FERNERKUNDUNG

Von Johannes Schulz-Stellenfleth und Richard Bamler

ENVOC
Ein neues Bild der Ozeane

Die Fernerkundung der Ozeane durch satellitengetragene Sensoren ist eine zentrale Komponente in den laufenden Bemühungen, das Verständnis und die Vorhersagbarkeit des globalen Klimasystems zu verbessern. Weiterhin spielen weltraumgestützte Sensoren eine wichtige Rolle für das Management der zunehmend intensiver genutzten Küstenregionen.

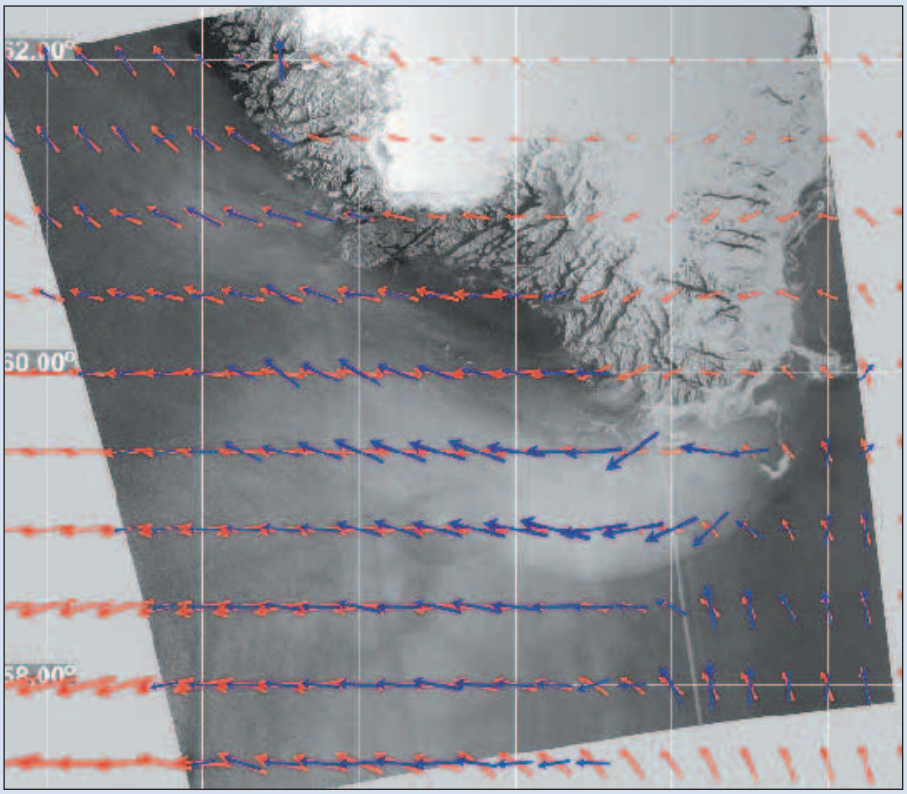
Um die komplizierten Wechselwirkungen der verschiedenen ozeanischen Komponenten, wie z.B. Wind und Wellen verstehen und vorhersagen zu können, ist es notwendig, geophysikalische Parameter, wie Windgeschwindigkeit oder Seegangshöhen, mit hoher Genauigkeit zu ermitteln. Darüber hinaus stellt die Ozeanographie durch die große zeitliche und räumliche Dynamik der relevanten Prozesse hohe Anforderungen an die entsprechenden Fernerkundungstechniken.

Mit dem neuen europäischen Satelliten ENVISAT wurde den erhöhten Anforderungen in der weltraumgestützten Umweltbeobachtung Rechnung getragen. ENVISAT stellt ein Ensemble verschiedener Sensoren bereit, die sich gerade für die Fernerkundung der Ozeane in idealer Weise ergänzen. Im Rahmen des von der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) geförderten Projektes ENVOC (**ENV**ISAT **Oc**eanography) wurde das Potenzial dieses Satelliten für ozeanographische Anwendungen in effektiver Weise genutzt. Dabei wurde die Expertise der beteiligten Helmoltz-Zentren DLR, GKSS, AWI und GFZ in den Bereichen Wind, Seegang, Schwebstoff, Meereis und Gewässerbiologie zusammengeführt. Der vorliegende Artikel baut auf Beiträgen aller beteiligten Partner auf. Das Projekt wurde vom Institut für Methodik der Fernerkundung (IMF) des DLR geleitet.

Abb. vorhergehende Seite: Die Straße von Gibraltar aufgenommen durch den Sensor MERIS. Es sind verschieden Wellen- und Strömungsstrukturen zu erkennen.

Abb. rechts: Ein aus einem Radarbild abgeleitetes Windfeld (rote Pfeile) im Vergleich mit Vorhersagen eines atmosphärischen Modells (blaue Pfeile) über der Südspitze von Grönland.

Abb. ganz rechts: Einige Beispiele von 10 x 5 Kilometer großen Radarbildern, die vom ENVISAT ASAR alle 100 Kilometer entlang der Fluglinie aufgenommen und für globale Wind- und Seegangsmessungen verwendet werden.



Im März 2002 startete die Europäische Raumfahrtagentur (ESA) mit dem Satelliten ENVISAT eine ihrer anspruchsvollsten Raumfahrtmissionen. Der Satellit verfügt über eine Reihe technisch fortschrittlicher Sensoren, die für die Fernerkundung ozeanographischer Parameter ideal geeignet sind. Neben einem Radar mit synthetischer Apertur (ASAR), trägt die Plattform ein Radar-Altimeter (RA), ein abbildendes Spektrometer (MERIS) und ein Radiometer (AATSR). Darüber hinaus verfügt ENVISAT noch über verschiedene Sensoren für die Fernerkundung atmosphärischer Parameter, die innerhalb anderer Projekte genutzt werden.

Im Rahmen des ENVOC-Projektes wurden neue Verfahren zur Ableitung ozeanographischer Parameter aus Fernerkundungsdaten des ENVISAT-Satelliten entwickelt. Der Schwerpunkt lag hierbei auf Windfeldern, Seegangsspektren, Schwebstoff-Parametern, biologischer Primärproduktion und Meereisvariablen. Ein Kernpunkt des Projektes war die synergetische, das heißt kombinierte Nutzung der verschiedenen Sensoren von ENVISAT. Dabei wurden die folgenden Ziele verfolgt:

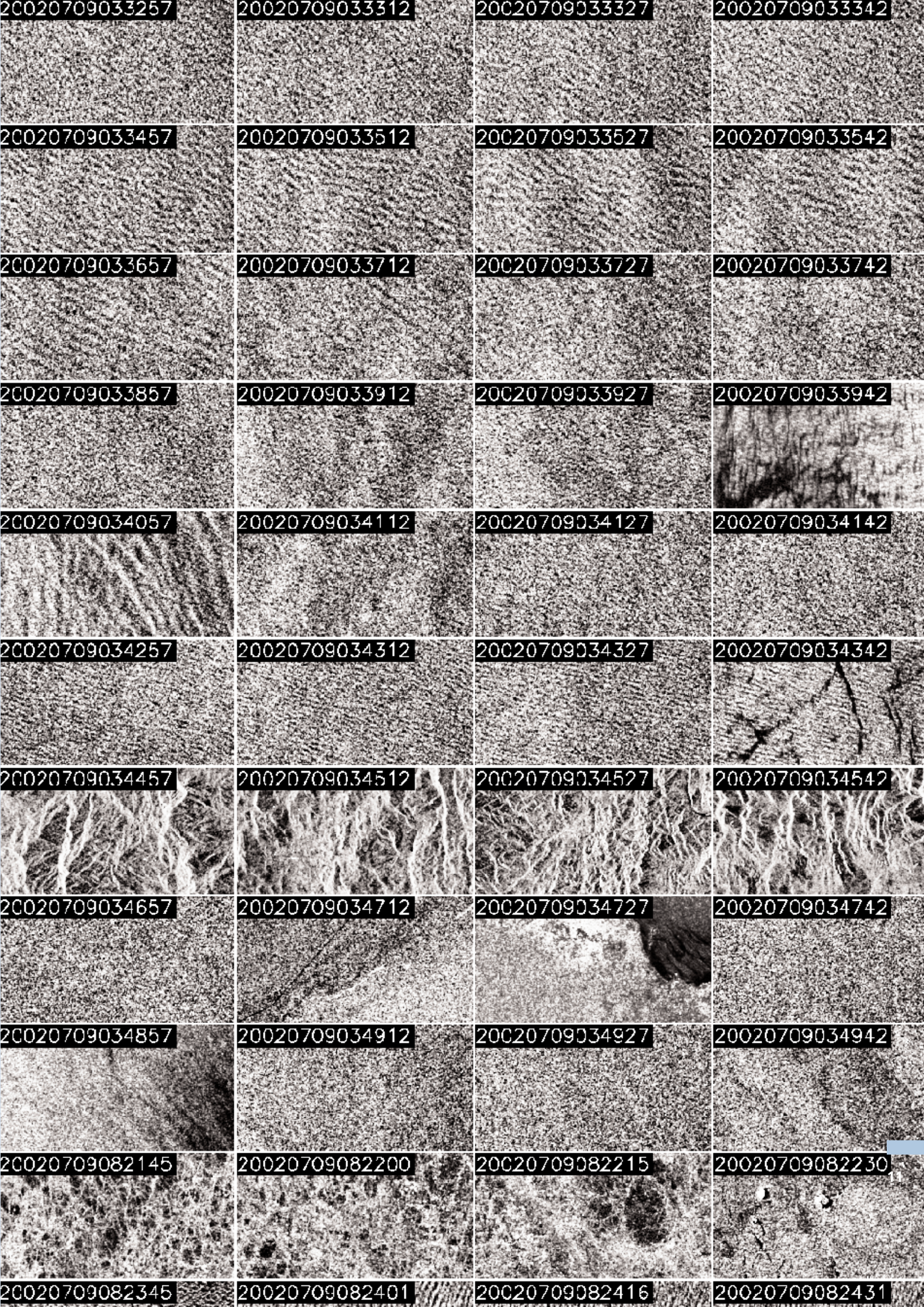
- Entwicklung neuer Seegangs- und Windmessverfahren zur Assimilation von numerischen Modellen an Wetterzentren, um Vorhersagen zu verbessern.
- Bestimmung von Meereisvariablen und Assimilation dieser Größen in ein Fünf-Tage-Meereis-Vorhersagemodell zur Unterstützung von Schiffahrt und Offshore-Anlagen in Meereisregionen.
- Monitoring und Modellierung von Schwebstofftransport in Küstengewässern, insbesondere solchen mit großen Flusseinmündungen. Dieses ist z.B. wichtig für eine optimale Planung von Ausbaggerungen der Fahrrinne oder die Verteilung von Schadstoffen in den Ästuaren.
- Überwachung von hydrobiologischen und biochemischen Parametern, die eine große Relevanz für das ökologische System, die Frischwasserversorgung sowie den Tourismus an der Küste und in Binnengewässern haben.
- Nutzung der abgeleiteten hydrophysikalischen und hydrobiologischen Parameter zur Entwicklung von Modellen für die biologische Primärproduktion, die einen Schlüsselfaktor im Kohlenstoffkreislauf darstellt und wesentlich für das Verständnis des Treibhauseffektes und damit des globalen Klimawandels ist.

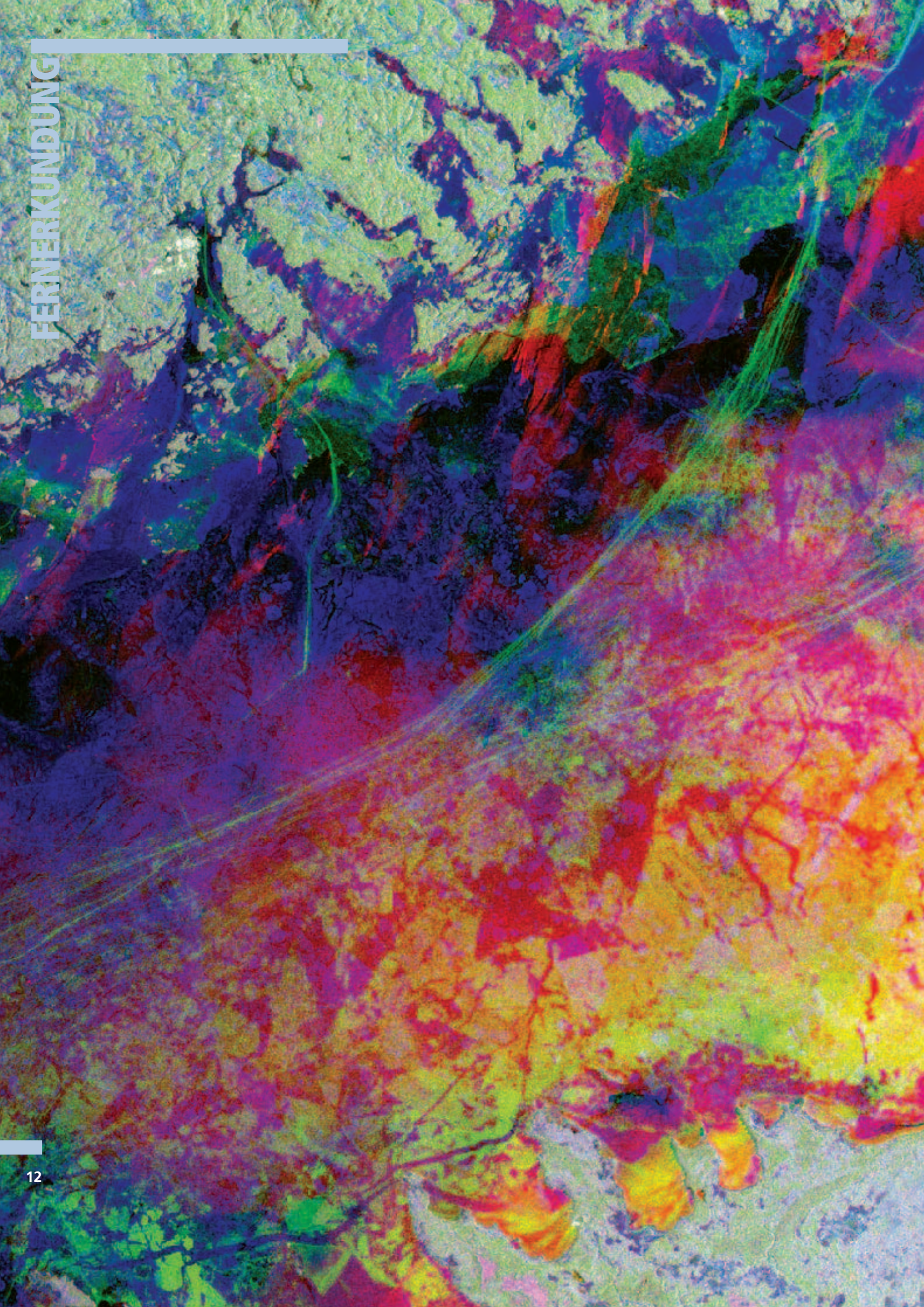
Im Folgenden werden die wesentlichen Untersuchungen und Ergebnisse des ENVOC-Projektes dargestellt.

Windmessungen

Die Daten des synthetischen Apertur Radars ASAR auf der ENVISAT-Plattform ermöglichen die Messung von zweidimensionalen Windfeldern über der Ozeanoberfläche mit einer Auflösung von unter einem Kilometer. Gleichzeitig erreicht der Sensor im so genannten Scansar-Mode eine Abdeckung von bis zu 500 x 500 Kilometer, das heißt mit einer Radarszene kann z.B. die komplette Nordsee abgedeckt werden. Information über Wind kann dabei aus der mittleren Helligkeit der Bilder abgeleitet werden, die durch die Rauhigkeit der Wasseroberfläche auf der Zentimeterskala bestimmt ist. Entsprechenden Algorithmen hierzu wurden im ENVOC-Projekt entwickelt.

Die im Rahmen von ENVOC durchgeführten Analysen haben gezeigt, dass solche numerischen Modelle insbesondere bei komplizierter Küstentopographie, also z.B. Gebirge, Schwächen haben und mit Radardaten optimiert werden können.


20020709033257
20020709033312
20020709033327
20020709033342
20020709033457
20020709033512
20020709033527
20020709033542
20020709033657
20020709033712
20020709033727
20020709033742
20020709033857
20020709033912
20020709033927
20020709033942
20020709034057
20020709034112
20020709034127
20020709034142
20020709034257
20020709034312
20020709034327
20020709034342
20020709034457
20020709034512
20020709034527
20020709034542
20020709034657
20020709034712
20020709034727
20020709034742
20020709034857
20020709034912
20020709034927
20020709034942
20020709082145
20020709082200
20020709082215
20020709082230
20020709082345
20020709082401
20020709082416
20020709082431



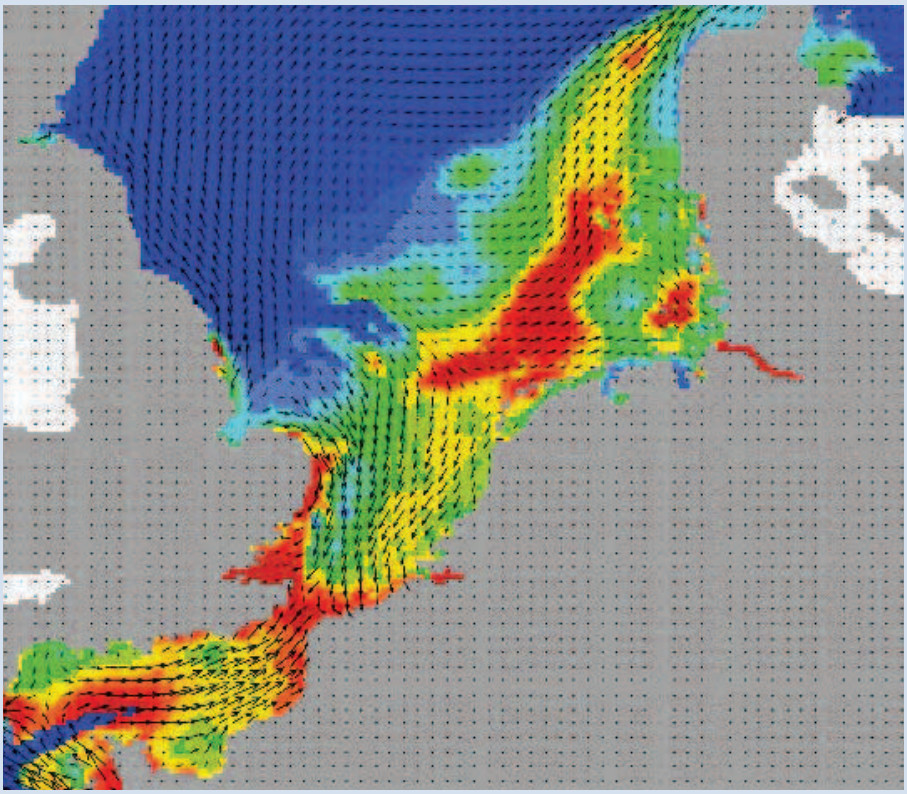


Abb. links: Das Instrument ASAR hat hier einen 100 Kilometer breiten Streifen vom Eis bedeckten Golf vor Finnland im Januar und im April aufgenommen. Das Eis wird durch die blau-grüne Färbung auf der finnischen und durch gelbe Färbung auf der estonischen Seite sichtbar.

Abb. rechts: Das Bild zeigt als Beispiel ein aus ENVISAT ASAR-ScanSAR-Daten abgeleitetes Windfeld. Durch ihre hochaufgelöste räumliche Information sind die ASAR-Windmessungen in einmaliger Weise geeignet, mesoskalige atmosphärische Modelle, die z.B. für die Planung von Offshore Windparks benutzt werden, zu verbessern.

Im so genannten Wave Mode des ENVISAT ASAR, in dem alle 100 Kilometer entlang des Satellitenorbits ein 5 x 10 Kilometer großes SAR-Bild aufgenommen wird, ist es darüber hinaus möglich, Windfelder auch auf globaler Skala zu messen.

Seegangsmessungen

Das ENVISAT ASAR hat mehrere technologisch fortschrittliche Fähigkeiten, die es für die Messung von Seegang besonders leistungsfähig machen. Für die Messung von Wellenfeldern an der Küste, die z.B. für die küstennahe Schifffahrt, für Offshore-Arbeiten oder den Bau und die Planung von Hafenanlagen interessant ist, ist der so genannte Image-Mode mit 20 Metern räumlicher Auflösung und 100 x 100 Kilometer räumlicher Abdeckung ideal.

Die oben genannten Wave-Mode-Daten dagegen sind für weltweite Seegangsmessungen geeignet und sind sogar die einzige Informationsquelle für Wellenlängen und Wellenausbreitungsrichtung auf globaler Skala überhaupt. Im Rahmen von ENVOC wurde ein neues Verfahren zur Messung von Seegangsspektren aus solchen globalen Datensätzen entwickelt. ENVISAT Wave-Mode-Daten werden inzwischen durch Assimilation in numerische Modelle zur Verbesserung der Seegangsvorhersage an dem Europäischen Zentrum für Mittelfristige Wettervorhersage (ECMWF) benutzt.

Um die Messverfahren für Seegang schon vor dem Start von ENVISAT testen zu können, wurde ein dreiwöchiger Rohdatensatz des europäischen Satelliten ERS-2, der 1995 gestartet wurde, am Institut für Methodik der Fernerkundung (IMF) zu Datenprodukten prozessiert, die den ENVISAT-Daten vergleichbar sind. Durch die Ergebnisse von ENVOC motiviert, ist das DLR bestrebt, den kompletten über zehnjährigen Wave-Mode-Datensatz der Satelliten ERS-1 und ERS-2 zu einer konsistenten Datenbasis, insbesondere für die Detektion von langfristigen Trends in Wind und Seegangsstatistiken, zu prozessieren.

Meereis

Meereis macht ungefähr zwei Drittel der gesamten eisbedeckten Fläche der Erde aus. Es ist damit ein wichtiger Faktor im globalen Klimasystem, da es einen starken Einfluss auf die Albedo und damit auf den Strahlungshaushalt der Erde hat sowie die Flüsse von Wärme und mechanischer Energie zwischen Atmosphäre und Ozean beeinflusst.

Im Rahmen von ENVOC wurden vom AWI Meereisvariablen wie Eiskonzentration, Eistyp, Eisrauhigkeit und Eisdicke aus Fernerkundungsdaten abgeleitet und in ein Fünf-Tage-Eisvorhersagemodell eingebracht.

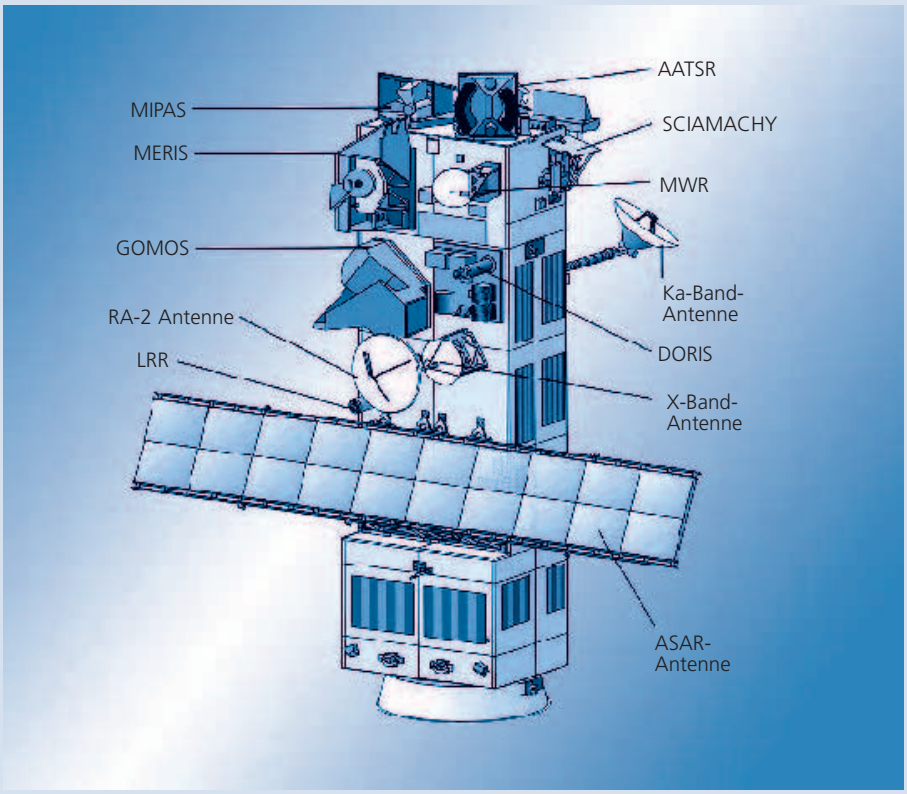
Vom DLR wurden dabei insbesondere Studien zur Ableitung von Eisparametern, wie z.B. der Statistik von Presseisrücken, die eine wichtige Rolle bei der Wechselwirkung des Meereises mit dem unterliegenden Ozean und der Atmosphäre spielen, aus Wave-Mode-Daten durchgeführt.

Schwebstofftransport

In Bildern des optischen Sensors MERIS kann die räumliche Verteilung von anorganischen Schwebstoffen in Küstengewässern, wie der Nordsee detektiert werden. Die Beobachtung des Schwebstoffes ist wichtig, um langfristige Veränderungen der Topographie an der Küste rechtzeitig zu erkennen und zu verstehen. Darüber hinaus hat der anorganische Schwebstoff durch Abschattungseffekte auch Einfluss auf ökologische Prozesse im Wasser. Besonders ausgeprägt tritt Schwebstoff nach starken Sturmereignissen auf, wobei die räumliche Verteilung sehr stark von den lokalen Strömungs- und Seegangsbedingungen abhängt.

Abb. rechts: Das Nutzlastmodul trägt insgesamt zehn wissenschaftliche Instrumente sowie zwei Radarantennen. (Zeichnung: Astrium GmbH)

Abb. ganz rechts: Die Region um die Cote D´Azur wurde von MERIS im August 2003 aufgenommen.



Im Rahmen von ENVOC wurde an der GKSS ein numerisches Schwebstofftransportmodell entwickelt und mit Fernerkundungsdaten kombiniert, um den aktuellen Stand bzw. die zukünftige Entwicklung der Schwebstoffkonzentration in der Nordsee zu schätzen. Hierbei wurde eine Assimilationstechnik verwendet, bei der das Modell im Wesentlichen gebraucht wird, um Lücken in den Fernerkundungsdaten, die z.B. durch Bewölkung entstehen können, zu schließen. Es konnte damit zum ersten Mal die Intensität und Länge der für die Nordsee charakteristischen Schwebstofffahnen realistisch modelliert werden.

Primärproduktion in Küsten- und Binnengewässern

Optische Sensoren wie MERIS liefern wichtige Information über die Ökologie und die Wasserqualität von Küstengewässern. Eine Komponente, die mit Hilfe optischer Fernerkundung quantifiziert werden kann, ist hierbei die biologische Primärproduktion, die am Anfang der Nahrungskette steht, und damit ein Schlüsselparameter des ökologischen Gewässerzustandes ist. Die Primärproduktion ist weiterhin ein wichtiger Faktor im CO_2-Haushalt der Erde.

Die Untersuchungen in ENVOC konzentrierten sich auf Gewässer, die durch relativ geringe Wassertiefe, starke Durchmischung, hohe Strömungsgeschwindigkeiten, bedeutenden Eintrag von Nährstoffen und Frischwasser gekennzeichnet sind. Unter diesen Vorraussetzungen, wie man sie z.B. in der Deutschen Bucht antrifft, hängt die Primärproduktion in der oberflächennahen Schicht im Wesentlichen von der einfallenden Lichtintensität ab. Für die biologischen Prozesse in den tieferen Schichten muss zusätzlich die Schwebstoffkonzentration berücksichtigt werden, die zu Abschattungseffekten führt.

Von dem DLR und der GKSS wurden im Rahmen von ENVOC Algorithmen entwickelt, die es unter anderem zum ersten Mal erlauben, die räumliche Verteilung der Primärproduktion in Binnengewässern zu messen.

Ausblick

Die in ENVOC durchgeführten Arbeiten haben das Potenzial eines kombinierten Einsatzes verschiedener Sensoren für ozeanographische Anwendungen eindruckvoll demonstriert.

ENVOC hat hierbei für die beteiligten Helmholtz-Zentren ein Tor für verschiedene nationale und europäische Folgeprojekte geöffnet. Besonders wichtig ist z.B. das europäische Projekt MAXWAVE, in dem es um die Messung von Extremwellen geht, die für die Sicherheit des Schiffsverkehrs von besonderer Bedeutung sind.

Es hat sich darüber hinaus das große Potenzial von historischen Radardaten der ERS-Satelliten abgezeichnet, mit deren Hilfe innovative Untersuchungen zum Klimawandel möglich sind.

Durch die beispielhafte Kooperation von DLR, GKSS, AWI und GFZ wurde der Grundstein für eine intensive Vernetzung innerhalb der HGF gelegt, die unter anderem durch das Helmholtz-Forschungsnetzwerk „Integriertes Erdbeobachtungssystem" fortgeführt wird.

Johannes Schulz-Stellenfleth ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am und Richard Bamler ist Leiter des DLR-Instituts für Methodik der Fernerkundung, Oberpfaffenhofen. ◄