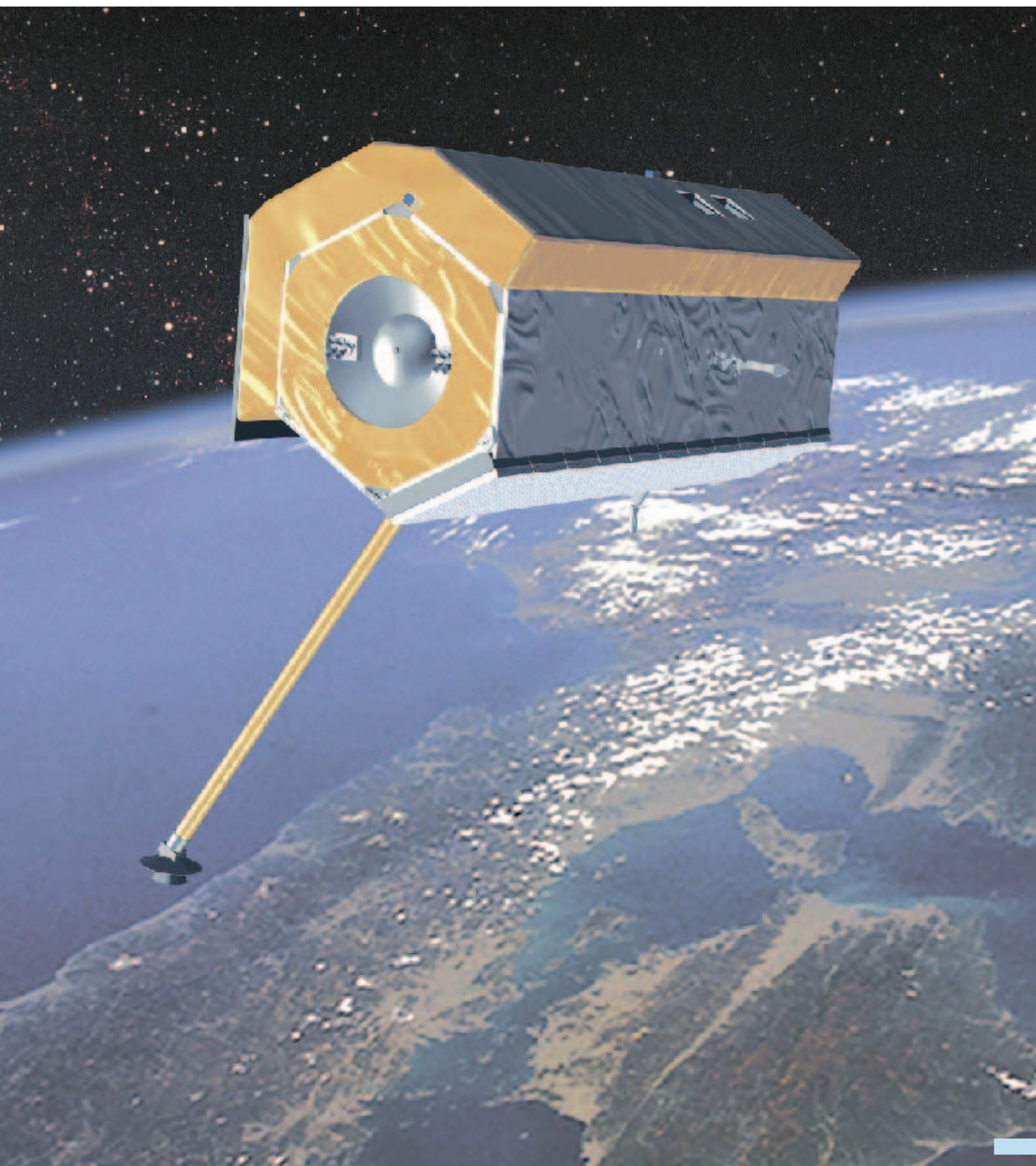


Von Hartmut Runge und Martin Ruhé

Verkehrsmonitoring mit dem deutschen Fernerkundungssatelliten TerraSAR-X

Für Anfang 2006 ist der Start des ersten operationellen deutschen Fernerkundungssatelliten TerraSAR-X geplant. Dieser Radar-Satellit wird erstmals im zivilen Bereich Bilder der Erdoberfläche mit einer räumlichen Auflösung von bis zu einem Meter liefern. Das Projekt wird als „Public Private Partnership“ durchgeführt, die zwischen dem DLR und dem Satellitenhersteller EADS Astrium GmbH geschlossen wurde. Beide Seiten finanzieren den Bau des Satelliten gemeinsam und teilen sich die Nutzung: Die EADS Astrium-Tochter Infoterra wird die Satellitenbilder kommerziell vermarkten, das DLR ist für die wissenschaftliche Nutzergemeinschaft zuständig. Eine neue Anwendung der Fernerkundung wird dabei die Verkehrsbeobachtung sein.





Die Erhöhung der Sicherheit im Straßenverkehr ist die zentrale Forderung des EU-Weißbuchs. Bis 2010 wird eine Halbierung der Zahl der Todesopfer angestrebt. In Europa sterben jährlich derzeit ca. 41.900 Menschen an den Folgen eines Verkehrsunfalls und mehr als 1,7 Millionen werden verletzt. Das verursacht 45 Milliarden Euro direkte und 160 Milliarden indirekte Kosten pro Jahr. 4.000 Kilometer Stau belasten Europas Autobahnen täglich, dies entspricht einem Zehntel der Gesamtlänge des Autobahnnetzes. Die Höhe des dadurch verursachten wirtschaftlichen Schadens wird aktuell diskutiert.

Die Aufwendungen im Europäischen Verkehrssektor umfassen mehr als zehn Prozent des EU-Bruttosozialproduktes (ca. eine Billion Euro), die notwendigen Investitionen für verkehrliche Infrastrukturmaßnahmen der EU-Beitrittsländer werden diese Kosten deutlich erhöhen. Die Kommission der Europäischen Gemeinschaft kalkuliert den Finanzbedarf auf ca. 91 Milliarden Euro für die Umsetzung der vorrangigen Verkehrsinfrastruktur bis 2015 in diesen Ländern.

Modernes Verkehrsmanagement ist demnach nicht mehr länger eine regionale oder nationale Aufgabe, sondern muss grenzüberschreitend europaweit angegangen werden. Global operierende Logistikunternehmen benötigen nicht zuletzt Verkehrsinformationen aus den Regionen, die zu ihrem Wirkungsbereich gehören, gleich um welchen Staat oder Kontinent es sich dabei handelt. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass den Verfahren zur großflächigen Verkehrsdatenerfassung zukünftig eine sehr große Bedeutung zukommen wird.

Der TerraSAR-X-Satellit wird mit einem neuartigen experimentellen Along-Track-Interferometrie-System ausgerüstet sein, das es ermöglicht, Bewegungen am Boden zu erkennen. Diese Technik wurde für die Verkehrsanwendung weltweit erstmals mit der deutsch-amerikanischen Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) im Jahr 2000 vom Weltraum aus demonstriert. In Verbindung mit weiteren Auswertungsverfahren lassen Simulationen und erste praktische Ergebnisse erwarten, dass die Geschwindigkeit von Fahrzeugen auf wenige Kilometer in der Stunde genau vom Weltraum aus bestimmt werden kann.

Mit relativ einfachen bodengebundenen Systemen ist das wohl auch möglich. Der Fortschritt besteht jedoch darin, dass mit einer Aufnahme eine Szene von z.B. 30 mal 30 Kilometer abgedeckt werden kann. Auf diese Weise wird TerraSAR-X und die nachgeschaltete Verarbeitungskette Bilder des Verkehrsgeschehens produzieren, in denen die ermittelten Geschwindigkeiten der Fahrzeuge in einem GIS-kompatiblen Format repräsentiert werden und zur Visualisierung z.B. farb-kodiert dargestellt werden können. In einer Simulation wurde dies für einen Autobahnabschnitt nahe Ludwigshafen schon einmal durchgeführt. Diese Art von Bildern wird es erstmals ermöglichen, Verkehrsparameter wie Dichte, Geschwindigkeiten oder den Anteil des Schwerlastverkehrs in größeren zusammenhängenden Netzen direkt messen zu können. Durch statistische Auswertungen kontinuierlich gesammelter Stichproben können darüber hinaus besonders interessante Phänomene des Verkehrsablaufes auf den

Autobahnen untersucht werden. Dies sind z.B. die Verkehrsparameter an bekannten Unfallschwerpunkten. Bodengebundene Sensoren können dagegen immer nur punktuell messen.

Die Extrapolation auf das flächige Verkehrsgeschehen kann durch Modelle erfolgen, die aber nur im „Normalfall“ korrekte Ergebnisse liefern, Staus und zählfließender Verkehr zwischen zwei Messstellen bleiben unentdeckt. Bodengebundene und Satellitenmessung sind also komplementär und werden in Verkehrsmodellen durch Assimilation zusammengeführt.

Im Rahmen eines DLR-Projektes soll das Bodensegment von TerraSAR-X so erweitert werden, dass Verkehrsdaten flächenmäßig und operationell erfasst und z.B. in einem geeigneten Geografischen Informationssystem (GIS) gespeichert werden können. Eine Szene in Europa kann vom Satelliten im Durchschnitt alle zwei Tage aufgenommen werden, sodass sich im Laufe eines Jahres eine für statistische Zwecke ausreichende Zahl von Messungen ergibt. Es ist aber auch daran gedacht, in Nahe-Echzeit die Daten zu verarbeiten und zunächst dem Traffic Tower des DLR-Instituts für Verkehrsforschung in Berlin-Adlershof zur Verfügung zu stellen. Hier werden diese Daten exemplarisch mit Verkehrsparameter anderer Verfahren, z.B. Floating Car Data (FCD), fusioniert und so für unterschiedliche Anwendungen zu Verkehrsinformationen verdichtet. Sobald das System ausgereift ist, sollen auch andere Verkehrsleitzentralen mit aktuellen Verkehrsdaten versorgt werden. Neben dem fließenden Verkehr kann auch der ruhende Verkehr erfasst werden, wie z.B. die Belegung von Parkplätzen.

Der große Vorteil der Verkehrsbeobachtung vom Weltraum aus ist die flächenmäßige Abbildung und die Möglichkeit der weltweiten Datenakquisition. Ein Radarsatellit bietet gegenüber einem optischen System, wie z.B. dem Ikonos-Satelliten, den weiteren entscheidenden Vorteil, dass die Beobachtung völlig unabhängig von Sonnenlicht und Witterung ist. Der

Abb. vorhergehende Seite: Der deutsche TerraSAR-X Fernerkundungssatellit. Der bei EADS Astrium in Friedrichshafen im Bau befindliche Satellit mit rund 1.200 Kilogramm Startmasse besteht aus einer Hexagon-Struktur von fünf Metern Länge. Auf der linken Seite ist das Solar-Panel angebracht und seitlich rechts ist die flache Radarantenne montiert, die unter einem Winkel von 33,8 Grad seitlich nach unten zum Boden schaut. Auf dem Bild ist auch ein kleiner Auslegermast mit einer Kommunikationsantenne an seiner Spitze zu erkennen. Über diese Vorrichtung wird die Übertragung der aufgenommenen Daten zur Bodenstation abgewickelt.

Abb. links: Verkehrsströme auf der A650. Die Simulation zeigt, wie die ermittelte Geschwindigkeitsverteilung der Fahrzeuge auf der Autobahn zur Visualisierung farblich kodiert werden kann. Derartige „Geschwindigkeitsbilder“ liefern u.a. eine neue Qualität für die Analyse von Unfallschwerpunkten.

Radarsatellit beleuchtet mit seiner Mikrowellenantenne selbst einen Streifen am Boden, sodass die Bilder bei Bewölkung und am Tag sowie in der Nacht immer gleich gute Resultate liefern. Als Einschränkung ist zu nennen, dass die Empfindlichkeit des interferometrischen Verfahrens zur Bewegungsdetektion eine Winkelabhängigkeit aufweist. Bei Bewegungen am Boden im Winkel von 90 Grad zur Flugrichtung ist die Empfindlichkeit am höchsten, Bewegungen genau entlang der Flugrichtung werden gar nicht erkannt. Mit einem Satelliten können also nicht gleichzeitig alle Autobahnen oder Schnellstraßen untersucht werden. Wegen der begrenzten Aufnahmestreifenbreite ist dies aber ohnehin nicht möglich. Der TerraSAR-X ist daher als Versuchsträger für die neue Technik und als Demonstrator für die Integration eines Satelliten in ein Verkehrsinformationssystem zu verstehen. Um alle Autobahnen länderübergreifend und darüber hinaus in einem

Abb. oben: Die Luftaufnahme links mit 20 Zentimetern Auflösung und die Flugzeug-Radaraufnahme rechts mit zwei Metern Auflösung von Parkplätzen in Ludwigshafen-Gartenstadt. Gebäudekomplexe sind blau unterlegt.

Abb. rechts: Abdeckungsbereich des Satelliten (Beispiel: am ersten Tag des elftägigen Wiederholzyklus). Das Bild zeigt schraffiert die Einzugsbereiche des Satelliten bei Überflügen über Europa. Der Bereich der dabei erfasst werden kann, ist bis zu 400 Kilometer breit. Tatsächlich beträgt im hochauflösenden Mode die Bild-Streifenbreite maximal jedoch nur 30 Kilometer. Um die Radarsignatur von PKWs zu vermessen, wurde am 15. Mai 2003 in Ludwigshafen eine Befliegung mit einer DO-228 der DLR Flugbereitschaft und dem ESAR des Instituts für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme durchgeführt. Um die Interpretation des Radarbildes zu erleichtern, wurde eine zweite, fast zeitgleiche Befliegung mit einer Cessna und einer hochauflösenden Kamera (RMK) des Instituts für Methodik der Fernerkundung durchgeführt.

engen zeitlichen Raster abzubilden, wäre eine Satellitenkonfiguration mit mehreren Satelliten notwendig.

Da bewegte Objekte im Radarbild nicht an der richtigen Position auf der Straße, sondern in Flugrichtung bis zu einigen Kilometern versetzt abgebildet werden, gestaltet sich die Verarbeitung dieser Daten als sehr anspruchsvoll und aufwändig, müssen doch auch in komplexen Verkehrsszenarien die gefundenen bewegten Objekte den richtigen Straßen zugeordnet werden.

Eine weitere Problematik ist das unter einigen Einfallswinkeln nur sehr schwach reflektierte Signal von PKWs, da diese an ihren glatten Metallflächen die einfallenden Mikrowellen oft nicht zum Sensor zurückspiegeln.

Das Projekt vereint beispielhaft die Stärke des DLR auf dem Gebiet der Satelliten- und Radartechnik mit dem im Aufbau befindlichen Schwerpunkt Verkehr. Projektpartner sind die Institute für Verkehrsforschung, Methodik der Fernerkundung, Hochfrequenztechnik und Radarsysteme sowie das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum. TerraSAR-X als Spitzenprodukt der deutschen Raumfahrtindustrie zusammen mit einem hochkomplexen Verarbeitungssystem am Boden wird zu völlig neuartigen Fernerkundungsprodukten führen, die ein alle Industrieländer betreffendes Thema adressieren: Die Optimierung von Warentransport und die Mobilität der Menschen.

Das besondere an dem neuen deutschen Fernerkundungssatelliten TerraSAR-X ist die Radarantenne, die aus einem Array von insgesamt 384 Transmit/Receive Modulen besteht. Durch eine Phasensteuerung wird eine sehr agile elektronische Strahlschwenkung erreicht, sodass in schneller Folge Aufnahmegebiete erreicht werden können, die in einem ganz unterschiedlichen Blickwinkel liegen. Diese Antennentechnologie ermöglicht es auch, einen speziellen interferometrischen Mode zu realisieren, bei dem die Antenne beim Empfang in zwei logische Hälften geteilt wird, die jeweils einem Empfänger zugeordnet sind.

Ein 256 Gigabyte großer Halbleiterspeicher ermöglicht die Zwischenspeicherung der aufgenommenen Daten an Bord des Satelliten, bis sie über der Bodenstation zur Erde übertragen werden können. Auf diese Weise können Szenen auf der ganzen Welt aufgenommen werden.

Damit das fest montierte Solar-Panel ständig von der Sonne beschienen wird und die Gebiete am Boden (zur besseren Vergleichbarkeit) immer zur gleichen Tageszeit aufgenommen werden können, wurde ein sonnen-synchroner Orbit gewählt. Zeitlich wird dieser so justiert, dass der Äquator immer etwa um 6:00 Uhr von einem absteigenden und gegen 18:00 Uhr von einem aufsteigenden Orbit überstrichen wird. Durch diesen so genannten „dusk/dawn Orbit“ werden alle Gebiete auf der Erde immer morgens und abends aufgenommen.

Gestartet wird der Satellit mit einem der heute preiswertesten Launcher in den erdnahen Orbit (515 Kilometer): einer modifizierten, ehemaligen russischen Langstreckenrakete vom Typ SS-18 – der heutigen DNEPR-1 – aus einem Silo in Baikonur/Kasachstan.

Durch die hohe Geschwindigkeit des Satelliten von über 25.000 Kilometer in der Stunde werden die im Bild eingezeichneten Testgebiete in Mitteleuropa innerhalb von nur rund zwei Minuten erfasst. Weltweit gesehen könnte der Satellit daher täglich viele Tausend Streckenkilometer Autobahn überwachen.

Das Abdeckungsmuster verschiebt sich täglich etwas und ist am zwölften Tag wieder identisch zu dem vom ersten Tag des Wiederholzyklus.

Dipl.-Ing. Hartmut Runge, DLR-Institut für Methodik der Fernerkundung, Oberpfaffenhofen und Dipl.-Ing. Martin Ruhé, DLR-Institut für Verkehrsforschung, Berlin-Adlershof. ◀

