im ersten Halbjahr 2008 (Januar bis Juni 2008) durchschnittlich 3.092 unterschiedliche Benutzer/Monat registriert. Nach der Abschlusskonferenz in Berlin wurden insbesondere die als pdf-Dateien angebotenen Vorträge der Konferenz stark nachgefragt.

Die steigende Zahl der Zugriffe machte sich auch im Ranking bei der Suchmaschine Google bemerkbar. Im Februar 2008 wurden die *pre agro*-Seiten unter dem Begriff „Precision Agriculture“ auf Platz 4 (Seiten nur aus Deutschland: Platz 2) und unter dem Begriff „Precision Farming“ auf Platz 10 (nur Seiten aus Deutschland: Platz 6) gerankt (siehe Abbildung 204).

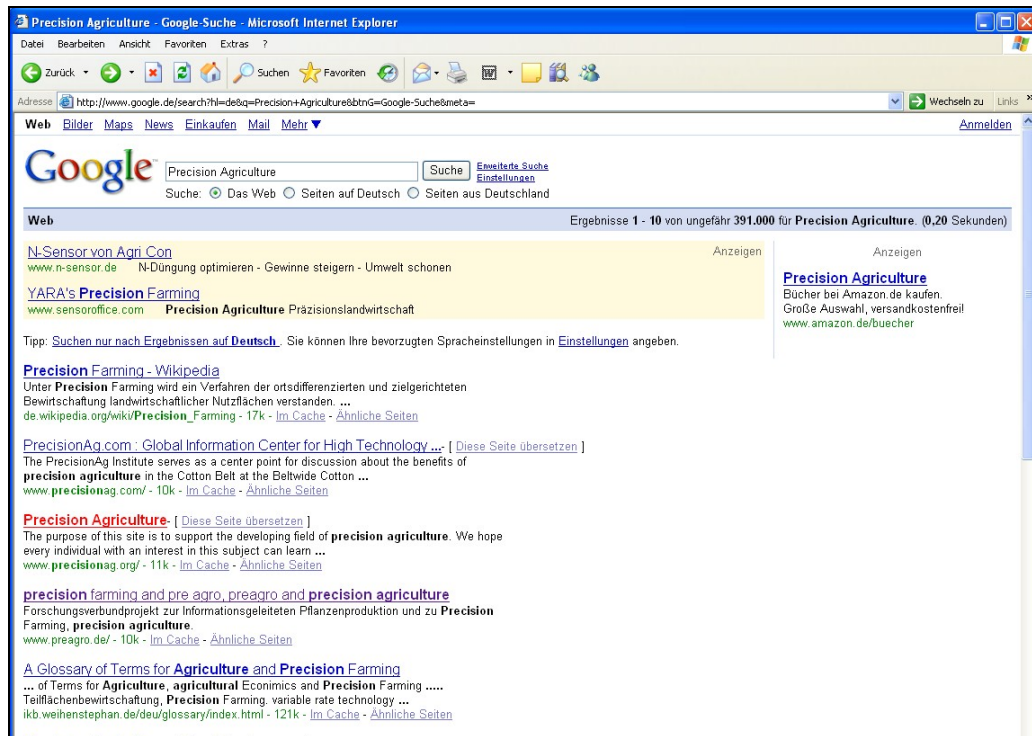


Abbildung 204: Screenshot einer Google™ -Suche zum Begriff „Precision Agriculture“ im Februar 2008

Figure 204: Screenshot of a Google™ request concerning “Precision Agriculture” in February 2008

Die weitaus meisten Zugriffe auf die Homepage erfolgten anfänglich direkt. Zugriffe über eine Suchmaschine waren zunächst wesentlich seltener. Im Januar 2006 waren z. B. 97,8 % aller Zugriffe direkt, während nur 1,9 % aller Zugriffe über Suchmaschinen erfolgten (0,3 % Links von externen Seiten). In Zusammenarbeit mit der Universität Rostock wurde die Projekthomepage dahingehend umgestaltet, dass sie bei gleichem optischen Auftritt für Suchmaschinen besser auffindbar war. Bei insgesamt gestiegenen Zugriffen (siehe Abbildung 203) waren im Januar 2008 64,2 % aller Zugriffe direkt, während 28 % der Zugriffe über Internet-Suchmaschinen erfolgten (7,8 % Links von externen Seiten).

Wo es sinnvoll war, wurden auf externen Seiten Links auf die *pre agro*-Homepage gesetzt bzw. um diese Links gebeten. So wurde z. B. in der im Internet verfügbaren freien Enzyklopädie Wikipedia auf den deutschen und englischen Seiten je ein Beitrag unter dem Stichwort „Precision Farming“ eingetragen und mit der *pre agro*-Homepage verlinkt.

9.2.3.2 Präsenz bei Messen und Feldtagen

a) Agritechnica 2005

Messestand

Das Verbundprojekt nutzte die Möglichkeit, sich zur Agritechnica 2005 (Hannover, 6. – 12.11.2005) im Rahmen des Agritechnica-Specials „Getreideernte – sauber, sicher, schnell“ zu präsentieren. Die DLG als Veranstalter hatte dafür freundlicherweise kostenlose Ausstellungsfläche zur Verfügung gestellt.



Abbildung 205: Stand des Forschungsverbundes *pre agro* auf der Agritechnica 2005

Figure 205: Stand of the research project *pre agro* during the Agritechnica 2005

Auf 11 m² Standfläche wurde das Grundkonzept des Forschungsverbundes anhand eines 10 m² großen Banners am Stand visualisiert. Dazu wurden die Bildkomponenten Wertschöpfungskette Lebensmittel auf ein Banner mit 5 m * 2 m umgesetzt (siehe Abbildung 205). Die Projektbereiche fertigten inhaltliche Überblickspräsentationen an, die im einheitlichen Design auf einem Großbildschirm und einem weiteren Laptop selbständig abliefen. Der Großbildschirm fungierte dabei als zusätzlicher Blickfang, um Besucher für den Stand zu interessieren und ihre Aufmerksamkeit zu binden. Intensivere Gespräche konnten mit Unterstützung der Präsentation am Laptop, auf dem weiteres Material zu *pre agro* zur Verfügung stand, geführt werden. Der Stand war während der gesamten Ausstellung mit mindestens zwei kompetenten Personen durchgängig besetzt. Neben einem Vertreter der Öffentlichkeitsarbeit und den Mitarbeitern der Projektkoordination wurde der *pre agro*-Stand von verschiedenen Vertretern der auf der Messe ebenfalls teilnehmenden Teilprojekte phasenweise betreut.

Foren

Die DLG als Messeveranstalter hatte *pre agro* für die Agritechnica 2005 insgesamt drei Foren (Sonntag, 6.11.2005 bis Dienstag, 8.11.2005, jeweils 12:00 – 13:00 Uhr, je drei Referate mit Diskussion, dazu Moderation) zur Verfügung gestellt. Davon wurden zwei Foren durch *pre agro* organisiert (je eines durch die Öffentlichkeitsarbeit und durch das TP 20 „Transfer“), an dem dritten Forum (Organisation durch die Universität Bonn) beteiligte sich *pre agro* durch das TP 10. Die Foren im Einzelnen:

- Precision Farming: Effizientes Informationsmanagement in der Pflanzenproduktion (Organisation: *pre agro*, AG Öffentlichkeitsarbeit)
- Precision Farming: Ertragskarten im Getreideanbau erfolgreich nutzen (Organisation: *pre agro* – TP 20/KTBL)
- Precision Farming: Neue Perspektiven für den Pflanzenschutz (Organisation und Durchführung: Universität Bonn).

Die Foren waren durchweg gut besucht, je Forum konnten 50 bis 80 Besucher gezählt werden. Die Möglichkeiten zur Diskussion mit einer breiten Interessensgruppe ließen diese Präsentationsform als sehr gut geeignet erscheinen.

b) DLG-Feldtage 2006

Im Jahr 2006 erfolgte ein gemeinsamer Auftritt mit dem von der Volkswagen-Stiftung finanzierten Verbund PIROL der Fachhochschule Osnabrück (Projektleiter: Prof. Trautz) auf den DLG-Feldtagen. PIROL arbeitet ebenfalls zu Aspekten des Precision Farming. Die DLG-Feldtage fanden vom 20. – 22.6.2006 auf der Hessischen Staatsdomäne Baiersröderhof (Hammersbach) statt. Die Feldtage stellen eine zentrale Veranstaltung im Bereich Landwirtschaft dar, mit der insbesondere Pflanzenbaubetriebe erreicht werden.

Dieser Auftritt war ein wesentlicher Beitrag zum Transfer von Forschungsergebnissen zu Precision Farming in die landwirtschaftliche Praxis. Im Rahmen des Gemeinschaftsauftritts wurde ein zielgruppenorientiertes Konzept mit drei Ausstattungs- und Nutzungspfaden für den Einsatz von Precision Farming (mini, kompakt, kombi) vorgestellt. Ziel war es, auf die Bedürfnisse und Möglichkeiten unterschiedlicher Betriebsstrukturen bei der Praxiseinführung von Precision Farming gezielter eingehen zu können. Die Vorstellung der drei Varianten wurde durch Exponate der Firmen Agri Con GmbH, Agrocom GmbH & Co. Agrarsysteme KG, Agro-Sat Consulting GmbH, geo-konzept GmbH, John Deere, Kemira, satconsystem und WTK-Elektronik GmbH unterstützt. Ergänzend wurden in einem „Wissenschaftszelt“ aktuelle Forschungsarbeiten der Projekte PIROL und *pre agro* durch Mitarbeiter der beiden Projekte vorgestellt. Der gemeinsame Auftritt zweier Forschungsverbünde eröffnete die Möglichkeit, einer intensiven, facettenreichen Darstellung von Precision Farming bzw. der informationsgeleiteten Pflanzenproduktion für die landwirtschaftliche Praxis.

Durch die Varianten mini, kompakt und kombi konnte dargestellt werden, dass ein Einstieg in Precision Farming in verschiedenen – auch kleinen! – Betriebsstrukturen möglich ist. Die Resonanz war sehr positiv; zahlreiche Praktiker haben den Gemeinschaftsstand *pre agro*/PIROL gezielt aufgesucht, um sich über Precision Farming zu informieren. Von beiden Verbundprojekten standen mehrere Wissenschaftler für die Betreuung des Standes zur Verfügung. Die Zusammenarbeit mit dem Verbund PIROL war sowohl im Vorfeld als auch bei der Durchführung des Auftritts äußerst zielorientiert und kooperativ.



Abbildung 206: Gemeinschaftsstand der Verbundprojekte PIROL und *pre agro* auf den DLG-Feldtagen 2006

Figure 206: Joint stand of the research projects PIROL and *pre agro* during the DLG field days in 2006

c) Agritechnica 2007

Im Gegensatz zu 2005 erfolgte auf der Agritechnica 2007 keine Standpräsentation durch *pre agro*. Stattdessen wurden auf dem Agritechnica-Forum 2 insgesamt fünf Fachforen durchgeführt, die durchgängig gut besucht waren (ca. 45 – 60 Teilnehmer je Forum). Themen der Fachforen mit *pre agro*-Beteiligung waren:

- Effizientes Datenmanagement in der Landwirtschaft mit agroXML – Lösungen für die Praxis (12.11.2007, 11:00 – 12:00 Uhr; *pre agro*, Agrocom, INL, KTBL, DLG)
- Precision Farming: neue Ansätze in der Fernerkundung (15.11.2007, 11:00 – 12:00 Uhr; *pre agro*, VISTA, DLG)
- Entscheidungsregeln für Precision Farming (15.11.2007, 13:00 – 14:00 Uhr; *pre agro*, Martin-Luther-Universität Halle)
- Precision Farming – Fortschritte und Stolpersteine auf dem Weg in die Praxis (16.11.2007, 13:00 – 14:00 Uhr; *pre agro*, KTBL, DLG)
- Effizientes Datenmanagement in der Landwirtschaft mit agroXML – Lösungen für die Praxis (17.11.2007, 11:00 – 12:00 Uhr; *pre agro*, Agrocom, INL, KTBL, DLG)



Abbildung 207: Eindruck vom Forum "Entscheidungsregeln für Precision Farming" auf der Agritechnica 2007
 Figure 207: Impression of the forum "Entscheidungsregeln für Precision Farming" at the Agritechnica 2007

9.2.3.3 Eigene Veranstaltungen

Feldtag Träger-Farny

Für die Außenwirkung des Verbundprojektes war neben den Messeauftritten die Durchführung eines öffentlichen Feldtages beim Projektbetrieb von Herrn Träger-Farny am 12.6.2007 ein zentrales Ereignis. Bei diesem Feldtag wurden Arbeiten des Verbundprojektes auf dem „Anwendungsschlag“ des Betriebes Träger-Farny vorgestellt. Anwendungsschläge waren im letzten Projektjahr auf beiden Partnerbetrieben des Verbundes eingerichtet worden, um die bis dahin entwickelten Methoden integrativ zu testen, Schwachstellen zu analysieren und in der verbleibenden Projektlaufzeit Anpassungen vornehmen zu können. Der Feldtag war so organisiert, dass vormittags Vorträge von Projektmitarbeitern zu ihren aktuellen Arbeiten gehalten wurden und nachmittags die durchgeführten Arbeiten auf dem Anwendungsschlag an verschiedenen Stationen im Feld in Augenschein genommen und vor Ort diskutiert wurden. Eine kleine Landtechnikausstellung zu Aspekten des Precision Farming wurde ebenfalls organisiert.

Die hohe Wertschätzung, die dem Forschungsverbund entgegengebracht wurde, drückte sich in der interessierten und starken Beteiligung von Landwirten, Verbands- und Wirtschaftsvertretern aus. Unter anderem konnten Vertreter von 10 Wirtschaftsunternehmen von Landmaschinenherstellern und Softwarefirmen, darunter vier Geschäftsführer, begrüßt werden.

Konferenz: Precision Farming kommt!

2007 wurde ein umfassendes Konzept für die Abschlusskonferenz von *pre agro* erarbeitet. Nach zwei Förderphasen und dem Auslaufen des Verbundprojektes *pre agro* sollte auf der Konferenz nicht der Abschluss und das Ende von *pre agro* in den Vordergrund gestellt werden, sondern die vorhandenen Einsatzmöglichkeiten und Potentiale des Precision Farming sowie die zunehmende Kenntnis und Nutzung dieser Technologien. Die Konferenz wurde daher unter das Motto „Precision Farming kommt!“ (Veranstaltungsort und -datum: Berlin, Kalkscheune, 20. – 22.02.2008) gestellt. Anlässlich der Tagung wurde eine Pressekonferenz ausgerichtet, die sich sowohl an Wissenschafts- und Forschungsredaktionen als auch an die allgemeine Presse richtete.

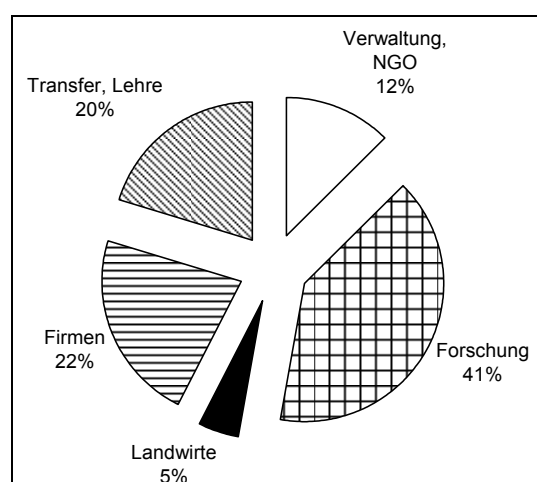


Abbildung 208: Herkunft der Teilnehmer nach Zielgruppen bei der Konferenz „Precision Farming kommt!“

Figure 208: Background of participants of the conference “Precision Farming kommt!”

Die Veranstaltung sollte einen wichtigen Beitrag zum Transfer von Projektergebnissen leisten und einen weiteren Meilenstein bei der Praxiseinführung von Precision Farming darstellen. Dabei wurden nicht nur Ergebnisse von *pre agro* vorgestellt, sondern es wurde auch anderen Forschungsprojekten im Bereich Precision Farming die Möglichkeit gegeben, ihre Ergebnisse auf der Tagung vorzustellen. Ausgewählte Grundsatzreferate erweiterten den inhaltlichen Rahmen der Konferenz. Da Vertreter aus Landwirtschaft und Forschung im Projektverlauf wiederholt über Ergebnisse aus *pre agro* auf verschiedenen Wegen informiert wurden, richtete sich diese Konferenz insbesondere an Multiplikatoren wie Schul- und Hochschullehrer, Akteure aus Beratung, Verwaltung und Nicht-Regierungsorganisationen. Zu der Veranstaltung konnten ca. 140 Teilnehmer begrüßt werden. Abbildung 208 stellt die Herkunft der Teilnehmer nach Zielgruppen dar.

Während der Tagung wurden folgende Grundsatzreferate gehalten:

- Herr Carl-Albrecht Bartmer (Präsident der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft): “Agrar-Potenziale nutzen mit Agrarforschung und Innovationen“
- Herr Johannes Scharl (Bundesvorstand Bund der Deutschen Landjugend): “Der innovative Junglandwirt – prädestiniert für Precision Farming“
- Frau Prof. Dr. Weissenberger-Eibl (Leiterin Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI, Karlsruhe) und Lehrstuhl für Innovations- und Technologiemanagement, Universität Kassel): “Innovationssysteme und Roadmapping – Prozesse und Handlungsempfehlungen“
- Herr Eduard Bruckner (Nestec Ltd., Schweiz; Sustainable Agriculture Initiatives Nestlé): “Nachhaltige Landwirtschaft und deren Bedeutung für die Lebensmittelindustrie“
- Herr Dr. Armin Werner (Leiter Forschungsverbund *pre agro*): “Precision Farming kommt und *pre agro* geht – Zufall und Notwendigkeit“
- Herr Marc Vanacht (AG Business Consultants, USA): “Die weiße Revolution – Informationstechnologien als Wegbereiter der Internationalisierung der Landwirtschaft“.

Als Vortragsveranstaltungen wurden fünf Sektionen parallel angeboten. Ergebnisse aus *pre agro* wurden dabei in den Sektionen 1, 3 und 5 präsentiert.

Sektion 1: Informationsmanagement als Kern zukünftiger landwirtschaftlicher Betriebsführung (Moderation: Prof. Dr. Ralf Bill)

Sektion 2: Stand von Precision Farming aus Sicht von Landtechnikherstellern und Softwarehäusern (Moderation: Dr. Norbert Uppenkamp)

Sektion 3: Ausgewählte Ergebnisse aus *pre agro* (Moderation: Prof. Dr. Reiner Doluschitz)

Sektion 4: Ergebnisse weiterer Forschungsprojekte im Bereich Precision Farming in Deutschland (Moderation: PD Dr. Simone Graeff-Hönninger)

Sektion 5: Ansprüche und Angebote für Transfer und Ausbildung zum Thema Informationstechnologien (Moderation: Prof. Dr. Volker Hoffmann).

Um neben der Darstellung des aktuellen Standes des Einsatzes von Precision Farming Technologien auch Strategien zum künftigen Transfer und zu weiteren Forschungsarbeiten entwickeln zu können, wurden Elemente des Open Space in die Konferenz eingebunden. Damit unterschied sich die Konferenz „Precision Farming kommt!“ von Abschlusskonferenzen anderer Forschungsprojekte. Durch dieses Element sollte den Teilnehmern die Möglichkeit gegeben werden, die dynamische Entwicklung, die das Precision Farming zur Zeit in Deutschland nimmt, zu diskutieren und neue Optionen für ihr berufliches Wirken zu entwickeln, Kontakte aufzubauen oder zu vertiefen, neue Forschungsideen zu entwickeln, Möglichkeiten des Transfers im Rahmen ihres beruflichen Umfeldes auszuloten etc. Durch diese zusätzlichen kommunikativen Elemente grenzte sich die Konferenz „Precision Farming kommt!“ in ihrer Zielsetzung von den großen internationalen Konferenzen zu Precision Farming (6th European Conference on Precision Farming 2007 und 9th International Conference on Precision Agriculture 2008) ab.

Im Rahmen des Open Space wurden durch die Teilnehmer zunächst in einem moderierten Workshop Themen benannt, an denen sie Interesse hatten, während der Konferenz weiterzuarbeiten. Diese Themenvorschläge wurden auf einer Raum-Zeit-Tafel visualisiert, so dass alle Tagungsteilnehmer jederzeit informiert waren, welche Themen wo und wann diskutiert wurden und sich selber für Themen entscheiden konnten. Insgesamt wurden 16 verschiedene Themen im Open-Space diskutiert.

Die Konferenz wurde mit einer Podiumsdiskussion abgeschlossen, die die Themen der Konferenz sowohl von den Vorträgen als auch von den Workshops aufgriff. Die Ergebnisse der Workshops und der Podiumsdiskussion sowie die daraus resultierenden Handlungsoptionen wurden schriftlich festgehalten und jedem Teilnehmer direkt am Ende der Konferenz als Kopie ausgehändigt. Bereits abgereiste Teilnehmer wurden diese Kopien zugesandt.

Im Nachgang der Konferenz wurden die Tagungsvorträge als geschützte pdf-Dateien auf die *pre agro*-Homepage gestellt, sofern die Referenten hierzu ihre Einwilligung gaben.

9.2.3.4 Präsenz in allgemeinen Medien

In den ersten beiden Projektjahren erfolgte die Kommunikation an die Öffentlichkeit insbesondere über die Homepage sowie über die Auftritte des Verbundes bei Messen und Feldtagen. Die Öffentlichkeitsarbeit von *pre agro* wurde Ende 2006 von der Projektleitung in weiten Teilen als sehr erfolgreich eingeschätzt. Dies belegten die Ergebnisse der Verbundauftritte auf den großen Veranstaltungen

(bis dahin Agritechnica 2005, DLG-Feldtage 2006), der stetig steigende Zugriff auf die Homepage des Verbundes (Abbildung 203) sowie die Präsentationstätigkeiten der Teilprojekte auf internationalen und nationalen Konferenzen und Workshops. Die landwirtschaftliche Praxis wurde neben den Großveranstaltungen durch Artikel in Fachzeitschriften erreicht. Nicht zufriedenstellend war dagegen die bisherige Präsenz in Tages- und Wochenzeitungen und die Kommunikation von Projekthinhalten an die breitere Öffentlichkeit.

Im letzten Projektjahr legte die Projektleitung daher verstärkten Wert auf die Kommunikation von Projektergebnissen an eine breitere Öffentlichkeit, um den in der Einleitung genannten Zielen gerecht zu werden und alle identifizierten Zielgruppen zu erreichen. Zu diesem Zweck wurde die Öffentlichkeitsarbeit des Projektes neu strukturiert. Hierzu wurden verschiedene Wege neu beschritten bzw. die bisherigen Aktivitäten intensiviert.

Pressemeldungen

Das Kommunikationsinstrument „Pressemeldung“ kam immer dann zum Einsatz, wenn es etwas Neues zu berichten gab. Bereits in den ersten beiden Projektjahren waren einzelne Pressemitteilungen verfasst worden, hatten jedoch nicht das gewünschte Resultat erbracht. Ziel der Pressearbeit in der letzten Phase von *pre agro* war es, eine maximale mediale Aufmerksamkeit zu erzeugen. Die Anlässe Agritechnica (1 Pressemitteilung), Grüne Woche (2), Abschluss- und Pressekonferenz (4) dienten als Aufhänger für die jeweiligen Meldungen und sollten das Thema *Precision Farming* in die allgemeine Presse transportieren. Mit Hilfe der jeweils aktuellen Meldungen konnten die Bemühungen unterstützt werden, direkte Kontakte zu einzelnen Journalisten aufzubauen und/oder zu pflegen.

Hintergrundberichte

Das modifizierte Pressekonzept der letzten Projektphase sah die Erstellung von fünf Hintergrundpapieren vor, die einzelne Aspekte des *Precision Farming* aufgreifen sollten. Die Idee: Komplexe Sachverhalte des *Precision Farming* wurden in journalistisch verwertbarem Umfang angeboten. Hierzu wurde die Form des Interviews gewählt. Interviews lassen sich gemeinhin leichter lesen und ermöglichen es, die Praxisnähe des jeweiligen Sachgegenstandes zu unterstreichen. Das Thema wird darüber hinaus „vermenschlicht“.

Zusammen mit den Pressemeldungen dienten die Interviews immer wieder dazu, einzelnen Journalisten weiterführende Informationen zuzusenden. Auch wenn der Informationsbedarf von Journalisten in der Regel ganz unterschiedlich war (vgl. Handelsblatt / Märkische Oderzeitung; beide Berichte vom 28.1.2008), konnten die Interviews zunächst beim Einstieg in das Thema *Precision Farming* und in einem zweiten Schritt bei der Etablierung eines konkreten Kontakts helfen. Das Erstellen von einigen wenigen, journalistisch aufbereiteten, Basismaterialien – die über die Aussagen von allgemeinen Projektflyern hinausgingen – erwies sich als äußerst hilfreich. Einige Journalisten äußerten sich überaus positiv darüber, dass auch der Pressemappe zur Abschlusskonferenz aktuelle Interviews beigelegt wurden, die ihnen die Nachbereitung und Vertiefung in das Thema und damit auch die Berichterstattung erleichtert haben.

Erweiterung der Internetpräsenz um den Bereich „Presse“

Auf der Projekthomepage <http://www.preagro.de> wurde ein neuer Bereich „Presse“ eingerichtet. Eine solche Plattform lässt sich sehr gut für die Kommunikation mit Journalisten nutzen, insbesondere über einen längeren Zeitraum. Journalisten können so schnell und unverbindlich zu jeder Zeit die vorhandenen Informationen abrufen. Der Pressebereich unter <http://www.preagro.de> war leicht zugänglich und einfach handhabbar.

Journalistenkontakte

In der letzten Projektphase wurde ein konkreter Kontakt zu ausgewählten Journalisten aufgebaut und intensiv gepflegt, etwa 15 Journalisten wurden regelmäßig angesprochen. Die Kommunikation über die elektronischen Briefkästen war zwar weniger aufwändig, zeigte aber deutlich geringere Erfolge. Die Kontakte wurden immer wieder in Ergänzung telefonisch aufgefrischt. Dem telefonischen „Nachhaken“ kam eine große Bedeutung zu. E-Mail-Verkehr wurde von journalistischer Seite unverbindlich gehandhabt.

Viele Journalisten waren dankbar für die Vermittlung von konkreten Kontakten zu Projektpartnern aus Wissenschaft und Praxis. Im Vorfeld wurde geklärt, wer aus dem Projekt für welchen Teilbereich für journalistische Rückfragen zur Verfügung steht. Aber auch Kontakte außerhalb des Projektes (z. B. Precision Farming Anwender in Brandenburg) konnten hergestellt werden. Bedingung hierfür war, dass im Vorfeld (vor allem im Rahmen der *Agritechnica* 2007) die notwendigen Absprachen getroffen wurden.

Pressekonferenz

Eine Pressekonferenz fand zum Anlass der Abschlusskonferenz „Precision Farming kommt!“ im Februar 2008 statt. Ziel war es, erneut wichtige Teilaspekte des Themas *Precision Farming* zu kommunizieren sowie zentrale Projektergebnisse vorzustellen. Nach mehrjähriger Projektlaufzeit wurden letztere insbesondere von Vertretern der Wissenschafts- und Forschungsredaktionen nachgefragt: Welche wichtigen Ergebnisse hat das Projekt hervorgebracht? Warum sind diese für die Allgemeinheit wichtig? Dabei kam es auch immer darauf an, anschaulich darzulegen, was sich hinter dem Begriff *Precision Farming* überhaupt verbirgt.

Das Podium wurde sorgfältig ausgewählt und die einzelnen Statements der Referenten gut vorbereitet. Eine ausführliche Pressemappe diente darüber hinaus dazu, den Journalisten – Vertreter der Fachpresse und der allgemeinen Presse – Materialien vorzulegen, die ihrem Bedarf nach sachgerechter Information nachkommen sollte. Zur Verfügung gestellt wurden die Statements und Kernaussagen der Referenten sowie Eckpunkte ihrer Biografien, drei Hintergrundpapiere, eine Auflistung aller Teilprojekte und ihren inhaltlichen Schwerpunkten, die geografische Verteilung der Teilprojekte innerhalb Deutschlands, ausführliches Fotomaterial sowie eine Übersichtsgrafik zum Thema *Precision Farming*. Viele Journalisten äußerten sich diesbezüglich nicht nur zufrieden, sondern schätzten den hohen Input des Projektes sehr. Eine gute Vorbereitung mit direkten Kontakten, eine persönliche und angenehme Atmosphäre im Rahmen der Pressekonferenz, kompetente Gesprächspartner, verbindliche Absprachen und die Bereitstellung von anschaulichen Informationsmaterialien waren wichtige Faktoren des Erfolgs dieser Pressekonferenz.

Als Ergebnis der neu strukturierten Pressearbeit wurde in Printmedien, in Radiosendungen sowie in einem Fernsehbeitrag über Precision Farming unter Einbeziehung von Materialien von *pre agro* be-

richtet (in den Fällen, in denen die Beiträge Anfang April 2008 im Internet noch frei verfügbar waren, ist die zuletzt aktuelle Internetadresse angegeben):

Zeitungs- und Zeitschriftenbeiträge 2008 (Stand: 2.4.2008)

- Neue Landwirtschaft 3/2008, S. 42 – 44: **Präzise und differenziert. Nutzen einer neuen Technologie ergründet.** Autor: Anonym
- VDI nachrichten Nr. 13, 28.3.2008, Technik & Wirtschaft, S. 18: **Satellit und PC helfen beim Pflügen und Düngen;** Autor: Trechow, P. Internet: http://www.vdi-nachrichten.de/vdi-nachrichten/aktuelle_ausgabe/akt_ausg_detail.asp?cat=2&id=37794&source=homepage (zuletzt besucht am 2.4.2008)
- Gäuboden aktuell vom 12.3. 2008: **Precision Farming kommt. Abschlussveranstaltung mit großer Euphorie.** Autor: Anonym
- aid-Presseinfo 9 vom 27.2.2008: **Precision Farming kommt. Abschlussveranstaltung mit großer Euphorie;** Autor: F. Röseberg (aid infodienst) Internet: <http://www.schattenblick.de/infopool/politik/nahrung/per11274.html> (zuletzt besucht am 15.4.2008)
- Herd-und-Hof.de – Das Online Magazin für Verbraucher; 21.2.2008: **Abschlussstagung Präzisionslandwirtschaft;** Autor: Krieg, R. Internet: http://www.herd-und-hof.de/index/modul/portal/kernwert/landwirtschaft/cmd/catalogue_details/block/catalogue_1/field/1786/ (zuletzt besucht am 2.4.2008)
- Märkische Allgemeine (MAZ), 19.2.2008, Blickpunkt S. 3: **Die Farbe im Roggen: High-Tech-Bauer Frenzel setzt beim Düngen auf Präzision – und spart damit Geld;** Autor: U. Sommer. Internet: http://www.maerkischeallgemeine.de/cms/beitrag/11137508/485072/High_Tech_Bauer_Frenzel_setzt_beim_Duengen_auf.html (zuletzt besucht am 2.4.2008)
- Österreichische Bauernzeitung vom 7.2.2008: **Precision Farming bringt viele Vorteile;** Autor: Anonym Internet: <http://www.bauernzeitung.at/?id=2500%2C29512%2C%2C> (zuletzt besucht am 2.4.2008)
- Handelsblatt Nr. 19 vom 28.1.2008, Technik & Innovation: **IT optimiert die Landwirtschaft;** Autor: Schürmann, H. Internet: http://www.preagro.de/Veroeff/precision_farming_Handelsblatt.pdf (zuletzt besucht am 2.4.2008)
- Märkische Oderzeitung vom 28.01.2008, Oderland Echo, S. 14: **Effizienz durch genaues Arbeiten;** Autor: Anonym
- innovations-report vom 16.1.2008: **Keine deutsche Landwirtschaft ohne Precision Farming;** Autor: Anonym Internet: http://www.innovations-report.de/html/berichte/agrар_forstwissenschaften/bericht-101349.html (zuletzt besucht am 2.4.2008)
- Frankfurter Rundschau (FR-online.de), vom 2.1.2008: **Feldroboter im Unkrautdickicht;** Autor: Börnecke, St.

Zeitungs- und Zeitschriftenbeiträge 2007

- Profil online v. 11.10.2007: **Helfer im All: 'Satelliten-GPS, ein Glücksfall für die Landwirtschaft und Gesellschaft'**; Autor: Industrieverband Agrar [Hrsg.] Internet: <http://www.profil.iva.de/html/text.php?id=706> (zuletzt besucht am 2.4.2008)
- Business Geomatics Wirtschaftszeitung. Printausgabe 07/07 vom 17.9.2007: **Satellitengesteuerte Bauern. Präziser Ackerbau mit GPS macht Landwirtschaft wirtschaftlicher**; Autor: Kalscheuer, B.
- Sachsen-Anhalts Bauernzeitung; 48. Jg., 31. Woche, 3.8.2007, S. 18 – 21: **Rasterfahndung im Getreide**; Pischelt, A.
- Süddeutsche Zeitung Nr. 139 vom 20.6.2007, Ressort Wissen, S. 18: **Bildverarbeitung statt Bauernregeln**; Autor: Ruhland, F. Internet: <http://www.sueddeutsche.de/computer/artikel/583/119438/> (zuletzt besucht am 2.4.2008)
- Wolfsburger Nachrichten vom 13.6.2007, Regionalteil Helmstedter Nachrichten, H5: **Der Computer erobert den Acker**; Autor: Mai, V.
- Rheinischer Merkur Nr. 16/2007 vom 19.4.2007, S. 16, Wissenschaft und Praxis: **Der Satellit ackert mit**; Autor: Wiggen, S.
- Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt Heft 13/2007 vom 30.03.2007: **Über Grenzsteine hinweg...**; Autor: Süß, H.
- Frankfurter Rundschau vom 21.3.2007: **Satellitensignal hilft beim Pflügen**; Autor: Schlag, M.

Rundfunkbeiträge :

- Deutschlandradio, Sendung "Umwelt und Verbraucher", vom 21. Februar 2008: **Präzision auf dem Acker. Wie die Landwirtschaft Informationstechnologie nutzt**; Autor: V. Kemna Internet: <http://www.dradio.de/dlf/sendungen/umwelt/742967/> (zuletzt besucht am 2.4.2008)
- Inforadio des RBB, Sendung „Wissenswertes“ vom 18. November 2007: **Zukunft der Landwirtschaft**; Autor: Prinzler, Th. Internet: http://www.inforadio.de/static/dyn2sta_article/296/222296_article.shtml (zuletzt besucht am 2.4.2008)

Fernsehbeitrag:

- ZDF.umwelt, Beitrag zum Precision Farming in der Sendung vom 17.6.2007, 13:30 Uhr: **Saathilfe per Satellit – Hightech auf dem Acker**; Autoren: Kessler, M.; Bettauer, R.; Kerz, S. Internet: <http://www.zdf.de/ZDFmediathek/content/2772?inPopup=true> (zuletzt besucht am 2.4.2008)

9.2.4 Diskussion

Die Bedeutung von Wissenschaftskommunikation ist in den vergangenen Jahren gestiegen. Wissenschaftseinrichtungen und Forschungsprojekte stehen zunehmend in der Pflicht, den Gegenstand ihrer Arbeiten und ihre Forschungsergebnisse neben der Fachöffentlichkeit auch breiteren Bevölkerungskreisen zugänglich zu machen. Um dieser Aufgabe gerecht zu werden, waren bereits beim Projektstart Mittel für die Öffentlichkeitsarbeit durch den Projektträger bewilligt.

Insgesamt kann die Öffentlichkeitsarbeit von *pre agro* positiv bewertet werden. Dies belegen die Ergebnisse der Auftritte des Verbundes auf den großen Veranstaltungen (Agritechnica 2005 und 2007, DLG-Feldtage 2006), der stetig steigende Zugriff auf die Homepage des Verbundes, die Präsentations-tätigkeiten der Teilprojekte auf internationalen und nationalen Konferenzen und Workshops sowie die wissenschaftliche Publikationstätigkeit. Die Resonanz der Teilnehmer auf eigene Veranstaltungen, insbesondere den Feldtag 2007 sowie die Konferenz „Precision Farming kommt!“ war überaus positiv. Es ist als großer Erfolg zu verzeichnen, dass an diesen Veranstaltungen Führungskräfte aus verschiedenen Bereichen teilnahmen. Die landwirtschaftliche Praxis wurde neben den Veranstaltungen durch Artikel in Fachzeitschriften erreicht. Die zunächst nicht zufriedenstellende Präsenz in Tages- und Wochenzeitungen konnte in der zweiten Projekthälfte erheblich gesteigert werden.

Zu Projektbeginn erfolgte eine starke Konzentration auf die Fachöffentlichkeit. Dies sollte nicht weiter verwundern, war doch die Kommunikation mit diesen Gruppen (Wissenschaft, Landwirtschaft) für die meisten Projektmitarbeiter und für die Projektkoordination Alltag.

Bei der Kommunikation mit einer erweiterten Öffentlichkeit, darf die Neigung der meisten Wissenschaftler zu viele Erkenntnisse und Fakten gleichzeitig transportieren zu wollen, um der Komplexität eines Themas gerecht zu werden, nicht unterschätzt werden. Die Angst vor Vereinfachung kann zu komplexen Texten führen. Die Verwendung von zu viel Fachbegriffen erschwert die journalistische Aufbereitung eines Themas. Bei einem Workshop des Projektes „Balance“ (Forschungsprojekt zur Medialisierung der Nachhaltigkeit; gefördert vom BMBF, Fö.-Kz.: 01RS0602A) wurde im Gespräch mit verschiedenen Journalisten deutlich, dass Wissenschaftler nicht versuchen sollten, journalistische Arbeiten zu erledigen. Die Versorgung mit Informationen durch Wissenschaftler wird dagegen seitens der Journalisten sehr gewünscht. Im Rahmen von *pre agro* wurde hier ein Lernprozess durchlaufen. Anfängliche Versuche sich in allgemeinen Medien zu platzieren kosteten Ressourcen, erzielten aber nur sehr geringe Erfolge.

Der Zeitraum zwischen der Neukonzipierung der Öffentlichkeitsarbeit und dem Projektende war verhältnismäßig kurz, dennoch fanden die Arbeiten des Verbundes nach dieser Neukonzeptionierung starke Resonanz in den allgemeinen Medien. Ob diese Resonanz mit einem stärkeren Fokus auf die allgemeine Öffentlichkeitsarbeit von Beginn an noch weiter hätte gesteigert werden können oder ob diese Resonanz erst gegen Projektende mit kommunizierbaren Resultaten hat erzielt werden können, lässt sich nicht abschließend bewerten.

Bewährt haben sich eine einfache Handhabung und einfache Zugänge für Pressebereiche. Die Aktualität von Pressebereichen muss jedoch gewährleistet sein. Beim Versand einer Pressemeldung sollte gleichzeitig eine Aktualisierung der Internetpräsenz erfolgen. Es ist hilfreich, wenn Webadministration und Pressearbeit in einer Hand liegen, was bei *pre agro* nicht der Fall war. Sind mehrere Personen beteiligt, entstehen Reibungsverluste und die Pressearbeit kann unprofessionell wirken.

Ebenfalls bewährt hat sich der direkte Kontakt zu ausgewählten Journalisten. Allerdings sind Aufwand und Ertrag dieser Kommunikationsmaßnahme in Beziehung zu setzen, denn in der Regel müssen Redaktionskontakte über einen längeren Zeitraum aufgebaut und immer wieder gepflegt werden. Es war vorteilhaft, dass zuständige Personen für die Pressearbeit gut im Projekt vernetzt waren. Auch für inhaltliche Rückfragen erwies sich diese Vernetzung als ein wichtiger Faktor für den erfolgreichen Kontakt zu Journalisten.

Eine gründliche Vorbereitung der Pressekonferenz anlässlich der Tagung „Precision Farming kommt!“ erforderte zwar viele Kapazitäten von Öffentlichkeitsarbeit, Projektkoordination, den Teilprojekten und Podiumsmitgliedern, hat sich jedoch in der Resonanz ausgezahlt. Viele Journalisten äußerten sich

diesbezüglich nicht nur zufrieden, sondern schätzten den hohen Input des Projektes sehr. Hier lohnte sich der Aufwand, zumal die Materialien auch nach der Konferenz im Internet bereitgestellt oder zielgerichtet an Kollegen verschickt wurden, die auf der Konferenz nicht anwesend sein konnten. Da es sich in diesem Fall um ein Thema handelte, das auch nach Wochen nicht an Aktualität verloren hatte, war dies eine gute Möglichkeit, noch einmal gezielt Journalisten anzusprechen.

Anschrift der Autoren:**Dr. Frank Dreger,****Dr. Jürgen Schwarz,****Dr. Armin Werner,****Betriebswirtin Karin Stahl**

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.

Institut für Landnutzungssysteme

Eberswalder Straße 84

15374 Müncheberg

Telefon: (033432) 82-257, -423, -310, -330

Telefax: (033432) 82-387

E-Mail: dreger@zalf.de
jschwarz@zalf.de
awerner@zalf.de
kstahl@zalf.de**Dipl.-Soz. Claudia Nickschat**

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) (gemeinnützig)

Potsdamer Str. 105

10785 Berlin

Telefon: (030) 884594-16

Telefax: (030) 8825439

E-Mail: claudia.nickschat@ioew.de**Dipl.-Pol. Kirstin Wulf**

Göhrener Straße 3

10437 Berlin

Telefon: (030) 428 00 464

Mobil: (0176) 26365512

E-Mail: kirstinwulf@aol.com

Dr. Reinhart Schwaiberger

Diva Enterprises

Kringeller Straße 62

94116 Hutthurm

Telefon: (08505) 9180924

Telefax: (08505) 9180926

E-Mail: info@diva-enterprises.de

9.3 Inhaltliche Gesamtkoordination von *pre agro* II zur Integration der Forschungsarbeiten und -ergebnisse

Project management of *pre agro* II for integrating research activities and results

Armin Werner, Frank Dreger, Jürgen Schwarz & Karin Stahl

Zusammenfassung

Das Projektmanagement des transdisziplinären Forschungsverbundprojektes *pre agro* erfolgte über ein eigenständiges Teilprojekt. Projektleiter und Projektkoordination organisierten, unterstützt vom Vorstand und dem wissenschaftlichen Beirat, die inhaltliche und formale Zusammenarbeit der Teilprojekte. Die grundlegende Strukturierung des Verbundes in vier Projektbereiche und vier Querschnittsprojekte erwies sich von Beginn an als sehr sinnvoll. An fachlichen Schnittstellen erfolgte zwischen den Teilprojekten innerhalb der Projektbereiche, aber im Projektverlauf auch zunehmend über die Grenzen der Projektbereiche hinaus, eine intensive Zusammenarbeit.

Die Projektkoordination organisierte die für den Verbund übergeordneten Aufgaben (Berichtswesen, Planung der pflanzenbaulichen Experimente, ergänzendes Bestandesmonitoring, Öffentlichkeitsarbeit, Abschlusskonferenz und -bericht u. a.).

Für die Sicherstellung der aktiven Informationsflüsse innerhalb des Projektes und nach außen wurden durch die Projektkoordination und die Projektpartner unterschiedliche Wege beschritten (monatliche Statusberichte, Vollversammlungen, Messen und Feldtage, Betreuung der Öffentlichkeitsarbeit, Projektbereichstreffen u. a.). Bei einem oft hohen organisatorischen Anteil stand stets die fachliche Begleitung der Arbeit der Projektpartner im Vordergrund.

Innerhalb von *pre agro* ist es durch die Unterstützung aller Projektpartner gelungen, die Grenzen der Einzeldisziplinen zu überwinden. Dadurch wurden auf der wissenschaftlichen Ebene Synergien und Ergebnisse möglich, die durch disziplinäre Forschungsprogramme nur begrenzt erzielt werden können. Gleichzeitig konnten durch kontinuierliche Kommunikation mit projektexternen Interessierten (Landwirte, Stakeholder, Experten) einerseits Ergebnisse in die landwirtschaftliche Praxis und in andere Bereiche (Daten- und Informationsmanagement, Wertschöpfungskette u. a.) kommuniziert, gleichzeitig Ansprüche aus diesen Gruppen durch den Verbund berücksichtigt werden.

Summary

The project coordination was responsible for the project management of the interdisciplinary joint research project *pre agro*. The head of the project and the project coordination jointly organised the collaboration within the project including aspects in both form and content. The executive board (consisting of the representatives of the project domains) and the scientific advisory board (consisting of scientists and farmers from outside the project) supported practical and scientific issues. The general structure of the project comprised four project domains and four additional integrating subprojects. At the start of the project, collaboration between subprojects took mainly place between the subprojects of a project domain. During the course of the project subprojects from different project domains increasingly worked together on specific topics.

The project coordination organised the tasks of general importance for the project (e. g. reporting issues, field experiments, monitoring of crops, public relations, the closing conference and this final report).

For securing information flow within the project and to partners outside the project different measures were taken (e. g. monthly reports by all subprojects, performing general assemblies, fairs and field days, coordination of public relations, meetings of project domains). Despite these organisation issues the project coordination kept track of the development of the project as regards content and triggered the project development at certain occasions.

With the support of all partners the collaborative research project *pre agro* managed to overcome the limits of single and specific scientific topics. On the scientific level results were performed, which are difficult to achieve by means of research performed only within one research area. At the same time, *pre agro* managed to keep in touch with interested people from outside the project (farmers, stakeholders, experts) and continuously communicated project results to various groups such as agriculture, the value added chain, ICT and others. Receiving feedback from these groups helped to trigger the project and to produce a wide spectrum of interesting results.

9.3.1 Einleitung

Ziel des Verbundprojektes *pre agro* war es, wesentliche Erkenntnisse, neue wissenschaftliche Methoden, praktische Lösungen und geeignete Transferkonzepte zur informationsgeleiteten Pflanzenproduktion durch Precision Farming zu erarbeiten. Die Themengebiete von *pre agro* schlugen einen Bogen von grundlegenden Prinzipien der Daten- und Informationsbereitstellung für den teilflächenspezifischen Pflanzenbau bis zur Erarbeitung geeigneter Indikatoren zum Nachhaltigkeitsansatz auf Betriebsebene. Als anwendungsorientierte Forschung besaß der Praxisbezug einen hohen Stellenwert im Verbund. Dies beinhaltete die Analyse von Hemmnissen bei der Einführung von Precision Farming Technologien bis zur Entwicklung von Konzepten, die durch Ausbildung und Beratung die Praxiseinführung von Precision Farming fördern sollen. An diesem breiten Aufgabenspektrum wirkten 26 Partner aus 22 Institutionen mit. Die Partner setzten sich aus Hochschulen, Forschungsinstituten, Unternehmen der freien Wirtschaft und zwei Landwirtschaftsbetrieben zusammen. *Pre agro* umfasste damit wissenschaftliche Forschung auf verschiedenen Themengebieten und gleichzeitig praktisches Wissen und Handeln auf unterschiedlichen Ebenen und bildete damit ein transdisziplinäres Forschungsprojekt (BRAND et al. 2004). Die Steuerung von inter- und transdisziplinären Forschungsverbänden beinhaltet besondere Herausforderungen für das Projektmanagement (DEFILA et al. 2006). Um diese zu bewältigen, wurde in *pre agro* die Projektkoordination als eigenständiges Teilprojekt etabliert.

9.3.2 Vorgehensweise

Die sehr guten Erfahrungen mit der Projektkoordination im Rahmen von *pre agro* I, die durch Projektleiter, einen Projektkoordinator und das Projektbüro umgesetzt wurde, bildeten die Ausgangslage für die Projektkoordination von *pre agro* II. Die grundlegende organisatorische Struktur des Verbundprojektes *pre agro* II wurde bereits in Kapitel 2.2 und Abbildung 2 vorgestellt. Der Verbund setzte sich aus vier Projektbereichen zusammen, denen jeweils ein Projektbereichssprecher vorstand. Projektbereichssprecher und Projektleiter bildeten den Vorstand des Verbundprojektes *pre agro* II.

Die Sicherstellung des Erreichens der übergeordneten fachlichen Ziele des Verbundprojektes *pre agro* lag in der Verantwortung des Projektleiters, der dazu vom Projektvorstand und Projektkoordination unterstützt wurde. Die wesentlichen Aufgaben der Projektkoordination lagen in der fachlichen und organisatorischen Unterstützung der Gesamtleitung des transdisziplinären Verbundprojektes *pre agro*. Da *pre agro II* fachlich erheblich breiter ausgerichtet war, wurden neben dem administrativ tätigen Projektbüro, zwei Projektkoordinatoren mit sich ergänzenden Arbeitsaufgaben eingesetzt.

Zu den Aufgaben der Projektkoordination gehörten insbesondere die Unterstützung eines inhaltlich geordneten Zusammenwirkens zwischen den einzelnen, fachlich sehr unterschiedlich aufgestellten, Teilprojekten. Gemeinsame Konzepte und Lösungswege zu den Arbeitsgegenständen des Verbundes mussten von der Projektkoordination frühzeitig erkannt bzw. angeregt, fachlich begleitet und z. T. mit erarbeitet werden. Zudem war die Projektkoordination für die Öffentlichkeitsarbeit des Projektes verantwortlich und unterstützte damit den Transfer von Projektergebnissen in die Praxis.

Die grundlegende Strukturierung des Verbundes in vier Projektbereiche und vier Querschnittsprojekte hatte sich von Beginn an als sehr sinnvoll erwiesen, da so für das einzelne Teilprojekt bzw. dessen Mitarbeiter eine überschaubare Komplexität erreicht wurde. An fachlichen Schnittstellen erfolgte zudem, automatisch oder durch die Projektkoordination oder die Projektbereichssprecher gelenkt, der notwendige Austausch zwischen den Projektbereichen. Innerhalb der Projektbereiche arbeiteten die Teilprojekte hierzu eng zusammen, kommunizierten aber zunehmend im Projektverlauf über geeignete Wege (Konzept-, Methoden und Datenaustausch) sowie die Formulierung von Anforderungen auch intensiv über die eher virtuellen Grenzen der Projektbereiche hinweg.

Die Aufgaben der beiden Koordinatoren lagen auf verschiedenen Aspekten des Verbundprojektes. Nachdem die Projektstruktur des Verbundprojektes im Frühjahr 2005 endgültig festgelegt wurde, wurden die Projektbereiche 1 und 2 durch einen, die Projektbereiche 3 und 4 durch den zweiten Koordinator schwerpunktmäßig betreut. Der Koordinator der Projektbereiche 3 und 4 war dabei gleichzeitig wissenschaftlicher Bearbeiter des Teilprojektes 9, während der Koordinator der Projektbereiche 1 und 2 zusätzlich insbesondere die Öffentlichkeitsarbeit betreute.

Die Zuständigkeit von je einem Koordinator für je zwei Projektbereiche ermöglichte einen intensiven Austausch von Projektkoordination und den Teilprojekten. Die Projektkoordinatoren tauschten sich regelmäßig über den Fortschritt innerhalb der Projektbereiche aus. Durch diese sehr enge Abstimmung untereinander waren beide Koordinatoren über die Tätigkeiten aller Projektbereiche umfassend informiert. Beide Koordinatoren waren dadurch in der Lage, sich im Bedarfsfall gegenseitig zu vertreten und als Ansprechpartner für alle Mitarbeiter aus dem Verbundprojekt zu fungieren. Trotz der erwähnten Aufgabenverteilung existierte jedoch keine absolut scharfe Trennung der Tätigkeitsbereiche. Beide Koordinatoren unterhielten aus fachlichen Gründen enge Arbeitsbeziehungen zu einzelnen Teilprojekten der jeweils anderen Projektbereiche, was die Verzahnung der verschiedenen Projektteile zusätzlich förderte.

Die Projektkoordination organisierte und verwaltete zudem die für den Verbund übergeordneten Aufgaben und die damit verbundenen Ressourcen. Hierzu zählten zu Projektbeginn u. a. die Ausarbeitung und Abstimmung einer für die Projektpartner gültigen Kooperationsvereinbarung sowie einer Geschäftsordnung für das Verbundprojekt *pre agro*. Die Abstimmung der Berichtspflichten des Verbundes sowie die Planung und Durchführung der pflanzenbaulichen Experimente auf den Projektbetrieben einschließlich der dafür benötigten Ergänzungen in der technischen Ausstattung bei der Flächenbewirtschaftung waren wichtige Aufgaben der Projektkoordination.

Fernerkundungsdaten und zusätzlich für das Bestandesmonitoring notwendige Arbeiten wurden über die Projektkoordination organisiert. Zudem war die Projektkoordination für die Öffentlichkeitsarbeit des Verbundes verantwortlich. Diese wurde durch öffentliche Ausschreibung vergeben, aber kontinuierlich betreut. Die Organisation der Abschlussarbeiten des Verbundes, d.h. die Durchführung der Abschlusskonferenz in Berlin sowie die Erstellung des Abschlussberichts, lag ebenfalls in der Verantwortung der Projektkoordination.

9.3.3 Ergebnisse

Für die Sicherstellung der aktiven Informationsflüsse wurden durch die Projektkoordination und die Projektpartner unterschiedliche Kommunikationsmittel genutzt. Neben der Organisation verschiedener Treffen, stand dabei die fachliche Begleitung der Arbeit der Projektbereiche im Vordergrund.

Vollversammlungen

Durch die Koordination wurden während der Projektlaufzeit kontinuierlich Veranstaltungen initiiert, organisiert und durchgeführt, die sowohl zu einer effektiven Projektarbeit innerhalb des Verbundprojektes führten als auch das Verbundprojekt nach außen darstellten (siehe Tabelle 118).

Tabelle 118: Übersicht über Veranstaltungen des Verbundprojektes *pre agro*

Table 118: Summary of events of the collaborative research project *pre agro*

Datum	Ort	Versammlung
7.-8.3.2005	Müncheberg	Kick-off-Veranstaltung
7.6.2005	Wulfen	Projektinterner Feldtag bei WIMEX
11.10.2005	Berlin	konstituierende Sitzung des wissenschaftlichen Beirats
20.-21.10.2005	Rostock	Herbstvollversammlung 2005 und Sitzung des wissenschaftlichen Beirats
6.-12.11.2005	Hannover	Auftritt des Verbundprojektes (eigener Stand, diverse Foren) auf der Agritechnica 2005
17.-18.11.2005	Müncheberg	Projektmanagementtraining für <i>pre agro</i> -Mitarbeiter (durchgeführt durch die Firma Coverdale)
23.-24.02.2006	Frankfurt/Main	Frühjahrsvollversammlung 2006 und Sitzung des wissenschaftlichen Beirats
5.-6.04.2006	Bonn	Statusseminar
20.-22.06.2006	Staatsdomäne Baiersroderhof	Auftritt des Verbundprojektes auf den DLG-Feldtagen gemeinsam mit PIROL (FH Osnabrück, gefördert von der Volkswagen-Stiftung)
11.-12.10.2006	Erfurt	Herbstvollversammlung 2006 und Sitzung des wissenschaftlichen Beirats
27.-28.11.2006	Müncheberg	Moderationstraining für <i>pre agro</i> -Mitarbeiter (durchgeführt durch die Firma Coverdale)
28.02.-1.03.2007	Stuttgart	Frühjahrsvollversammlung 2007 und Sitzung des wissenschaftlichen Beirats
15.-16.03.2007	Müncheberg	Zeitmanagementtraining für <i>pre agro</i> -Mitarbeiter (durchgeführt durch die Firma Coverdale)
12.06.2007	Groß Twülpstedt	Öffentlicher Feldtag des Verbundprojektes auf den Flächen des Partnerbetriebes Träger-Farny
11.-17.11.2007	Hannover	Auftritt des Verbundprojektes (diverse Foren) auf der Agritechnica 2007
3.-4.12.2007	Berlin	Unterstützung des Fachgesprächs „Stand und Zukunft des Precision Farming“
20.-22.02.2008	Berlin	Abschlussveranstaltung

Für eine effektive Projektdurchführung sowie eine kontinuierliche Kommunikation von Projektinhalten und -ergebnissen waren bereits bei der Antragstellung sowohl regelmäßige interne Vollversammlungen als auch regelmäßige Auftritte des Verbundes nach außen vorgesehen. Mit kleineren Änderungen in der Detailausführung dieser Veranstaltungen wurde an diesem Konzept festgehalten.

Ein zentrales Element stellten die Projektvollversammlungen dar. Diese wurden regelmäßig, ca. alle 6 Monate, in unterschiedlichen Orten durchgeführt. Die Vollversammlungen waren in der Regel so organisiert, dass

- Rückblenden auf die vergangene Arbeitsperiode durchgeführt wurden, um anstehende Arbeitsperioden zu optimieren,
- die Teilprojekte ihre Arbeitsfortschritte seit der letzten Vollversammlung vorstellten,
- zukünftige Arbeitsschritte diskutiert und festgelegt wurden und
- ggf. zentrale Versuche diskutiert und geplant, über formale Aspekte entschieden, gemeinsame Terminplanungen o. ä. besprochen und im Konsens entschieden wurden.

Bei allen Vollversammlungen wurden den Teilprojekten bzw. den Projektbereichen neben der individuellen Ergebnispräsentation stets Zeiten eingeräumt, in denen in kleineren Gruppen an aktuellen fachlichen Fragen gearbeitet werden konnte. Teilweise wurden Vertreter anderer Forschungsprojekte mit Berührungspunkten zum Precision Farming eingeladen, Vorträge zu ihren Arbeiten auf den Vollversammlungen zu halten.



Abbildung 209: Eindruck von der Frühjahrsvollversammlung 2006 in Frankfurt/Main

Figure 209: Scene of the general assembly meeting in Frankfurt/Main (spring 2006)

Die Vollversammlungen wurden stets moderiert. Dabei wurde zum Start des Projektes Unterstützung von außen hinzugezogen. Im weiteren Verlauf des Projektes wurden die Koordinatoren durch Schu-

lungen bei sukzessivem Auslaufen der externen Unterstützung selber in die Lage versetzt, Versammlungen dieser Größenordnung und fachlichen Komplexität vorzubereiten und zielgerichtet durchzuführen.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass alle Vollversammlungen äußerst konstruktiv waren und sehr konzentriert sowie zielorientiert durch alle Verbundpartner an den aktuellen Aufgaben gearbeitet wurde. Vorhandene Konflikte wurden stets zur Zufriedenheit aller Beteiligten gelöst.

Projektbereichstreffen

Als zusätzliche Instrumente neben den Vollversammlungen wurden Treffen der Projektbereiche genutzt, um die notwendigen fachlichen Absprachen zwischen den Teilprojekten zu optimieren. Von den Projektkoordinatoren wurden die Treffen der Projektbereiche begleitet und z. T. moderiert. Durch diese enge Einbindung in die Arbeit der Projektbereiche konnten wichtige fachliche Entwicklungen in Teilprojekten frühzeitig erkannt, wenn erforderlich unterstützt sowie allgemein projektübergreifend relevante Aspekte anderer Projektbereiche zeitnah kommuniziert werden.

Im weiteren Verlauf des Projekts wurden auch projektbereichsübergreifende Treffen, z. B. zu Fragen und notwendigen Abstimmungen hinsichtlich des externen Monitorings organisiert.

Wissenschaftlicher Beirat von *pre agro*

Im Frühjahr 2005 wurde durch den Verbund ein wissenschaftlicher Beirat für *pre agro* gewählt. Eine konstituierende Sitzung des wissenschaftlichen Beirates fand unter Beteiligung des Projektträgers und des Projektvorstandes am 11.10.2005 in Berlin statt. Auf dieser Sitzung wurde dem Beirat der Forschungsauftrag des Verbundes sowie der Stand der Arbeiten und der Vernetzung der Projektbereiche durch den Projektvorstand vorgestellt. In einer offenen, konstruktiven Diskussion begrüßte der Beirat den breiten Forschungsansatz von *pre agro*. Der wissenschaftliche Beirat setzte sich aus folgenden acht Personen zusammen:

- Eduard Bruckner – Agricultural Advisor, Nestec Ltd;
- Prof. Dr. Reiner Doluschitz – Universität Hohenheim;
- Dr. Thomas Engel – John Deere AMS;
- Dr.ir. Daan Goense – Wageningen UR, Agrotechnology and Food Innovations B. V.;
- Prof. Dr. Ulrich Hampicke – Universität Greifswald;
- Dr. Jörg-Werner Kues – Ks, Consult, Bremen (bis Mai 2006: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG))
- Dr. Norbert Uppenkamp – Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
- Hans-Jürgen Heß, Herzogliche Gutsverwaltung Grünholz, Thumby.

Beirat und Verbundprojekt sahen die Rolle des wissenschaftlichen Beirates als Partner des Verbundes, der durch konstruktive Kritik die Entwicklung des Projektes fördert. Das Projekt erhoffte sich einen ergänzenden Aufbau von Kooperationen sowie eine Unterstützung bei der Vermittlung von *pre agro* Ergebnissen in die landwirtschaftliche Praxis, was im Laufe der Projektarbeit auch an mehreren Stel-

len gelang. Der Beirat unterstützte zu dem bei öffentlichen Auftritten des Verbundes dessen Arbeit mehrfach.

Die Mitglieder des Beirates wurden vollständig in die Informationsflüsse des Verbundprojektes eingebunden und konnten auf alle Materialien des Verbundprojektes zugreifen. Alle Beiratsmitglieder erhielten Zugang zum *premis* und hatten die Möglichkeit sich kontinuierlich über die Entwicklung des Gesamtverbundes zu informieren. Die Beiratsmitglieder wurden in alle den Gesamtverbund betreffenden E-Mail-Nachrichten von Seiten der Projektkoordination eingebunden. Auf der konstituierenden Sitzung am 11.10.2005 beschlossen die Beiratsmitglieder „Patenschaften“ für verschiedene Projektbereiche zu übernehmen, diese wurden in der Folge konstruktiv-kritisch begleitet. Beiratssitzungen fanden während der Projektlaufzeit stets in Verbindung mit den Projektvollversammlungen statt, an denen sich der Beirat intensiv beteiligte.

Internetpräsenz

Sehr bewährt für die Arbeit des Verbundes hat sich die konsequente Weiterentwicklung des *premis* (Projektinformations- und -managementsystem, siehe Kapitel 9.1). Dieses bereits in *pre agro* I in wesentlichen Teilen entwickelte System, dessen ursprüngliche Aufgabe die Organisation und Verwaltung von Geodaten mittels Metadaten war, entwickelte sich verstärkt zu einer Informationsplattform des Verbundprojektes für die interne und externe Kommunikation, einschließlich der Öffentlichkeits- und Pressearbeit (siehe auch Kapitel 9.2). Im internen Bereich wurden wesentlich erreichte Arbeitsschritte der Projektteile abgelegt. Die Projektkoordination nutzt das System ebenfalls, um dem Verbund wichtige Dokumente und Informationen zur Verfügung zu stellen. Auf diese Weise konnten Verbundpartner auf wichtige Dokumente zurückgreifen. Die Teilprojekte tauschten über die projekteigene Datenbank ihre Ergebnisse aus. Intensiv gestaltete sich aus diesen Gründen die Zusammenarbeit zwischen TP 21 und TP 22, in dem Wünsche zur Gestaltung des *premis* sehr zeitnah umgesetzt wurden.

Die Internetpräsenz wurde im wachsenden Maße ihrer Rolle als Informationsplattform gerecht, indem z. B. mit der steigenden Zahl von Publikationen ein wachsender Zugriff auf Ergebnisse von *pre agro* möglich wurde. Publikationen werden, wo immer möglich, direkt als Download angeboten. Auf diese Weise waren auch Zwischen- und Abschlussberichte von *pre agro* einer breiten Öffentlichkeit zugänglich. Kontinuierlich steigende Zugriffszahlen auf die Homepage des Verbundes (siehe Abbildung 203) belegen die wachsende Bedeutung der Projekthomepage.

Abstimmung der praktischen Feldarbeiten

Bezogen auf die praktische Feldarbeit auf den Betrieben beinhalteten die Aufgaben der Koordination die Abstimmung der Ansprüche der Teilprojekte an die Versuchsflächen einerseits und die Ansprüche bzw. Erfordernisse der landwirtschaftlichen Betriebe andererseits. Diese Abstimmung musste kontinuierlich erfolgen. Sie begann mit der Planung der Anbausaison und setzte sich während der Anbauperiode bis zu spezifischen Absprachen bei der Ernte fort. Noch vor der Ernte musste die erneute Planung der kommenden Anbausaison erfolgen. Für die Planung der praktischen Feldarbeiten hat sich sehr bewährt, dass einer der beiden Koordinatoren gleichzeitig wissenschaftlicher Bearbeiter des für die Feldversuche zentralen Teilprojektes 9 war (siehe Kapitel 4.1). Ein zusammenführendes, integratives Element der fachlichen Arbeit aller Teilprojekte war die Erprobung ihrer Erkenntnisse, Produkte und Services an ‚Anwendungsschlägen‘ im letzten Projektjahr. Die Entwicklung und Steuerung dieses Prozesses erfolgte partizipativ mit den Projektpartnern sowie den Betrieben. Neben dem Erkenntnis-

gewinn für die Projektarbeit, wurden die Ergebnisse im Rahmen eines Feldtages der Öffentlichkeit vorgestellt (siehe Kapitel 9.2.3.3).

Soweit möglich wurden Ergebnisse und Daten, die in *pre agro* I gewonnen wurden, für die Feldversuche in *pre agro* II genutzt. Aufgrund des Projektanspruches möglichst ganze Betriebe bzw. Betriebs-einheiten und mehrere Fruchtarten zu bearbeiten, erfolgte eine Konzentration aller Feldversuche auf den beiden Betrieben WIMEX und Täger-Farny. Zudem resultierte daraus ein Bedarf an einer hohen Anzahl an Schlägen, zu denen trotz des umfangreichen Datenbestandes aus *pre agro* I nicht für alle Versuchsschläge zu Projektbeginn Daten vorlagen. Um dem Verbund ein Minimum an grundlegenden Informationen zu den Versuchsschlägen anzubieten, ließ die Projektkoordination für wichtige Schläge des Betriebes WIMEX schon im Frühjahr 2005 ECa-Daten erheben.

Die Abstimmung zwischen den betrieblichen Erfordernissen einerseits und den Teilprojekten andererseits musste überwiegend sehr zeitnah erfolgen. Eine konstruktive, vertrauensvolle Zusammenarbeit bildete hier die Basis eines erfolgreichen Zusammenwirkens. Ein ursprünglich für die Versuchsbetreuung vorgesehenes Teilprojekt wurde mit der Antragsbewilligung bei reduzierter Zuwendung dem TP „Projektkoordination“ zugeordnet. Bald nach dem Projektstart stellte sich heraus, dass eine Betreuung der Projektversuche intensiver und zuverlässiger vor Ort durchgeführt werden konnte. In Abstimmung mit dem Projektträger wurde daraufhin vereinbart, dass die für die Versuchsbetreuung vorgesehenen Mittel den Betrieben zur Verfügung gestellt werden. Die Betriebe stellten im Gegenzug durch Einstellung geeigneten Personals die Betreuung der Projektversuche sicher. Durch den Koordinator der Projektbereiche 3 und 4 erfolgte in Abstimmung mit den Betrieben die fachlichen Vorgaben für den Betriebsbetreuer. Einzelheiten werden in den Kooperationsverträgen zwischen dem ZALF und den Versuchsbetrieben geregelt.

Zur Durchführung der praktischen Experimente vor Ort sowie zur praxisnahen Weiterentwicklung bestehender Software bzw. Schnittstellen wurden verschiedene Geräte auf den beiden Partnerbetrieben unter Berücksichtigung der geltenden Bestimmungen des BMBF angeschafft bzw. für die Projektlaufzeit gemietet. Die Anschaffungen erfolgten in enger Abstimmung zwischen den Betrieben, den betroffenen Teilprojekten sowie der Projektkoordination. Die Anschaffungen gewährleisteten die Durchführung der für das Verbundprojekt notwendigen Feldversuche auf beiden Betrieben.

Betriebstagebuch

Für die Teilprojekte, die auf den Betrieben praktische Erhebungen und Versuche durchführten, wurde zur Unterstützung der Abstimmung der Feldarbeiten innerhalb des *pre agro* ein Betriebstagebuch eingerichtet. Ziel war es einerseits, den Verbund über alle Arbeiten auf den Versuchsflächen zu informieren und auf diese Weise eventuelle Arbeitsüberschneidungen bzw. -doppelungen zu verhindern. Ein zweites Ziel war wochen- bzw. tagesaktuell zu erfahren, wer in der Region unterwegs ist. Ein drittes wesentliches Ziel war die Information über wichtige pflanzenbauliche oder versuchstechnische Maßnahmen, die andere Versuchsansteller beeinträchtigen könnten. Daher wurde neben der Region, WIMEX oder Groß-Twülpstedt, auch immer der betreffende Schlag, die ausgeführte Aktivität, die Zeitdauer und der Bearbeiter angegeben.

Statusberichte

Die Erstellung von kurzen monatlichen Statusberichten jedes Teilprojektes, die sich bereits in *pre agro* I bewährt haben, hat auch in *pre agro* II die Arbeit der Projektkoordination erleichtert. Die

monatlichen Statusberichte waren neben der Information über den Arbeitsstand der Teilprojekte ein Instrument, das sowohl für die Koordination als auch für jedes individuelle Teilprojekt einen knappen Soll-Ist-Abgleich darstellte und somit gleichzeitig ein Instrument für eine Rückblende bildete. Ein Feedback anlässlich einer Vollversammlung zeigte, dass die im *premis* zugänglichen Statusberichte gleichfalls von mehreren Teilprojekten als Informationsquelle über die Verbundarbeit genutzt werden.

Netzpläne

Zur Unterstützung der inhaltlichen Abstimmung wurde zu Beginn der Jahre 2005 und 2006 mit Hilfe aller Teilprojekte Netzpläne für das Gesamtprojekt erstellt. Diese Netzpläne listeten sowohl die durch die Teilprojekte geplanten Tätigkeiten inkl. der Fertigstellung von Teilergebnissen mit Terminen auf und stellten andererseits den Datenbedarf der Teilprojekte von anderen Projektteilen dar. Trotz notwendiger Modifikationen während der Versuchsjahre haben sich diese Netzpläne als wirkungsvolles Mittel erwiesen, die Forschungstätigkeiten der Teilprojekte besser aufeinander abzustimmen.

Zentraler Ansprechpartner, Gesamtdarstellung des Projektes

Die Projektkoordination fungierte als zentraler Ansprechpartner für Anfragen von außen. Der Verbund *pre agro* besitzt sowohl in der Scientific community, bei behördlichen Vertretern und der landwirtschaftlichen Praxis einen hohen Bekanntheitsgrad. Nach dem Start der zweiten Projektphase erfolgten verschiedene fachliche Anfragen an das Projektbüro, die z. T. direkt und z. T. mit zusätzlichen Informationen über die neue Internetpräsenz beantwortet werden konnten. Teilweise wurden Kontakte an die zuständigen Teilprojekte weitervermittelt.

Information des Projektträgers (PTJ)

Die vom Verbundprojekt *pre agro* verwandten Kommunikationsmittel wurden vom Projektträger ebenfalls zur Informationsbeschaffung genutzt. Neben bilateralen Kontakten zwischen Projektträger und Projektkoordination boten diese dem Projektträger die Möglichkeit, sich über den Stand des Verbundes auf dem Laufenden zu halten. Der zuständige Betreuer beim Projektträger wurde wie der wissenschaftliche Beirat über alle den Gesamtverbund betreffenden Neuigkeiten informiert. Der Projektträger hat Zugang zum *premis* und wurde zu allen zentralen Veranstaltungen des Verbundprojektes eingeladen.

Öffentlichkeitsarbeit

Die Projektkoordination hat die Öffentlichkeitsarbeit kontinuierlich strukturiert und intensiv begleitet. Eine ausführliche Darstellung der Öffentlichkeitsarbeit des Verbundes erfolgt in Kapitel 9.2.

Weiterbildungsangebote

Das Arbeiten in Verbundprojekten war für einige, insbesondere jüngere Mitarbeiter von *pre agro* Neuland. Um die Arbeit der Mitarbeiter zu unterstützen, aber auch den Verbund insgesamt zu stärken, wurde durch die Projektkoordination zusammen mit der Firma Coverdale drei Seminare als Weiterbildungsmaßnahmen angeboten und durchgeführt. Diese Seminare standen allen Projektmitarbeitern

offen, sollten aber in erster Linie durch die jüngeren Projektmitarbeiter genutzt werden. Angeboten wurden folgende Kurse (siehe auch Tabelle 118):

- Projektmanagement,
- Moderation,
- Zeitmanagement.

Diese Trainings hatten einen spürbar positiven Einfluss auf die gemeinsame Projektarbeit. Sie waren außerdem hilfreich, um aus dem Pool der Teilnehmer bei Bedarf leicht zusätzliche Unterstützung für die Projektkoordination zu gewinnen. Z. B. war es mehrfach hilfreich, Kollegen aus dem Moderations-training für die Arbeit in Workshops zu gewinnen, bei denen in vielen Kleingruppen gearbeitet werden musste.

9.3.4 Diskussion

Projektarbeiten und Projektfortschritt unterstreichen Sinn und Notwendigkeit eines abgestimmten Vorgehens bei der Bearbeitung eines inter- und transdisziplinären Forschungsverbundes durch eine zentrale, inhaltlich ausgerichtete Projektkoordination. Die Koordination entlastete die Teilprojekte nicht nur von formalen Arbeiten sondern förderte gezielt die inhaltliche Zusammenarbeit. Der Koordination gelang es dabei zunehmend, die disziplinären Arbeiten durch eine enge Verzahnung innerhalb des Verbundes durch Identifizierung und aktiver Vernetzung gemeinsamer Arbeitsgegenstände von Teilprojekten zu fördern und somit das Erreichen von Synergien im Verbundprojekt *pre agro* II zu erleichtern.

Verschiedene Formen einer effektiven Kommunikation und Zusammenarbeit im Verbund, die durch die Verbundpartner in einer sehr offenen Atmosphäre intensiv genutzt wurden, haben maßgeblich zum positiven Ergebnis des Verbundprojektes beigetragen. Die Kommunikation und Zusammenarbeit im gesamten Projekt war geprägt von einem offenen Dialog und kann als vorbildlich bezeichnet werden. Die Vernetzung der Teilprojekte war in den Projektbereichen teilweise sehr hoch, fand aber auch darüber hinaus statt. Immer war eine hohe Bereitschaft bei allen Projektpartnern erkennbar, sich innerhalb des Verbundes auch mit Themen auseinander zu setzen, die nicht unmittelbar den eigenen Arbeitsgegenstand berührten. Die inter- und transdisziplinäre Arbeitsweise führte zu deutlichen Synergien auf den verschiedensten Themengebieten. Die enge Vernetzung zwischen den Teilprojekten in *pre agro* und die gemeinsame Arbeit an verschiedenen Themengebieten spiegelt sich in zahlreichen Beiträgen dieses Abschlussberichtes wider. Nicht zuletzt gelang auch immer wieder der unmittelbare Transfer von Projektergebnissen in die Praxis bei gleichzeitigem Feedback aus der Praxis in die Forschungsfelder. Die Abschlusskonferenz in Berlin (siehe auch Kapitel 9.2) unterstrich die hohe Bedeutung und Aufmerksamkeit, die dem Verbundprojekt *pre agro* nicht nur im unmittelbaren Forschungsumfeld sondern auch durch Akteuren aus verschiedenen Gruppen beigemessen wird.

Danksagung

Wir bedanken uns herzlich bei allen Verbundpartnern, dem Projektträger und den Mitgliedern des wissenschaftlichen Beirats für die über die gesamte Projektlaufzeit stets ausgesprochen kooperative, zielorientierte und aufgeschlossene Zusammenarbeit.

Literatur

BRAND, F, F. SCHALLER & H. VÖLKER [Hrsg.] (2004): Transdisziplinarität. Bestandsaufnahme und Perspektiven. Beiträge zur THESIS-Arbeitstagung im Oktober 2003 in Göttingen. Höttingen, Universitätsverlag.

DEFILA, R., A. DI GIULO & M. SCHEUERMANN (2006): Forschungsverbundmanagement – Handbuch für die Gestaltung inter- und transdisziplinärer Projekte. vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich.

Anschrift der Autoren:

Dr. Armin Werner

Dr. Frank Dreger

Dr. Jürgen Schwarz

Betriebswirtin Karin Stahl

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.

Institut für Landnutzungssysteme

Eberswalder Straße 84

15374 Müncheberg

Telefon: (033432) 82-310, -257, -423, -330

Telefax: (033432) 82387

E-Mail: awerner@zalf.de

dreger@zalf.de

jschwarz@zalf.de

kstahl@zalf.de