

EINIGE BETRACHTUNGEN ZUR ENTWICKLUNG DER FERNERKUNDUNG

Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr. Friedrich Ackermann

G. Konecny, Universität Hannover

1. EINLEITUNG

Noch vor 20 Jahren galt unter Photogrammetern die Meinung, die in den frühen Sechzigerjahren in den USA ins Leben gerufene Fernerkundung sei ein Anhängsel an die seit Jahren entwickelte Bildinterpretation. In der Zwischenzeit ist klar geworden, daß die Photogrammetrie einen Teilaspekt der Fernerkundung darstellt.

An dem Gesinnungswandel waren nicht unwesentlich die Kommissionen der Internationalen Gesellschaften beteiligt, so z.B. die Kommission III der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie, welche von 1972 bis 1976 unter Leitung von Prof. Dr. F. Ackermann stand. Er errichtete eine durch den Autor betreute Arbeitsgruppe "Geometrie der Fernerkundungsverfahren", die erste Fernerkundungsgruppe außerhalb der Interpretationskommission VII der ISP.

Die Entwicklung machte Schule, so daß sich die ISP im Jahre 1980 entschloß, eine Internationale Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (ISPRS) zu werden, in welcher Photogrammetrie und Fernerkundung gleichberechtigt in allen sieben technischen Kommissionen vertreten sind.

In der weiteren Entwicklung besteht nunmehr die Notwendigkeit einer Annäherung aller das Vermessungswesen vertretenden Internationalen Gesellschaften, insbesondere der Internationalen Föderation der Vermessungsingenieure, der ISPRS und der Internationalen Assoziation für Kartographie in der sogenannten Internationalen Union für Vermessungswesen. Durch die Entwicklung der digitalen Rechentechnik wurde die Isolation zwischen den klassischen Disziplinen Geodäsie – Vermessungswesen – Photogrammetrie und Bildinterpretation – Kartographie durchbrochen. Alle Disziplinen tragen, in verjüngter Form, zur Erfassung, Verwaltung und Darstellung von Geoinformationen in Form von Geoinformationssystemen bei.

Während die photogrammetrischen Verfahren zur effektiven Erfassung digitaler geometrischer Informationen in Vektorform eingesetzt werden können, bietet die digitale Bildverarbeitung von Fernerkundungsaufnahmen ein Verfahren zur digitalen Erfassung von Umweltdaten in Rasterform. Dabei bestehen die Daten aus geometrisch zugeordneten Strahlungswerten, welche nach den Gesetzen der Strahlungsphysik Rückschlüsse auf das Objekt zulassen.

2. Aufgaben der Fernerkundung

Das Hauptaugenmerk in der Fernerkundung richtet sich im Hinblick auf eine bestimmte Anwendung auf folgende Systemkomponenten:

1. Sensoren
2. Plattformen
3. Datenverarbeitung
4. Datenanalyse

Zu den wesentlichsten Anwendungen der Fernerkundung zählen heute die Bereiche:

- A. Meteorologie
- B. Ozeanographie
- C. Erneuerbare Ressourcen (Landwirtschaft und Forstwesen)
- D. Nichterneuerbare Ressourcen (Bodenschätze)
- E. Landnutzung (Thematische Daten)
- F. Grundkarte (Topographische Daten)

Vermessungswesen, Photogrammetrie und Kartographie sind in erster Linie durch die Anwendungsgebiete thematische und topographische Kartographie (Landnutzung und Grundkarte) gefordert.

Der Bedarf der Erfassung in unterschiedlichen Maßstäben mit unterschiedlicher Detailauflösung ist im wesentlichen durch wirtschaftliche Belange bestimmt. Landwirtschaftlich orientierte Gebiete benötigen kleinmaßstäbige topographische Daten für das Transportwesen und großmaßstäbige Katasterinformationen für steuerliche Zwecke. Auf die industrielle Produktion ausgerichtete Gebiete benötigen Informationen in mittleren Maßstäben für die Regionalplanung und in großen Maßstäben für Bauvorhaben. Gebiete mit einer dienstleistungsorientierten Wirtschaft benötigen Geoinformationssysteme in mittleren und großen Maßstäben zur Lösung ihrer komplexen Aufgaben.

Die Aufgaben der Datenerfassung in mittleren und großen Maßstäben erfordern einen enormen technischen und finanziellen Aufwand. Auf weltweiter Basis besteht deshalb ein enormer Fehlbedarf. Photogrammetrie und Fernerkundung stellen daher die einzigen ökonomisch tragbaren Verfahren der kartographischen Datenerfassung dar.

Nach den im Jahre 1989 veröffentlichten Daten der Vereinten Nationen über den Status der Kartenherstellung in mittleren und kleinen Maßstäben aus dem Jahre 1987 besteht ein Kartenwerk 1:50 000 oder größer erst für 56 % der Landfläche der Erde. Dieses Kartenwerk kann nur zu einem Prozentsatz von 2,3 % pro Jahr erneuert werden. Dies bedeutet, daß selbst die effizienten Verfahren der Photogrammetrie und der Bildinterpretation der Gesamtaufgabe nicht gewachsen sind.

Die Methoden der Satellitenfernerkundung stellen deshalb die einzige Möglichkeit dar, die fehlenden Informationen rasch zu beschaffen.

3. Fernerkundungssatelliten

Die Anforderungen der Satellitenfernerkundung können in drei Gruppen zusammengefaßt werden:

- Meteorologie und Ozeanographie mit Bedarf für grobe, aber häufige Datenerfassung
- Ressourcenerfassung mit Bedarf für mittlere und zeitkritische Datenerfassung
- kartographische Datenerfassung mit Bedarf für hohe Auflösung mit niedriger Wiederholungsrate.

Diese Anforderungen haben zu drei unterschiedlichen Satellitentypen geführt:

- meteorologische Satelliten (Meteosat, NOAA) mit mehrmals täglichen Daten von 1-5 km Auflösung
- allgemeine Fernerkundungssatelliten (Landsat, MOS) mit monatlichen Daten von 30 bis 80 m Auflösung
- kartographische Satelliten (Spot, Weltraumkameramissionen) mit Auflösungen von höher als 20 m in mehrjährigen Intervallen.

Eine Zusammenstellung der bisherigen operationellen Satellitenbildmissionen gibt Tabelle 1.

Tabelle 1: Zusammenstellung der bisherigen operationellen und experimentellen Satellitenbildmissionen

USA	GOES 1		} 5-1 KM	
	GOES 2			
	NOAA			
	LANDSAT 1, 2, 3, 4, 5	MSS	LANDSAT 6, 7	30 m (15 m)
		80 m		
	4, 8 TM	30 m (120 m)	ATLAS 1, 2, 3	
	SEASAT/SIR-A,B	Radar (28 m)		
	LFC	5 m		
USSR	METEOR			
	SOJUZ-SALJUZ	MKF 6		
	KOSMOS	KATE 140, 200	6 m	
	MIR			
ESA	METEOSAT (MC)	8 m	ERS-1, 2	
FRANKREICH	SPOT	10 m/20 m		
B.R. DEUTSCH-	(MOMS)	20 m	(MC)	2 m
LAND	MEOSS	50 m	MOMS-02	4,5 m
JAPAN			MOS	
INDIEN	(ROHINI)			
BRASILIEN			(BRASEX)	
KANADA			(RADARSAT)	
CHINA				

4. Zukünftige Fernerkundungssysteme

Die zukünftige Entwicklung der Fernerkundungssysteme wird aus heutiger Sicht weniger optimistisch beurteilt, als das noch vor wenigen Jahren der Fall war.

Hauptträger der Fernerkundungsentwicklung durch Satelliten waren in erster Linie die USA und die UdSSR. Die anderen Nationen der Welt versuchten, sich nach Kräften an der Entwicklung zu beteiligen. Dies war in erster Linie für Frankreich, Japan und die europäischen in der ESA zusammengeschlossenen Nationen der Fall. Andererseits waren auch Japan, Indien und die V.R.China erfolgreich.

Durch verschiedene Umstände in den USA sind jedoch die weithin optimistischen Pläne durcheinandergeraten. Dies war zunächst das Landsat-Kommerzialisierungsgesetz des US-Kongresses aus dem Herbst 1984. Es regelte, daß die amerikanische Raumfahrtbehörde NASA nur noch für rein wissenschaftlich begründete Experimente zuständig sein sollte. Operationelle Systeme wurden der NOAA übertragen. Soweit es sich um globale, also meteorologisch-klimatologisch orientierte Erdbeobachtungsprogramme handelte, so war dafür die NOAA ausschließlich verantwortlich. Die multidisziplinär orientierte Erdbeobachtung mit Landsat sollte mit 50 % durch die NOAA finanziell unterstützt werden, 50 % der Betreiberkosten einschließlich des Weltraumsegments sollten aber einem kommerziellen Träger übertragen werden. Dieser Versuch der EOSAT-Corp. kann als gescheitert betrachtet werden, weil eine internationale Kommerzialisierung, welche sich nur auf das Erstellen der Satellitenbilder, nicht aber auf das Gesamtkonzept der Informationsbereitstellung bezieht, nicht realistisch ist, zumal andere Nationen wie Frankreich und die UdSSR ihre Satellitenprodukte zu erheblich stärkeren Prozentsätzen subventionieren. Wenn in den USA also nicht ein Neubeginnen für die Fernerkundung stattfindet, dann werden andere Länder die führende Rolle in der operationellen Satellitenfernerkundung übernehmen.

Es gibt eine Reihe von nicht öffentlich ausgesprochenen Gründen, warum das zivile Erderkundungsprogramm der USA nicht drastisch verändert werden soll: Die USA betreiben nämlich noch ein weiteres Erderkundungsprogramm für militärische Zwecke, welches dem Landsatsystem in der Leistungsfähigkeit überlegen ist. Militärische Satelliten leiten ihre Informationen nicht an ein Netz international platzierter Antennensysteme weiter, sondern an das Netz amerikanischer militärischer Kommunikationssatelliten TDRSS, welches in der Lage ist, Satellitenbilder weltweit direkt in die USA zu übertragen. Diese Satelliten haben drei unterschiedliche Sensoren an Bord – geringe Auflösung mit hoher Wiederholungsrate für meteorologische Anforderungen – eine mittlere Auflösung mit mittlerer Wiederholungsrate – und eine sehr hohe Auflösung für begrenzte, ausgesuchte Ziele.

Man meint, daß diese Satellitenbilder unter Öffnung der Geheimhaltung anderen US-Nutzern zur Verfügung gestellt werden könnten. Allerdings ginge dabei die internationale Bedeutung des Landsatprogramms verloren.

Ein zweiter Schlag in der Entwicklung der Fernerkundung war das Challengerunglück vom Januar 1986, welches auch die Kapazitäten für die amerikanischen und die amerikanisch koordinierten experimentellen Weltraummissionen auf Space Shuttle auf Jahre hinaus auf 50 % des Umfangs reduzierte. Erschwerend kommt hinzu, daß die Raumfahrtprogramme der traditionell mit der NASA kooperierenden Länder, wie der Bundesrepublik, sich weg von der operationellen Nutzung hin zu wissenschaftlichen Experimenten entwickelt haben, so wie es der NASA vorgegeben war.

Dagegen war der Start des französischen Erderkundungssatelliten SPOT ein voller Erfolg. Seit dem 22.2.1986 liegen über 1 Million Aufnahmen auf High Digital Density Tape vor, von denen allerdings erst etwa 70 000 in verwertbare rechnerkompatible Magnetbänder umgesetzt und vermarktet worden sind. Ein relativ geringer Teil von Bildern erst gestattet die Stereobedeckung mit einem entsprechend großen Basis-Höhenverhältnis. Man rechnet derzeit etwa mit 500 auswertbaren Stereomodellen. Allerdings ist die erreichbare Höhengenaugigkeit mit ± 5 m Punktfehler unerwartet hoch.

Eine weitere Überraschung war die beim Symposium der ISPRS-Interkommissionsarbeitsgruppe I/II im September 1987 in Leipzig zur Realität gewordene Öffnung des sowjetischen Bildmaterials für die westliche Welt.

Wenn es sich bei den zur Verfügung gestellten Aufnahmen auch zunächst um photographische Produkte der in der DDR gebauten Multispektralkammer MKF-6, betrieben von Sojuz-Saljut aus, und der in der UdSSR gebauten Weltraumkameras KATE 150 und 200, sowie KFA 1000, betrieben von Kosmosatelliten mit Filmabwurf handelt, so ist doch klar, daß die sowjetische Filmtechnik der derzeit kommerziell verfügbaren westlichen digitalen Bildtechnik in der Grundauflösung um mindestens den Faktor 2 überlegen ist.

Beim EARSeL-Symposium im Juni 1989 in Helsinki ist auch klar geworden, daß die Sowjetunion auch über digitale Abtastsysteme mittlerer Auflösung im optischen und infraroten Bereich verfügt, und daß auch ein Satellitenradar betrieben wird.

Derzeit sind also die zivil verfügbaren Satellitenfernerkundungssysteme nicht-amerikanischer Staaten leistungsfähiger als die der USA. Mit der festen Planung der französischen Raumfahrtbehörde CNES, Spot mit den Missionen 2 und 3 und dem verbesserten Spot 4 (5 m Auflösung in Stereo) fortzusetzen und mit der

Ankündigung von Glavkosmos, auf der Weltraumstation "MIR" eine Fernerkundungsplattform zu betreiben, ist im Gegensatz zu den USA die französische und die sowjetische Erderkundung gesichert.

Weitere Nationen mit einem fest geplanten Erderkundungsprogramm sind Japan (mit J-ERS), Indien und eine brasilianisch-chinesische Kooperation.

Schließlich plant auch die europäische Weltraumbehörde ihren hauptsächlich auf marine Fragestellungen ausgerichteten Erderkundungssatelliten ERS-1 mit einem Satellitenbildradar. Auch Kanada konstruiert einen Radarsatelliten RADARSAT.

Es ist bezeichnend, daß es bis zum Jahre 2000 gut ein Dutzend Nationen geben wird, welche mehr als 50 Fernerkundungssensormissionen betrieben haben werden. Wenn man als Kosten für die Erstkonstruktion eines Erderkundungssatelliten mindestens 1 Milliarde DM ansetzt, jeder Nachbau mindestens 200 Millionen DM erfordert und jedes Fernerkundungsexperiment auf einer Multiträgerplattform, je nach Komplexität in den Kosten zwischen 10 Millionen und 50 Millionen DM liegt, dann kann man ermessen, daß die ehrgeizige, alles allein machen wollende Erderkundungsstrategie einzelner Nationen nicht nur eine Verschwendung von Geldmitteln darstellt, sondern daß dabei die globale Leistungsfähigkeit der Systeme auf der Strecke bleiben muß. Sicherlich wäre die Lösung dieser Problematik eine dankenswerte Aufgabe für Organe, wie die Vereinten Nationen.

Für die multilaterale Finanzierung zahlungskräftiger westlicher Nationen im Verbund mit den USA kommt hinzu, daß viele der zur Verfügung stehenden Mittel an Basisprogramme wie "Space Station" und "Polar Platform" politisch gebunden worden sind für die Schaffung von Weltraumträgern, daß aber kein Geld übrig bleibt für die Nutzung dieser Träger.

Deshalb betreibt die Bundesrepublik keine Erderkundungsstrategie. Sie beteiligt sich lediglich am Gesamtkonzept von ERS-1, der Space Station und der Polaren Plattform. Sie stellt zudem Experimente bereit, die einmal auf Space Shuttle erprobt werden wie die "Metrische Kamera 1983", "MOMS 1983 und 1984", "MRSE" 1983, "MAS" und "MIPAS" auf Atlas 1/2, "Stereo-Moms" auf D2. Im Gegensatz zu Wissenschaftlern anderer Länder ist es in der Bundesrepublik allerdings frustrierend, sich jahrelang auf Experimente vorbereiten zu müssen, welche maximal nur 10 Tage dauern und keine Aussicht auf Fortsetzung haben.

5. Zukünftige Entwicklung

Es ist bereits abzusehen, daß kein einzelner Sensor und kein einzelnes Satellitensystem den gesamten Fernerkundungsbedarf für alle Anwendungen abdecken kann.

Optische Sensoren werden in ihrer Bedeutung nicht abnehmen, weil sie mehr als andere in der Lage sind, die abgebildeten Objekte der Erdoberfläche zu interpretieren. Flächensensoren, wie die photographische Abbildung sind sowohl in Geometrie als auch in Auflösung den digitalen Systemen überlegen. Digitale Systeme haben dagegen den Vorteil einer effizienteren automatisierbaren Auswertung. Spektrale Differenzierbarkeit, besonders im Infrarot- und im Thermalbereich, ist wesentlich für die spektrale Objektklassifizierung. Radarsysteme bieten schließlich die Allzeit- oder Allwettererkundungsmöglichkeit. Dabei spielt die Sensorauflösung keine entscheidende Rolle, wenn diese multisensoralen, multitemporalen Informationen geokodiert aufeinander bezogen werden können. Das Ideal des meteorologisch-ozeanographischen Sensorpakets wird deshalb eine Kombination niedrig auflösender Systeme darstellen, welche eine hohe Wiederholungsrate besitzen.

Die Multispektraltechnik in Form eines Spektrometers von bis zu 256 Kanälen mittlerer Auflösung wird im Vordergrund des Interesses der multispektralen Klassifizierung stehen. Sie kann wesentliche Teile der thematischen Kartierung abdecken.

Die hochauflösende Sensortechnik wird im Mittelpunkt des Interesses der topographischen Kartierung stehen. Verbesserungen sowohl der analogen Filmtechnik als auch der digitalen Sensortechnik sind möglich und sinnvoll: Digitale Sensoren haben den Vorteil, daß ihre Produkte der digitalen Bildverarbeitung zur Verfügung stehen. Allerdings ist die Leistungsfähigkeit digitaler Sensoren gegenwärtig durch zwei Begrenzungen festgelegt: Erstens kann die Leistungsfähigkeit digitaler Sensoren eine Datenrate von 300 Mbit/sek nicht überschreiten. Zweitens beträgt die minimale Akkumulationszeit von Ladungen bei digitalen Sensorelementen etwa 1 msek. Bei Satellitengeschwindigkeiten von 7 bis 8 km pro Sek über dem Boden bedeutet dies eine Begrenzung der Bodenauflösung von 7 bis 8 m, es sei denn das Sensorsystem wird über Flächensensoren so ausgelegt, daß eine "Bewegungskompensation" die Aufsammlung der Ladungen über einen Zeitraum von 1 msek ermöglicht. Auch unter dieser Voraussetzung erlaubt dann die Begrenzung der Datenrate nur kleine Flächen digital mit Auflösungen von 1 m und geringer aus dem Weltraum aufzunehmen. Das Luftbild wird deshalb nach wie vor das einfachste Aufnahmesystem hohe Auflösung bleiben. Ein effizientes System, photographische Bilder in digitale Informationen hoher Auflösung umzusetzen, wird wohl nicht lange auf sich warten lassen. Damit kann die Technik der Satellitenbildverarbeitung sofort auf Luftbilder ebener Gebiete übertragen werden.

Für nicht ebenes Gelände sind Entwicklungen erforderlich, welche in Form von Stereo-Arbeitsstationen digitale Bildauswerte- und -analysensysteme der digitalen Stereoauswertung zugänglich machen. Solche Systeme sind seit 1988 als Prototypen vorgestellt worden. Sie ermöglichen die automatische, interaktive und manuelle Stereoauswertung digitaler Bildinformationen mit allen Mitteln der digitalen Bildverarbeitung, und zwar zur Ableitung der Lage-, aber auch der Höheninformationen.

Somit ist eine Integration der Luftbildtechnik und der Satellitenbildtechnik auf digitalem Wege möglich. Mit Hilfe von digitalen Geländeinformationen ist auch bei Luftbildern der Weg zu digitalen Orthophotos frei.

Es ist fraglich, ob digitale Stereoabtaster vom Flugzeug aus je das digitalisierte Luftbild ersetzen können, es sei denn, es handelt sich um Spektralbereiche außerhalb des photographisch erfaßbaren Bereichs.

6. Integration mit geographischen Informationssystemen

Satelliten- und digitalisierte Luftbilder stehen in Rasterform zur Verfügung. Sie können durch einfache geokodierte Überlagerung miteinander verglichen werden.

Digitale Bilder haben allerdings den Nachteil eines ineffizienten, enormen Datenspeicherungsbedarfs. Rasterbilder enthalten zudem keine klaren Flächenbegrenzungen, und sie müssen aufwendig geokodiert werden.

Geographische Informationssysteme bevorzugen deshalb die Vektortechnologie, trotz der Nachteile einer langsamen und umständlichen Datenanalyse. Sie sind dafür effizienter in der Datenspeicherung, sind unabhängig von der Datenauflösung und gestatten, topologische Relationen und die Verbindung zu nichtgraphischen Datenbanken zu realisieren. Rasterdaten sind dagegen einfach durch Überlagerungen verschiedener Pixelebenen vergleichbar.

Von großem Interesse ist zur Zeit die Verbindung der Vektor-Rastertechnologie in der Form hybrider Systeme, welche Fernerkundungsdaten mit GIS-Daten überlagern können. Dies wiederum bewirkt, daß die Fernerkundungstechnologie nicht unabhängig ist, sondern in die Fragestellungen von Geoinformationssystemen mit einbezogen werden kann.

Damit ist nicht nur die Integration von Photogrammetrie und Fernerkundung, sondern auch die Integration von Fernerkundung und Geoinformationssystemen vollzogen.