

Erdbeobachtung mit höchstaflösenden Satelliten – Status und Ausblick

Gerald MANSBERGER und Markus M. EISL

Zusammenfassung

Nach dreieinhalb Jahrzehnten, in denen in der Satellitenfernerkundung durch ständige Weiterentwicklung die technischen Grundlagen für operationelle Systeme gelegt wurden, befindet sich die Branche im Umbruch. Neben zahlreichen neuen Satellitensystemen, die mittlerweile häufige Bildwiederholraten bei einer Detailerkennbarkeit zwischen 0,5 und 1 Meter ermöglichen, sind es vor allem operationelle und strukturelle Änderungen, die das Bild prägen. Dieser Artikel gibt einen Überblick über den gegenwärtigen Stand der Erdbeobachtung mit höchstaflösenden Satelliten sowie über die derzeit feststellbaren Trends. Ausgehend von den technischen Eigenschaften aktueller Systeme und Aspekten der operationellen Datenbeschaffung und -verbreitung werden Tendenzen des Erdbeobachtungsmarktes insgesamt diskutiert. Im Abschluss wird eine Übersicht der für die nächste Zukunft geplanten Satellitensysteme präsentiert.

1 Technische Entwicklungen und Trends

1.1 Geometrische Auflösung

Seit den Anfängen der zivilen Fernerkundung vor beinahe vierzig Jahren waren die Konstrukteure von Satelliten stets mit der Forderung nach einer Verbesserung der geometrischen Auflösung konfrontiert. Eine sich rasch weiterentwickelnde Technologie erlaubte große Fortschritte in diese Richtung und die Satelliten der Landsat-Reihe mit dem Thematic Mapper mit einer Auflösung von 30 Metern an Bord, die französischen SPOT Satelliten mit einer Auflösung von 10 Metern und die indischen Satelliten IRS 1C und 1D mit einer nominellen Auflösung von knapp 5 Metern im panchromatischen Spektralbereich trugen diesem Trend Rechnung.

Dennoch überraschte die Qualität der Bilder des Satelliten IKONOS, welcher im Jahre 2000 als erstes ziviles Satellitensystem Aufnahmen mit einer Auflösung von unter einem Meter lieferte. In den Bildern waren Häuser, Bäume und sogar Autos in einer bis dahin ungekannten Genauigkeit deutlich zu erkennen. Damit wurden von einem Satelliten aus einer Höhe von ca. 680 km Aufnahmen gemacht, deren Detailerkennbarkeit einen Vergleich mit Luftbild-Orthophotos erlaubte.

Die Entwicklung hin zu immer höheren geometrischen Auflösungen war jedoch mit IKONOS nicht beendet. Im Jahr 2001 wurde mit QuickBird ein Satellit mit einer Pixelgröße von 0,6 Metern in den Orbit geschickt. Mit dem operationellen Betrieb der beiden amerikanischen Satelliten WorldView-1 (seit 2007) und GeoEye-1 (2008) liegt die erzielte Auflösung derzeit bei 0,41 Meter.

Tabelle 1: Auflistung der wichtigsten optischen Satelliten mit einer geometrischen Auflösung bis zu 2,5 Meter.

Satellit	Auflösung Pan/multispektral	Spektralkanäle Pan/multispektral	Aufnahmehöhe
SPOT-5	2,5/10 Meter	1/4	830 km
IRS-P5 Cartosat-1	2,5/- Meter	1/0	618 km
ALOS-PRISM/AVNIR	2,5/10 Meter	1/4	691 km
FORMOSAT-2	2/8 Meter	1/4	891 km
KOMPSAT-2	1/4 Meter	1/4	685 km
IKONOS	0,8/3,2 Meter	1/4	681 km
QuickBird	0,6/2,4 Meter	1/4	450 km
WorldView-1	0,5/- Meter	1/0	496 km
GeoEye-1	0,41/1,65 Meter	1/4	684 km

Eine ähnliche Entwicklung wie bei den optischen Aufnahmesystemen ist auch bei Radarsatelliten zu beobachten. Während die geometrische Auflösung bei den ESA-Sensoren ERS-SAR und Envisat-ASAR noch bei 30 Metern liegt, erzielt der seit 1995 aktive Satellit Radarsat-1 bereits eine maximale Auflösung von 7 Metern. Das Nachfolgemodell Radarsat-2, welches Ende 2007 von Baikonur/Kasachstan aus in seine Umlaufbahn gebracht worden ist, weist Auflösungen bis zu 3 Meter auf.

Der in Zusammenarbeit zwischen dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und dem Unternehmen ERDS-Astrium produzierte Satellit TerraSAR-X (2008) gilt mit einer Detailerkennbarkeit von 1 Meter als der derzeit bestauflösende kommerzielle Radarsatellit. Ähnliche Bestwerte bei der räumlichen Auflösung erreichen auch die Satelliten der italienischen COSMO-SkyMed-Flotte, die Mitte 2010 ihren Vollausbau erreichen soll.

Mit der steigenden Bodenauflösung der Satellitendaten treten neben den technischen Fragen der Verwaltung und Verarbeitung der enormen Datenmengen vermehrt auch politisch-gesellschaftliche Aspekte in den Vordergrund, die sich etwa in der Frage des Daten- und Persönlichkeitsschutzes manifestieren. Zu genaue Daten werden auch als Bedrohung der nationalen Sicherheit gewertet, sodass etwa für zivile Anwendungen die Auflösung der Daten von GeoEye-1 auf 0,5 Meter reduziert werden muss.

1.2 Spektrale Auflösung

Neben der geometrischen Auflösung ist die spektrale Auflösung eine weitere wichtige Kenngröße eines Satellitensensors. Die spektrale Auflösung wird im Allgemeinen durch die Anzahl der spektralen Kanäle sowie deren spektrale Bandbreite charakterisiert.

Die meisten derzeit operierenden Satelliten bestehen typischerweise aus einer Kombination eines einzelnen besser auflösenden panchromatischen Kanals (Wellenlängenbereich ca. 0,45-0,90 μm) mit vier multispektralen Kanälen mit geringerer Auflösung. Ausnahmen sind die Satelliten Cartosat-2 und WorldView-1, welche ausschließlich im panchromatischen Bereich aufnehmen.

Die multispektralen Kanäle haben eine reduzierte geometrischer Auflösung und nehmen zumeist im blauen (0,44-0,50 μm), grünen (0,50-0,59 μm) und roten (0,63-0,70 μm) Spektralbereich sowie im nahen Infrarot (0,75-0,85 μm) auf. Spezielle Algorithmen erlauben eine Verschmelzung des panchromatischen Kanals mit den multispektralen Kanälen. Das Resultat sind Aufnahmen in Echtfarbdarstellung oder Falschfarb-Infrarot-Darstellungen mit einer Pixelauflösung, welche der geometrischen Auflösung des panchromatischen Kanals entspricht.

Eine Besonderheit haben die Sensoren der Satellitenkonstellation RapidEye (geometrische Auflösung 5 Meter) aufzuweisen. Sie verfügen neben den üblichen Multispektralkanälen im blauen, grünen und roten Spektralbereich sowie im nahen Infrarot mit dem so genannten „Red Edge“ über einen zusätzlichen Kanal, welcher durch seine Lage im Grenzbereich zwischen Rot und nahem Infrarot sehr genaue Aussagen über den aktuellen Chlorophyllgehalt von Pflanzen erlaubt.

Bei deutlichem Überschreiten der bisher angeführten Zahl von Spektralkanälen (typischer Weise mehr als 10 simultan aufnehmende Kanäle) wird von hyperspektralen Aufnahmesystemen gesprochen. Es gibt zwar keine hochauflösenden Satelliten mit hyperspektraler Aufnahmekonstellation, doch stellen die operationellen Sensoren MODIS (auf den US-Satelliten Terra und Aqua) mit einer geometrischen Auflösung von 1 km und über 40 Spektralkanälen und Hyperion (an Bord des Satelliten EO-1) mit einer Auflösung von 30 Metern und 220 Spektralkanälen erste Schritte auf diesem Weg dar.

Über die Anzahl von Spektralkanälen hinaus erfolgt eine Verbesserung des Informationsgehalts der Daten durch die Verwendung höherer „Farbtiefe“. Anstelle der lange üblichen 8 Bit je Kanal sind derzeit 11 Bit je Kanal gängig, womit sich grundsätzlich der verfügbare Informationsraum je Pixel verachtfacht. Auf diese Weise wird es wesentlich leichter möglich, auch bei hohem Dynamikumfang eine gute Differenzierbarkeit beizubehalten.

Im Bereich der Radarsatelliten stellt sich die Situation etwas anders dar. Wenn auch die Verfügbarkeit von Daten aus unterschiedlichen Radarbändern sinnvoll wäre, so wird das aus Kostengründen nicht umgesetzt. Dagegen sind etwa von TerraSAR-X Multipolarisationsdaten verfügbar, ein Produkt, mit dem in Radardaten eine deutlich weitergehende Differenzierung von Oberflächen möglich ist, die unterschiedlich polarisierte Radarwellen unterschiedlich stark reflektieren.

2 Trends im operationellen Bereich

Nach dem Beginn des operationellen Betriebs durch die Satelliten IKONOS und QuickBird überzeugte die Qualität der Aufnahmen rasch, sodass die Nutzergemeinschaft zuversichtlich war, eine Alternative zu den herkömmlichen Luftbild-Orthophotos gefunden zu haben. Bald stellte sich jedoch heraus, dass die Erwartungen nicht in allen Fällen erfüllt werden konnten und dass die Aufnahmekapazitäten der Satelliten den Bedarf nicht abdecken konnten.

Als Konsequenz wurden unterschiedliche Stoßrichtungen eingeschlagen, um den steigenden Bedarf an höchstauflösenden Satellitendaten erfüllen zu können.

2.1 Schwenkbarkeit

Hochauflösende Satelliten nehmen nicht – wie etwa die Landsat-Satelliten – die Erdoberfläche kontinuierlich auf, sondern nehmen punktuell kleinere Gebiete von besonderem Interesse auf. Im Vergleich zu älteren Satellitensystemen, welche nicht (Landsat) oder nur quer zur Flugrichtung (SPOT) schwenkbar sind, können die Aufnahmesysteme der aktuellen höchstauflösenden Satelliten sowohl quer zur Flugrichtung als auch in Flugrichtung verschwenkt werden und garantieren somit ein deutlich erhöhtes Maß an Aufnahmekapazität. Große Unterschiede zwischen den Satelliten herrschen allerdings in der Zeitdauer, innerhalb der die zwischen zwei Aufnahmeorten notwendige Verschwenkung durchgeführt werden kann, wodurch sich in der Praxis unterschiedliche Aufnahmekapazitäten ergeben.

2.2 Übertragungsraten

Ein wesentlicher Faktor für die Aufnahmekapazität eines Satelliten ist die erzielbare Datenübertragungsrate vom Satelliten zur Bodenstation. Ziel ist dabei, während jedem Überflug innerhalb des relativ kurzen Zeitfensters, innerhalb dessen der Satellit in Funkverbindung mit der Bodenstation steht, die aufgenommenen und an Bord des Satelliten zwischengespeicherten Bilddaten zur Erde zu übermitteln. Durch verbesserte Übertragungssysteme wird die Aufnahmekapazität der Satellitensysteme auch in diesem Bereich sukzessive verbessert.

2.3 Streifenbreite

Die Breite des Aufnahmestreifens ist natürlich ein nahe liegender Parameter für die Aufnahmekapazität eines Satelliten, welche allerdings im engen Zusammenhang mit der erzielbaren Datenübertragungsrate steht. Die Aufnahmebreite variiert bei den bestehenden hochauflösenden Satellitensystemen zwischen 10 km (IKONOS) und 17 km (QuickBird). Dies ist ein Vorteil im Vergleich zu Luftbild-Orthophotos, da wesentlich größere Flächen mit einheitlicher Bildgeometrie und Bildradiometrie abgedeckt werden können

2.4 Flottenbildung

Die effizienteste Art, das Aufnahmepotenzial zu erhöhen, ist die Platzierung einer Reihe baugleicher Satelliten in die Erdumlaufbahn und deren paralleler Betrieb. Diese Strategie wird seit den 1990er Jahren von der französischen Weltraumbehörde C.N.E.S. als Betreiber der SPOT-Satelliten verfolgt, von denen gleichzeitig bis zu drei Satelliten in Betrieb sind.

Die derzeit umfassendste operationell in Betrieb befindliche Satellitenflotte ist seit Spätherbst 2008 RapidEye mit fünf baugleichen Satelliten, welche von der deutschen Firma RapidEye AG betrieben werden. Das ehrgeizige Ziel ist, jedes Gebiet der Erde innerhalb eines Tages zu erreichen, was durch die Konstellation aus fünf Satelliten mit den klingenden griechischen Namen Choma (Erde), Tachys (schnell), Mati (Auge), Trochia (Orbit) und Choros (All) gewährleistet wird.

Mit einem ganz ähnlichen Prinzip wird mit der oben erwähnten Flotte der COSMO-SkyMed-Radarsatelliten eine sehr kurze Wiederholrate erzielt. Auf diese Weise sind sowohl RapidEye als auch COSMO-SkyMed für den Einsatz in zeitkritischen Anwendungen

prädestiniert, wie sie etwa im zunehmend wichtiger werdenden Gebiet der Katastropheneinsatzunterstützung zu finden sind – gerade hier ist die rasche Verfügbarkeit präziser Information eine zentrale Forderung für die Anwendbarkeit von Satellitendaten.

3 Satellitenbetreiber – Tendenzen

Während die Satellitenbetreiber ursprünglich ausschließlich Lieferanten von Rohdaten waren, haben sie vor einigen Jahren begonnen, dem Endnutzer in vermehrtem Umfang veredelte Produkte zur Verfügung zu stellen.

Nahezu alle Betreiber höchstauflösender Erdbeobachtungssatelliten bieten standardmäßig ihre Satellitendaten als geokodierte Bildkarten oder Satelliten-Orthophotos an. Auf Grund der hohen Positionierungsgenauigkeit der Satelliten können geokodierte Bildkarten ohne zusätzliche Bodenpasspunkte mit für viele Anwendungen ausreichender Lagegenauigkeit erstellt werden. Die für eine Orthorektifizierung der Bilddaten benötigten Digitalen Höhenmodelle und Bodenpasspunkte werden häufig von den Satellitenbetreibern zur Verfügung gestellt. Bei höchsten Genauigkeitsanforderungen sind im Allgemeinen die Digitalen Höhenmodelle und die Bodenpasspunkte vom Kunden beizustellen. Homogene Bildmosaïque in Echtfarbdarstellung oder in Infrarot-Falschfarbdarstellung gehören mittlerweile ebenfalls zur Standard-Produktpalette.

Auch der Bedarf an hochwertigen Digitalen Höhenmodellen nimmt weltweit nach wie vor zu. Die meisten Satellitenbetreiber bieten daher Stereomodelle als Grundlage für die Erstellung von Digitalen Geländemodellen für den Fall an, dass Genauigkeit und Detailgrad über die des weltweit verfügbaren SRTM-3 deutlich hinausgehen sollen. Als zusätzlicher Service wird auch die Erstellung eines Digitalen Geländemodells selbst angeboten. Der Satellit SPOT-5 beispielsweise ist mit einem Stereosensor ausgestattet, welcher die Erdoberfläche permanent in Stereo aufnimmt. Das daraus generierte Geländemodell ist bereits für viele Gebiete weltweit verfügbar und kann von den Kunden „off-the-shelf“ erworben werden.

Über die Daten hinaus werden von den Satellitenbetreibern in vermehrtem Maß Dienstleistungen angeboten, wie z.B. die Erstellung von Landnutzungsklassifikationen. Den größten Schritt in diese Richtung geht der Betreiber der RapidEye-Satelliten, deren erklärtes Ziel nicht der Vertrieb der von den Satelliten aufgenommen Daten sondern die Erfüllung einer Dienstleistung unter Bereitstellung ihrer Daten ist. Gerade im Hinblick auf die zunehmende Fülle unterschiedlicher Datenprodukte und -services nehmen Datenstandards und Metadatenstandards eine zunehmend wichtige Rolle ein.

Interessante Entwicklungen sind bei den Satellitenbetreibern im Hinblick auf die Eigentumsverhältnisse zu beobachten. Lagen diese seit den ersten zivilen Systemen in der Hand öffentlicher Stellen wie NASA, ESA oder C.N.E.S., so ist seit dem Start von IKONOS 1999 gerade auf dem Sektor der höchstauflösenden Satellitendaten eine Verschiebung in Richtung privater oder halböffentlicher Unternehmen im Gang. In dieses Szenario passt der Verkauf von SPOT an EADS-Astrium durch C.N.E.S. ebenso wie das Engagement von RapidEye oder Telespazio (COSMO-SkyMed) – trotz weiterhin hoher öffentlicher Subventionen deutliche Indizien dafür, dass die Satellitenfernerkundung einen weiteren Schritt hin zu marktfähigen und operationellen Produkten und Dienstleistungen macht.

4 Ausblick und zukünftige Systeme

Im Bereich der Satelliten selbst werden in naher Zukunft eine Reihe von Systemen erwartet, durch welche die beschriebenen Trends sowohl in technischer als auch in operationeller und struktureller Hinsicht fortgeschrieben werden. Eine kleine Auswahl der für die nächsten Jahre geplanten Systeme umfasst etwa die Satelliten Cartosat-3 (25 cm, 2009), WorldView-2 (50 cm, 2009), Eros-C (70 cm, 2009), GeoEye-2 (25 cm, 2011-2012) oder im Radar-Bereich TanDEM-X (2009).

Ein interessantes System stellt Pleiades dar. Pleiades 1-A wird eine Auflösung von 50 cm besitzen und soll im März 2010 in seine Umlaufbahn geschickt werden, kapp ein Jahr später soll der baugleicher Satellit Pleiades 1-B die Aufnahmekapazität verdoppeln. Hervorragend wird die ungewöhnlich rasche Verschwenkbarkeit des Sensors sein, welche innerhalb eines Überfluges von 1.000km die Aufnahme von bis zu 15 typischen Zielen ermöglichen soll. Gemeinsam mit einer Aufnahmebreite von 20 km und einer hohen Datenübertragungsrates können somit innerhalb eines Überfluges bis zu knapp 22.000 km² aufgenommen werden, was im Vergleich zu bestehenden Systemen einer Verdopplung gleichkommt. Die beiden Pleiades-Satelliten sollen synchron zu den für 2012 erwarteten SPOT-6 und SPOT-7 Satelliten betrieben werden. SPOT-6 und SPOT-7 besitzen eine Auflösung von 2,2 Meter im panchromatischen Kanal und sollten in Zukunft das Marktsegment einer großflächigen Abdeckung mit aktuellen hochauflösenden Satellitendaten sicherstellen.

Neben dieser auch in Zukunft zu erwartenden Fortsetzung der Trends auf technischer Ebene, die zu Systemen und Daten mit weiter verbesserter Detailerkennbarkeit und erweiterten Möglichkeiten zu inhaltlichen Auswertungen führen werden, sind es vor allem Änderungen im operationellen Umfeld, welche die Grundlage für die weitere Verankerung der Erdbeobachtung in immer mehr Anwendungen darstellen werden.

Dazu haben neben den technischen Verbesserungen, durch die höchstauflösende Satellitendaten in vielen Bereichen Luftbild-Orthophotos bereits ersetzen können, auch „stromlinienförmigere“ Produktionsketten beigetragen, die es ermöglichen, mit hoher Wahrscheinlichkeit die für die geplante Anwendung geeigneten Daten zu erhalten. Internetbasierte Datensuch- und -distributionssysteme unter Einbeziehung von E-Commerce-Lösungen sind Teile dieser verbesserten Vertriebsschienen, die auch einen wichtigen Beitrag für die festzustellende Konzentration seitens der Datenanbieter darstellen. Kostenseitig hat sich die massive Zunahme von höchstauflösenden Systemen bislang nicht im erwarteten Ausmaß niedergeschlagen, doch der Trend läuft eindeutig in die Richtung kostengünstigerer hochqualitativer Daten.