

FERNERKUNDUNG UND GEOGRAPHIE - THEMATISCHE, METHODISCHE UND TECHNISCHE PERSPEKTIVEN

Mit 5 Abbildungen und 2 Tabellen

HAROLD HAEFNER

Summary: Remote sensing and geography - thematic, methodological and technical perspectives

Even though remote sensing is accepted as an important tool in geography it is not yet systematically used to its full potentials. But by applying clear concepts and in combination with other methods it could contribute substantially to the solution of actual major problems, be it in resources management, regional planning or environmental protection. Satellite data especially are best suited to monitoring various types of land transformation processes. A short history and the state of the present situation of the development of remote sensing methods are presented and reviewed with reference to its mapping, inventoring, monitoring and forecasting aspects. An integrated concept for the monitoring of land transformation processes by various types of remote sensing data and its correlation with auxiliary data, which has been realized at the Dept. of Geography, University of Zurich, is presented. A short prospective view on forthcoming earth observation systems, especially by the European Space Agency (ESA), demonstrates that remote sensing will be of even greater importance to geography in the immediate future and that it is advisable to become familiarized with these data and methods in order to take the best advantage for its application in geography.

In conclusion, remote sensing should be used primarily for monitoring processes by including quantitative elements and measuring changes in their temporal-spatial course. To realize this objective, a solid geometric base becomes mandatory, and the addition of a digital terrain model in hilly terrain advisable. The most promising form of organizing the data then is a geometric information system (GIS). The ultimate goal should be the development and continuous utilization of operational systems for a durable but flexible management of our natural resources and the protection of the environment.

1. Einleitung

Die Fernerkundung ist heute als ein wesentliches Arbeitsmittel der Geographie anerkannt, auch wenn sie in zahlreichen deutschsprachigen Geographieinstituten nur zögernd Eingang gefunden hat und wenig systematisch eingesetzt wird. Kein Institut, das sich ernsthaft mit aktuellen gesellschaftsrelevanten Umweltforschungen auseinandersetzt, kann sich jedoch diesen Arbeitsmethoden mehr verschließen. Denn

die Fernerkundung, nach einem klar strukturierten Konzept eingesetzt und mit anderen Methoden sinnvoll kombiniert, vermag außerordentlich viel zur Lösung von gegenwärtig brennenden Umweltproblemen beizutragen. Kein anderes Verfahren ist in der Lage, ein derart umfangreiches und aktuelles Datenmaterial zu liefern und Prozesse in ihrem raumzeitlichen Ablauf kontinuierlich und präzise zu erfassen. Eine fachgerechte Anwendung der modernen Techniken der Fernerkundung, gepaart mit den Verfahren der computerunterstützten Kartographie, Informatik und Bildwissenschaft, eröffnet der Geographie deshalb faszinierende Perspektiven und neue Wege in der Bereitstellung von Grundlageninformation für eine sinnvolle Bewirtschaftung, Gestaltung und Planung unseres Lebensraumes, für die Realisierung einer auf den Prinzipien der Nachhaltigkeit basierenden Land- und Ressourcennutzung und für die Erhaltung unserer Lebensqualität.

Unter Fernerkundung wird das Messen bestimmter physikalischer Eigenschaften der Erdoberfläche (insbesondere der elektromagnetischen Strahlung) und das Verarbeiten dieser Meßdaten zu wissenschaftlicher Information verstanden. Nicht das Messen physikalischer Eigenschaften einer zweidimensionalen Oberfläche, sondern das Erkennen dreidimensionaler Objekte und ihrer qualitativen und quantitativen Eigenschaften ist also das eigentliche Ziel der Fernerkundung.

In der englisch-sprachigen Literatur wird für die aktuellen Veränderungen an der Erdoberfläche häufig der Begriff „land transformation processes“ verwendet. Deren raum-zeitliche Abläufe in qualitativer und quantitativer Hinsicht kontinuierlich und zeitgerecht festzuhalten, stellt somit eine vordringliche Aufgabe der geographischen Fernerkundung dar als Grundlage für die Lösung aktueller Umweltprobleme und planerischer Aufgaben, für Vorhersagen, Simulationen und für die Ursachenforschung.

2. Historischer Abriss

Auch wenn bereits in den Anfängen der geographischen Fernerkundung zahlreiche methodische

Ansätze erkennbar sind (STEINER 1962, SCHNEIDER 1962 etc.), so haben sich bis heute nicht viele in einem breiten Kontext in der Geographie anwendbare methodische Konzepte entwickelt oder durchgesetzt. Dies steht z. B. ganz im Gegensatz zur Forstwirtschaft, wo schon früh eine der hauptsächlichen Aufgabe der Waldinventur und -bewirtschaftung angemessene Methodik aufgebaut wurde (HILDEBRANDT 1964).

Gehen wir vom prozessualen Ansatz in der Geographie aus, so bekommt die frühe Arbeit von BRUNNSCHWEILER (1957) eine grundlegende Dimension. Hier wird die dynamische Betrachtungsweise, der Einbezug der Saisonalität, der Phänologie, das Konzept der multitemporalen Bildanalyse u. W. erstmals klar herausgestellt. Von da weg zieht sich dieses Prinzip wie ein roter Faden durch die Arbeiten des Geographischen Instituts der Universität Zürich (GIUZ), (STEINER 1961, HAEFNER 1963, MAURER 1965, ITTEN 1973, NÜESCH 1977, LICHTENEGGER 1980, KELLER 1985 etc.). In geographischen Kreisen hat diese Arbeitsweise allerdings wenig Fuß gefaßt, obwohl gerade hier, für die Erfassung von Landtransformationsprozessen, eine besondere Eignung bestünde. Andere Disziplinen dagegen haben sich diesen Aspekt der kontinuierlichen Überwachung und Messung von Veränderungen unter den Begriffen des „monitoring“ und „change detection“ längst zu eigen gemacht (PARK et al. 1982). Die u. E. wohl beste und umfassendste Darstellung zur Methodik der Fernerkundung stammt wiederum aus der Feder eines Forstmannes (COLWELL 1980). In kaum überbietbarer Konzentration werden hier die grundsätzlichen Aspekte diskutiert und eine Gesamtübersicht über alle wichtigen methodischen Prinzipien und Konzepte zusammengestellt.

Eine entscheidende Wende erfolgte mit dem Start des ersten Erderkundungssatelliten. Einerseits wurde die Erfassung dynamischer Prozeßabläufe an der Erdoberfläche durch die kontinuierliche Aufnahme desselben Gebietes in relativ kurzen Zeitabständen auf eine völlig neue Basis gestellt, und andererseits wurden wesentliche Anstöße zum Gebrauch digitaler Interpretationsverfahren gegeben. Damit wurden die Voraussetzungen zur systematischen und zeitgerechten Erhebung von aktuellen Veränderungen geschaffen. Die Anwendung dieser Verfahren verlangt allerdings nicht nur die Verfügbarkeit über entsprechende Geräte und Computerprogramme, sondern ebenso sehr eine längerfristige Auseinandersetzung mit diesen Verfahren. Es ist leicht ersichtlich, daß unter diesen Gegebenheiten auch die methodischen Aspekte intensiviert und systematisiert wurden. Rela-

tiv frühe Ansätze finden sich bei HAEFNER (1975), ITTEN (1980) etc. Die Zahl der Textbücher ist kaum mehr zu übersehen (SWAIN a. DAVIS (Eds.) 1978, ROSENFELD a. KAK 1982, BAEHR (Hrsg.) 1985 etc.).

3. Fernerkundung heute

Betrachten wir die Möglichkeiten, die methodischen Ansätze und die Konzepte heute, unter Einbezug sowohl analoger als auch digitaler Verfahren und versuchen eine kurze Standortbestimmung unter Berücksichtigung der Anwendung in der (prozessualen) Geographie vorzunehmen. Als Richtlinie soll dafür ein hierarchisches System von Einsatzmöglichkeiten der Luft- und Satellitendaten dienen (Abb. 1). Es beruht auf dem Prinzip des immer direkteren Einbezugs des prozessualen Ansatzes bis hin zur Ausrichtung in die Zukunft, zur Vorhersage. (Es werden dabei primär die engl. Termini verwendet mit deutscher Umschreibung, da sie sich besser für eine übersichtliche Zusammenstellung eignen.)

3.1. „Mapping“

Allgemein bekannt und verbreitet ist die Stufe der *Kartierung*, sei es mit Luft- oder Satellitenbildern, zur Herstellung von Bildplänen (STEFFEN 1976) oder thematischen Karten. Die räumliche Verbreitung verschiedenartiger Einzelelemente wie Landnutzung, Vegetationsgesellschaften, Waldbestände, geomorphologische Formengruppen, Bodentypen, Gesteinsformationen etc. mittels konventioneller Bildinterpretation, das Übertragen der Grenzlinien in eine Kartenunterlage und die kartographische Reproduktion bilden das zentrale methodische Gerüst der traditionellen visuellen Bildinterpretation. Das technische Vorgehen ist allgemein bekannt, die Interpretation erfolgt mehr oder weniger systematisch und stützt sich primär auf das Sachwissen und die Erfahrung des Interpreten (siehe z. B. STEINER 1961, HAEFNER 1963, VERSTAPPEN 1977 etc.) Der Interpretationsgang ist nur schwer nachvollziehbar.

3.2. „Inventing“

Sicher werden die Möglichkeiten der Fernerkundung auf die oben umschriebene Weise nur sehr oberflächlich und weder dem Arbeitsmittel noch den geographischen Anforderungen entsprechend genutzt. Ein entscheidender zusätzlicher Schritt besteht im konsequenten Miteinbezug von quantitativen Merk-

MAPPING	Photokarten Satellitenbild-Übersichtskarten Thematische Karten
	nur qualitative Aspekte visuelle Bildinterpretation
INVENTORING	Thematische Karten und statistische Angaben nach politischer, administrativer, physiographischer Gliederung
	qualitative und quantitative Aspekte, kombiniert mit Boden-Stichproben visuelle Interpretation und digitale Klassifikation
MONITORING	Raum-zeitliche Prozesse und Veränderungen Nachführung bis aktuellster Zustand
	qualitative und quantitative Aspekte von Veränderungen, vorwiegend digitale Verfahren - change detection - Trendberechnungen
FORECASTING	Mathematische Modelle Erntepronosen, Abflußpronosen etc.
	quantitative Aspekte, digitale Verfahren und mathematische Berechnungen

Abb. 1: Stufen der Interpretation von Fernerkundungsdaten

Application levels of remote sensing data

malen und damit im *Messen* bestimmter Parameter. Dies führt neben den Verbreitungsaspekten zum Aufstellen von Statistiken und letztlich zu eigentlichen Inventuren. Entscheidend ist die Forderung nach der genauen räumlichen Lokalisierung aller Objekte. Dies bedingt den Einbezug grundlegender photogrammetrischer Prinzipien, wie der Transformation von Bildkoordinaten in entsprechende Kartenkoordinaten, und den Umgang mit den einschlägigen Geräten. Eine saubere geometrische Zuordnung (Kap. 4) bildet die Basis für eine moderne geographische Fernerkundung. Aufgrund dieser Voraussetzungen werden *Messungen* zur Selbstverständlichkeit. Dabei gilt, daß Meßergebnisse und die daraus abgeleitete Statistik stets auf klar definierte räumliche Einheiten zu beziehen sind. Je nach Bedürfnis können letztere sowohl politischer (Gemeinde, Bezirk, Kanton etc.) oder administrativer (Zensusseinheit, Planungsregion) als auch physischgeographischer (naturräumliche Gliederung, Flusseinzugsgebiet, Klimaregion) oder anthropogener (Agrarregion, Marktgebiet etc.) Art sein.

Neben Lage und Verbreitung der einzelnen Elemente spielt der *Zustand* eines Objekts im Moment der Aufnahme eine immer entscheidendere Rolle, z. B. hinsichtlich Nutzungstyp, phänologischem Stand, Wuchskraft, Streßerscheinungen, Oberflächentem-

peratur, Oberflächenbeschaffenheit, Feuchtigkeitsgehalt, Verschmutzungsgrad etc. Diese vorwiegend biophysikalischen Variablen sind weitgehend mit Fernerkundungsdaten erfäßbar. Das Einbeziehen derartiger Informationen ist für die Lösung praktisch aller aktuellen Fragestellungen unerläßlich. Qualitätsangaben (Bodentiefe, Humusgehalt, Wasseräquivalent einer Schneedecke, Tragfähigkeit, aber auch sozio-ökonomische Merkmale etc.) oder Erträge (natürliche Produktion, Biomasse, Futterkapazität etc.) lassen sich ebenfalls zum Teil aus Fernerkundungsdaten herleiten, werden jedoch häufig am besten aus einer Kombination mit *Feldarbeit* (Bodenstichproben) gewonnen. Je nach Fragestellung und Genauigkeitsanspruch wird der Anteil zwischen Bodenmessung und Fernerkundung variieren. Je großflächiger das zu bearbeitende Gebiet, desto bedeutungsvoller werden die Methoden des „multistage sampling“, d. h. des systematisch aufeinander abgestimmten Einbezugs von Bodenaufnahme, Luft- und Satellitenbild (SCHUCH 1982).

Das methodische Rüstzeug ist weitgehend erarbeitet und experimentell erprobt. Der Schritt in die konsequente Anwendung, gerade in der geographischen Forschung oder der angewandten Praxis, wird hingegen nur selten vollzogen. Hier hat die eigentliche Arbeit der geographischen Fernerkundung einzusetzen und zur sachgerechten, systematischen Erstellung von Inventuren aller Art beizutragen. Die Ergebnisse bestehen in Verbreitungskarten, kombiniert mit statistischen Angaben, Zustandsumschreibungen und Qualitätshinweisen, in Form aktuellster und vergleichbarer Information.

3.3. „Monitoring“

Inventuren sind allerdings von beschränktem Nutzen, wenn sie nur als einmalige und folglich zufällige Erhebung durchgeführt werden. Sie sollten deshalb in regelmäßigen Abständen wiederholt und aufeinander abgestimmt werden, damit nicht nur die aktuellste Situation erfaßt, sondern die eingetretenen Veränderungen exakt ermittelt werden können.

Die Datenbasis für ein erfolgreiches „monitoring“ ist seit der Einführung der Erderkundungssatelliten sichergestellt. Der Hauptvorteil der Satelliten liegt ja vorab im periodischen Aufnehmen des gleichen Gebietes. Landsat-Daten sind heute von einem großen Teil der Landfläche der Erde erhältlich (Abb. 2). Ganz anders sieht es hingegen bei der Datenverarbeitung aus. Hier wurde und wird leider viel zu wenig systematische und zielgerichtete Arbeit geleistet. Grundbedingung für die Quantifizierung von Ver-

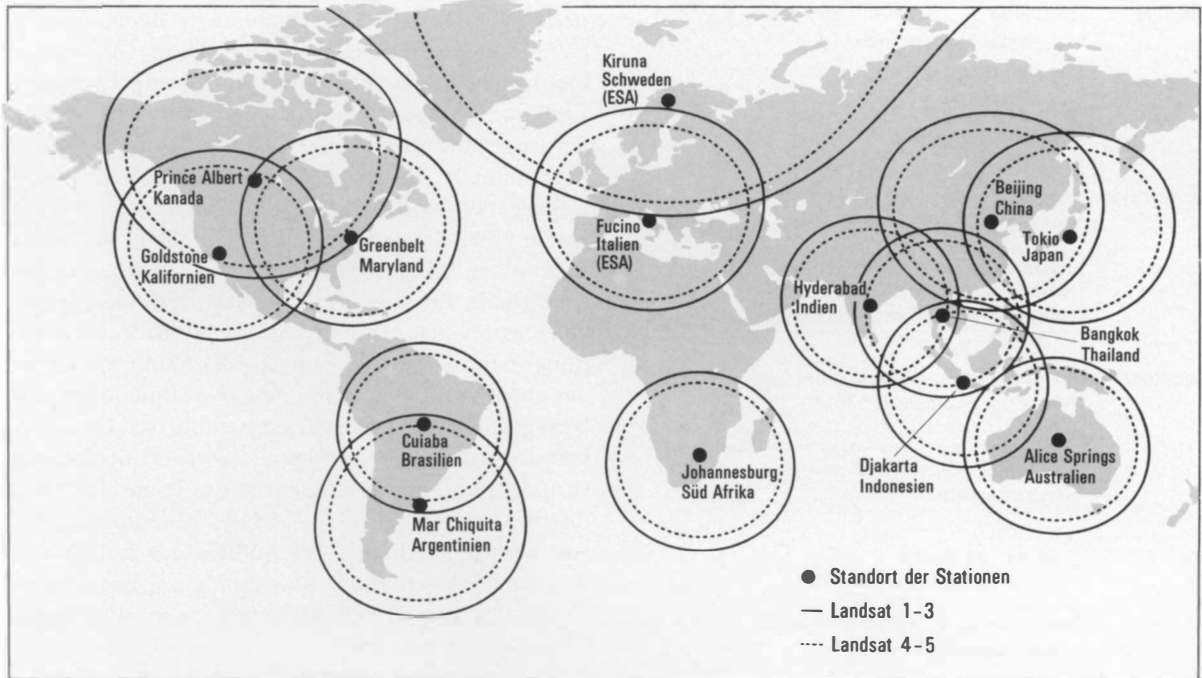


Abb. 2: Landsat-Bodenstationen mit Überdeckungsbereichen
Coverage of Landsat receiving stations

änderungen ist die saubere *geometrische Basis*. Ebenso müssen die Auswirkungen der atmosphärischen Einflüsse oder von Kontrastunterschieden infolge wechselnden Sonnenstandes und Einfallswinkels berücksichtigt werden, um die Daten direkt vergleichbar zu machen. Die Methoden sind recht aufwendig und benötigen längere Entwicklungszeit. Zwar wurde diesbezüglich schon viel experimentiert, ein operationelles und routinemäßiges Anwenden ist jedoch bis heute kaum feststellbar.

Damit ist der kritische Bereich umrissen, der für zukünftiges geographisches Arbeiten und die Lösung aktueller Probleme von entscheidender Bedeutung ist. Hierzu müssen die entsprechenden methodischen Verfahren entwickelt werden, um die notwendige sachliche Information zeitgerecht, schnell und kostengünstig bereitstellen zu können.

3.4. „Forecasting“

Sind die Verfahren für eine kontinuierliche Überwachung und Datennachführung eingerichtet, so ist die anschließende letzte Stufe, die Transferierung in die Zukunft, leicht zu vollziehen. Allerdings wird nur eine umfassende Kenntnis der gegenwärtigen Situation und der früheren Verhältnisse eine fundierte

Umsetzung in die Zukunft ermöglichen. Die Stufe des „monitoring“ ist deshalb eine direkte Voraussetzung für das „forecasting“. Aufgrund der exakten quantitativen Bestimmung von Veränderungen lassen sich Trends berechnen. Durch den Einbezug weiterer Parameter (statistische Angaben, Wetterelemente etc.) entstehen eigentliche Prognosemodelle. Am bekanntesten sind Ernteprognose- (BERG 1981) und Abflußmodelle (MARTINEC et al. 1983). Sie sind heute zwar noch kaum operationell in Gebrauch, werden von der Praxis aber mit Interesse erwartet. Ebenso lassen sich dank der gespeicherten Erfahrungen und mittels planerischer Annahmen Simulationen der resultierenden Entwicklung durchführen und Szenarien ableiten.

3.5. Folgerungen

Bis heute wurden in der Geographie die Chancen, die sich dank der Fernerkundung eröffnen, viel zu wenig systematisch und intensiv ausgeschöpft und Methodenentwicklung und operationelle Anwendung weitgehend vernachlässigt. Die Gründe dafür liegen u. E. insbesondere darin, daß der technische Fortschritt praktisch ausschließlich von der Seite der Aufnahmeinstrumente (Konstruktion von Satelliten,

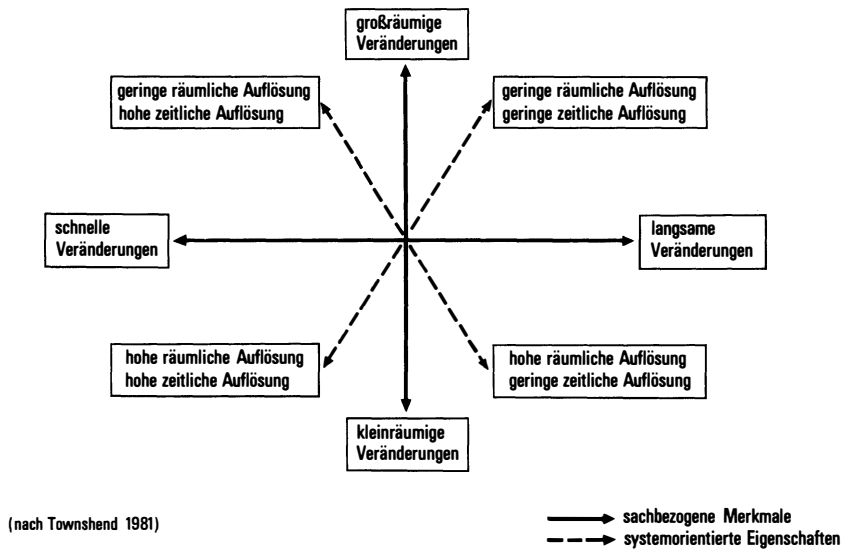


Abb. 3: Beziehungssystem zwischen Fernerkundungsverfahren und räumlichen Prozessen (nach TOWNSHEND 1981)
 Relationship between characteristics of land transformation processes and technical parameters of remote sensing systems (after TOWNSHEND 1981)

Sensoren etc.) und nicht von der Anwendung her bestimmt wird, daß der Akzent eher bei der Klassifikation von Einzelphänomenen resp. Objekten liegt als auf das Verständnis von Prozessen ausgerichtet ist und daß der Errichtung einer genauen geometrischen Grundlage viel zu wenig Beachtung geschenkt wird. Der Aufbau von integrierten Vorverarbeitungs-, Klassifikations- und Informationsausgabesystemen, die diesen Anforderungen gerecht werden, beansprucht Zeit, Investitionen und längerfristiges Engagement. Für einen sinnvollen Einsatz in den kommenden Jahren ist dies aber unerlässlich.

4. Möglichkeiten der Fernerkundung für aktualgeographische Untersuchungen

4.1. Allgemeine Aspekte

Gehen wir von der Annahme aus, daß das quantitative Erfassen von Prozessen, das kontinuierliche Überwachen von Zustands- und Flächenveränderungen, einen wesentlichen Bestandteil aktualgeographischer Forschung darstellt, so bedarf es eines klaren Verständnisses der einbezogenen räumlichen und zeitlichen Dimensionen. Veränderungen können sich in tageszeitlichen, saisonalen, jahreszeitlichen, mehr- oder langjährigen Periodizitäten abspielen. Genauso variabel ist die räumliche Betrachtungsebene, die

von der lokalen über die regionale, landesweite bis hin zur kontinentalen oder globalen reichen kann. Erfolgreiches „monitoring“ ist nur möglich, wenn wir diese prozessualen Eigenschaften in eine direkte Relation zum räumlichen und zeitlichen Auflösungsvermögen der verwendeten Fernerkundungssysteme bringen können. Abb. 3 zeigt diese Zusammenhänge zwischen den technischen Gegebenheiten der Fernerkundungssysteme und den Eigenschaften des zu beobachtenden Prozesses auf.

Die Wahl des geeigneten Aufnahmesystems basiert demnach auf klaren Vorstellungen über die Art des zu untersuchenden Prozesses. Dies bedingt wiederum den laufenden Zugriff zu den verschiedenartigen Fernerkundungssystemen, sowohl hinsichtlich der Datenbeschaffung als auch der entsprechenden Kenntnisse und technischen Mittel (Hard- und Software) in der Datenverarbeitung. Nur so lassen sich diese sehr unterschiedlichen Prozesse in ihrer Dynamik und in ihren Auswirkungen optimal untersuchen.

4.2. Auflösungsvermögen

An dieser Stelle erscheint folglich eine kurze Erläuterung zum Begriff „Auflösungsvermögen“ angebracht. Es läßt sich als die Fähigkeit eines Systems umschreiben, feine Einzelheiten in ihren Formen er-

Tabelle 1: Technische Merkmale des Landsat-Systems
 Technical properties of Landsat systems

LANDSAT		
	L 4-5	(L 1-3)
Flughöhe:	706	(912) km
Umlaufzeit:	99	(104) Min
Wiederholungszyklus:	16	(18) Tg
Äquator-Überquerung:	9.45	(Lokalzeit)
Aufnahmestreifen:	185	(185) km
	TM	MSS
	Thematic Mapper	Multispectral Scanner
Geometr. Auflösung:	30 m	82 m (79 m)
	Bd. 6 120 m	
Bänder:	0.45- 0.52 μm	0.5-0.6 μm
	0.52- 0.60 μm	0.6-0.7 μm
	0.63- 0.69 μm	0.7-0.8 μm
	0.76- 0.90 μm	0.8-1.1 μm
	1.55- 1.75 μm	
	2.08- 2.35 μm	
	10.40-12.50 μm	
Radiometr. Auflösung:	8 bits	6 bits
	(256 Stufen)	(64 Stufen)
Anzahl Detektoren:	100	24
	(6 × 16 + 4)	(4 × 6)

kennbar wiederzugeben, d. h. zu unterscheiden und benachbarte Einzelheiten noch getrennt abzubilden (nach SCHWIDEFSKY u. ACKERMANN 1976, S. 48). Hierbei ist wichtig, daß wir nicht allein in den geometrischen Beziehungen verharren, sondern neben dem räumlichen auch das spektrale, zeitliche und radiometrische Auflösungsvermögen berücksichtigen (vgl. Tab. 1 für Landsat).

Das *räumliche* Auflösungsvermögen bezeichnet die schmalste lineare oder winkelmäßige Trennung zweier Objekte, die durch einen Sensor erfolgen kann. Um ein Objekt einwandfrei identifizieren zu können, sollte das räumliche Auflösungsvermögen in der Regel halb so groß wie der Durchmesser des Objektes sein (JENSEN 1983, S. 113).

Die *spektrale* Auflösung bezieht sich auf den Umfang und die Anzahl der Wellenlängen-Intervalle (Bänder, Kanäle) des Elektromagnetischen Spektrums, in denen ein bestimmter Sensor empfindlich ist. Grundlage für einen zielgerichteten Einsatz sind Untersuchungen über das spektrale Verhalten verschiedenartigster Oberflächenmaterialien (GUYOT a. VERBRUGGHE (Eds.) 1981).

Die *zeitliche* Auflösung gibt an, in welchem Intervall Daten eines bestimmten Untersuchungsgebietes durch das Aufnahmesystem erzeugt werden können. Während die Periodizität bei Flugaufnahmen frei wählbar ist, wird sie bei Satellitensystemen durch die Bahnparameter vorgegeben. Zur Verfolgung von katastrophalen Ereignissen wie Überschwemmungen, Waldbränden, Vulkanausbrüchen etc. ist eine zeitlich viel höhere Auflösung erforderlich als zur Erfassung langfristiger Veränderungen wie der Desertifikation, der Schwankung von Gletscherzungen etc. Hinzu kommt, daß häufig in einem ganz bestimmten Zeitpunkt aufgenommen werden muß, z. B. beim Auftreten eines bestimmten phänologischen Zustandes oder unmittelbar nach dem Eintreten eines Katastrophenfalls. Dann muß nicht nur der Sensor rechtzeitig am bestimmten Ort sein, sondern er muß auch tatsächlich Aufnahmen von den Ereignissen an der Erdoberfläche machen können. Wolken, Nebel, Rauch, Dunkelheit etc. dürfen dann nicht als störende Elemente auftreten. Allwetter-Systeme (SAR) bieten eine moderne Lösung. Allerdings verlangt die Verarbeitung von Radardaten besondere Voraussetzungen und Kenntnisse (NÜESCH 1982).

Die *radiometrische* Auflösung schlußendlich gibt die mögliche Anzahl von Stufen wieder, in die das vom Sensor empfangene Signal unterschieden werden kann.

Zwischen den einzelnen Auflösungsvermögen bestehen bestimmte Abhängigkeiten. So verbesserte sich von Landsat-MSS zum TM die räumliche, spektrale und radiometrische Auflösung, während die zeitliche praktisch gleich blieb. Es gilt als allgemein anerkannt, daß mit einer Verbesserung der Auflösung die Interpretationsgenauigkeit zunimmt. Aber diese Verbesserungen gehen eindeutig zu Lasten des Aufwandes, der bei der Datenverarbeitung betrieben werden muß, hinsichtlich Arbeitsleistung, Rechenzeit, Speicherkapazität, Kosten etc. Insbesondere bei der Überwachung großräumiger Prozesse steigt die Datenmenge schnell ins Astronomische und zwingt zum Gebrauch weniger hochauflösender Systeme. Eine gleichzeitige Anhebung des räumlichen und des zeitlichen Auflösungsvermögens ist technisch hingegen schwer realisierbar. Möglichkeiten bestehen im Einsatz von schwenkbaren Objektiven (wie bei SPOT). Als Kompromiß muß dann die Anforderung einer Gesamtüberdeckung aufgegeben werden. Kenntnisse über die fundamentalen Eigenschaften dieser vier Arten von Auflösung sind unerlässlich für das Messen von Zustands- und Flächenveränderungen resp. für ein sachgerechtes Einsetzen von Fernerkundungssystemen.

4.3. Geographisches Informationssystem

Grundlage für die Untersuchung von Landtransmutationsprozessen ist die kontinuierliche Erfassung, Speicherung, Manipulation, Analyse und Ausgabe der Daten unter Zuhilfenahme elektronischer Datenverarbeitung (EDV). Die erhobenen Informationen sind jedoch nur dann nützlich, wenn sie laufend verwendbar und durch Relationen miteinander verbunden sind (HUGENTOBLER 1983). Entscheidend ist folglich ein gutes Organisationsprinzip. Für die Bewältigung der großen Datenmengen, für die Sicherstellung der Korrelation von verschiedenen Fernerkundungsdaten untereinander und mit Daten anderer Quellen und um den direkten, schnellen Zugriff zu denjenigen Daten/Datenkombinationen zu gewährleisten, die zur Lösung einer spezifischen Fragestellung gerade gebraucht werden, bietet sich die Organisation in Form eines *Geographischen Informationssystems* (GIS) als rationellstes und geeignetstes Verfahren an. Grundkonzepte und technische Aspekte von GIS werden von BRASSEL (1983) detailliert beschrieben.

Da Remote Sensing-Daten heute bereits vorwiegend in digitaler Form in einem Rasterformat (Pixel-Einheiten) vorliegen (spez. bei Multispektralscanneraufnahmen), wird in der Fernerkundung die rasterbezogene Datenerhebung bevorzugt. In der Schweiz wählen wir einen quadratischen 100 m Raster (Rasterzelle = 1 Hektar), der bei Bedarf auf 50 m reduziert werden kann und der sich mit dem Koordinatennetz der Landeskarten deckt. Damit läßt sich der geometrische Bezug mit der dort enthaltenen topographischen Information (Kap. 4.4) und mit derjenigen aus entsprechenden thematischen Karten etc. herstellen.

4.4. Digitales Geländemodell

Zusatzinformationen verschiedenster Art lassen sich ins GIS aufnehmen. Als ganz entscheidend betrachten wir die Mithberücksichtigung der *Höhe*. Der Einbezug eines *digitalen Geländemodells* (DGM) von möglichst gleicher Maschenweite wie der gewählte Grundraster ist für geographische Arbeiten ein enorm wichtiges Hilfsmittel. In hügeligem oder gar gebirgigem Gelände wird es zum Obligatorium, denn es erlaubt Elemente wie Höhenstufe, Exposition, Hangneigung, Dauer der Sonneneinstrahlung, Schattenwirkungen etc. abzuleiten und einzubeziehen. DGM sind nicht nur bei der Lösung von Anwendungen interessant, sondern bereits bei der Klassifikation der Fernerkundungsdaten ein wesentlicher Indikator. Auch wenn der Aufwand zur Generierung

eines GIS mit DGM als relativ hoch eingestuft werden muß, so rechtfertigt bei prozessualen Studien der langfristige und laufend zunehmende Nutzen dieses Vorgehen sicherlich.

Zusammenfassend muß gefordert werden, daß als Grundlage für eine exakte qualitative und quantitative Erfassung von Prozessen die verschiedenartigen Daten in Form von GIS organisiert und kontinuierlich nachgeführt werden sollten. Der Einbezug der topographischen Situation mittels eines DGM sollte dabei stets verwirklicht werden.

4.5. Bild- und Datenverarbeitung

Die Überführung von Kartendaten ins GIS erfolgt problemlos mittels Digitizer oder durch Überlagerung mit einer Rasterfolie von entsprechender Maschenweite und Übertragung der Information in kodierter Form in ein Ablochschemata. Benutzen wir hingegen Fernerkundungsdaten, so sind eine ganze Reihe – teils aufwendiger – Arbeitsschritte notwendig. Gehen wir von multitemporalen digitalen Satellitendaten aus, so müssen diese zuerst in der sog. Datenvorverarbeitung dem verwendeten Computersystem entsprechend strukturiert und organisiert sowie geometrisch und evtl. auch radiometrisch korrigiert werden. Anschließend werden sie in der eigentlichen Klassifikation in Information, in wissenschaftlich brauchbare Inhalte umgesetzt. Die Klassierung der vorverarbeiteten Daten in eine Anzahl zugeordneter Kategorien erfolgt aufgrund festgelegter Entscheidungskriterien, z. B. eines Algorithmus. Es gibt heute viele Methoden und Verfahren der digitalen Bildverarbeitung und mannigfache Klassifikationssysteme von simplen bis zu hochkomplexen interaktiven Bildverarbeitungsanlagen (siehe z. B. BAEHR et al. 1985). Es soll hier nicht weiter auf die Prinzipien und Methoden der Bild- und Datenanalyse eingegangen werden. Wir verweisen auf die entsprechende Literatur (z. B. HAEFNER 1975; ITTEN 1980; COLWELL et al. (Eds.) 1983, spez. Kap. 17 u. 18; BAEHR et al. 1985, etc.). Vielmehr soll ein Konzept vorgestellt werden, das die Integration von sowohl *analogen* als auch *digitalen Fernerkundungsdaten* der unterschiedlichsten Sensoren in ein GIS ermöglicht (vgl. Abb. 4 u. Kap. 5).

Geht die Untersuchung von Bildern aus oder werden Digitaldaten in möglichst gute Bildprodukte umgewandelt, so kommen die Verfahren der analogen Bildinterpretation basierend auf Analogieschlüssen zum Tragen. Auch hier läßt sich eine Unterteilung in Vorverarbeitung (manuelle, photographische, elektro-optische, elektronische etc.) und eigentliche Verarbeitung (Interpretation) vornehmen. Die daten-

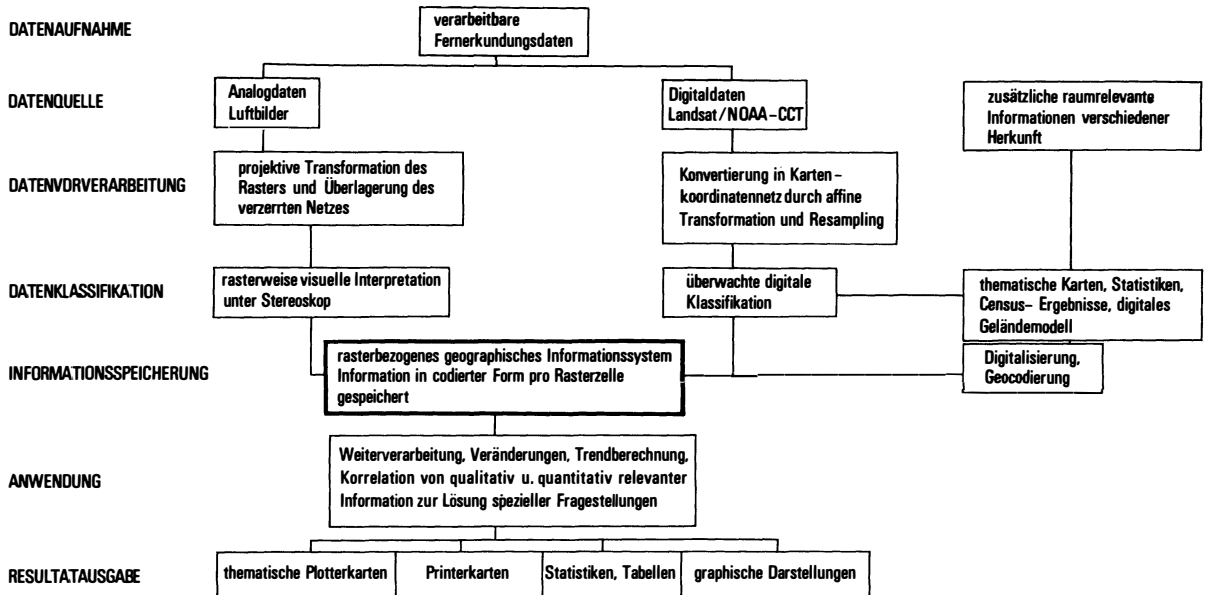


Abb. 4: Konzept zur Integration von Daten aus verschiedenen Fernerkundungssystemen und deren Verknüpfung mit Hilfsdaten

Concept for the integration of data from various remote sensing systems and its correlation with auxiliary data

orientierte Verarbeitung hingegen basiert auf statistischen oder numerisch-mathematischen Verfahren und Entscheidungskriterien. Gegenüber den analogen Verfahren sind die digitalen viel flexibler, eindeutig definiert und deshalb wiederhol- und nachvollziehbar. Sie weisen also für das „monitoring“ von Prozessen entscheidende Vorteile auf.

4.6. Datenausgabe

Unerlässlich ist, daß ein Bildverarbeitungssystem auch über eine gute Ausgabeeinrichtung verfügt. Das Photographieren des Bildschirms oder auch eine Hardcopy-Einheit genügen häufig nicht für eine präzise Darstellung der Ergebnisse. Vorteilhaft sind hochauflösende Bildwiedergabesysteme, die Filme aufbelichten, wie z. B. das Optronics-Gerät. Printer- und Plotterkarten dienen einer ersten Übersicht oder erlauben, für spezifische Aufgabenstellungen entsprechende Lösungen auszugeben. Mit einem VERSATEC-Plotter können Merkmalskombinationen praktisch maßstabsgetreu wiedergegeben werden. Dies erlaubt anschließend die Kombination mit der entsprechenden topographischen Karte. Selbst Farbauszüge für den nachfolgenden Druck mehrfarbiger thematischer Karten lassen sich auf diese Weise herstellen (HAEFNER u. HUGENTOBLE 1985). Gleichzeitig mit der Kartenausgabe können auch statistische

Werte, spez. über die Flächenanteile, Flächenveränderungen etc., erhoben und graphisch dargestellt werden.

5. Das Konzept der Integration von Fernerkundungsdaten

Aufgrund der oben angeführten theoretischen Erwägungen und Voraussetzungen haben wir am GIUZ für die Arbeiten in der Schweiz das nachstehende Konzept entwickelt und operationalisiert (Abb. 4). Es soll in möglichst umfassender Art sowohl analoge als auch digitale Daten aller gebräuchlichen Fernerkundungssysteme sowie raumrelevante Daten im weitesten Sinne von bestehenden Plänen, Karten, Statistiken, von Feldbeobachtungen und -messungen etc. in einem rasterbezogenen GIS vereinen. Die geometrische Basis bildet das Koordinatennetz der Schweiz. Landeskarten. Ausgangspunkt bilden bearbeitbare Fernerkundungsdaten in bildhafter oder digitaler (CCT) Form. Zuerst werden alle notwendigen Vorverarbeitungsoperationen vorgenommen. An dieser Stelle sollen nur die geometrischen Aspekte eingehender erläutert werden.

5.1. Luftbilder

Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten, Luftbild und Kartenraster miteinander in Bezug zu setzen:

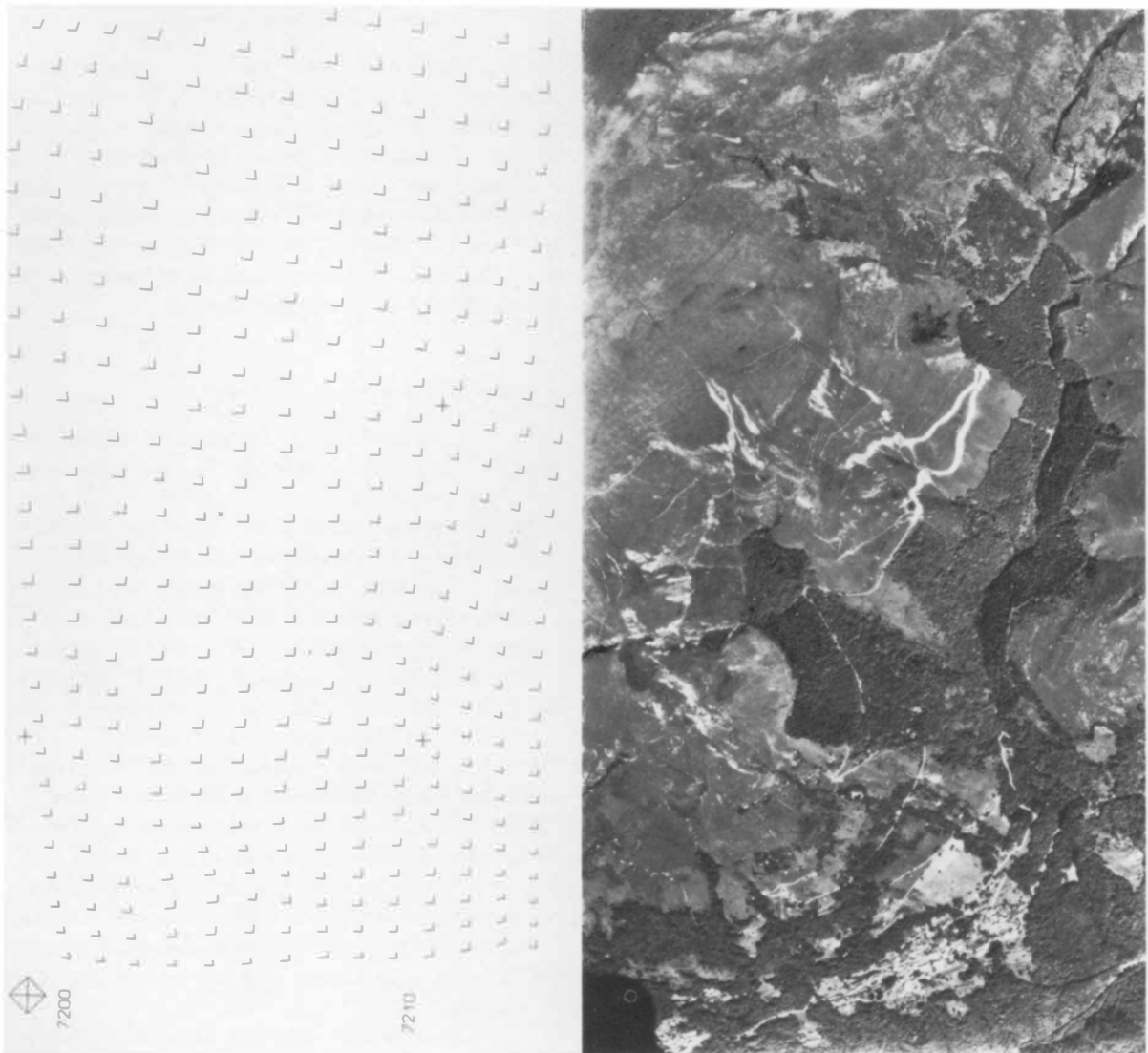


Abb. 5: Beispiel eines projektiv verzerrten Gitternetzes (Val Colla, Kanton Tessin)
Example of distorted grid (Val Colla, Ticino)

- Anpassung des Luftbildes mit Zentralprojektion an die orthogonale Kartengeometrie durch Herstellung eines *Orthophotos* und Überlagerung des systematischen Rasternetzes im entsprechenden Maßstab.
 - Deformierung des Rasters entsprechend der Geometrie des Luftbildes durch Berechnung der *projektiven Transformation* des Gitters und Ausdrucken des verzerrten Netzes auf eine Folie. Sie kann dem Luftbild überlagert, oder der Raster kann beim Kopierprozeß direkt eingefügt werden.
- Aus ökonomischen Gründen wählte man in der Schweiz den zweiten Weg. Die photogrammetrischen Grundlagen wurden von KOELBL, die interpretations-

technischen von TRACHSLER erarbeitet (KOELBL u. TRACHSLER 1980; TRACHSLER, KOELBL, MEYER u. MAHRER 1981). Das Verfahren ist heute operationalisiert. Es läßt sich wie folgt umschreiben: In einem ersten Schritt werden die Orientierungselemente anhand einer Reihe regelmäßig verteilter Paßpunkte ermittelt. Die Kartenkoordinaten werden der Landeskarte 1:25 000 entnommen, die korrespondierenden Bildkoordinaten mittels eines Monokomparators (KERN MK 2) eingemessen. Im zweiten Schritt wird für jeden Stichprobenpunkt, d. h. die Eckpunkte jeder Gitterzelle, die zugehörige Höhenkote bestimmt. Als Unterlage wird ein DGM der Schweiz verwendet. Im dritten Schritt wird aufgrund der bestimmten Meß-

werte die projektive Transformation vorgenommen. Die neuen Bildkoordinaten werden für jeden Stichprobenpunkt automatisch berechnet und das verzerrte Gitternetz mittels einer automatischen Zeichenanlage ausgedruckt (vgl. Abb. 5).

Da das Rasternetz auf den Landeskoordinaten basiert, ist sichergestellt, daß stets derselbe Raster rekonstruiert wird. Für jedes neue Luftbild, auch wenn es gegenüber dem früheren leicht verschoben ist, wird wieder der gleiche Raster erstellt. Damit ist Gewähr geleistet, daß die tatsächlichen (und nicht scheinbaren) Veränderungen erhoben werden können.

5.2. Digitaldaten

Ganz andere Wege sind bei den digitalen Satellitendaten einzuschlagen. In einer geometrischen Transformation müssen die einzelnen Zeilen des digitalen Datensatzes (Zeilenausschnitte) einmal in die Lage der Kartenkoordinaten gedreht werden, und anschließend muß eine flächenhafte Anpassung durch Neubestimmung der Koordinaten für jedes einzelne Bildelement durchgeführt werden, da ja bei Landsat die Überlappung der einzelnen Pixel in einer Zeile unterschiedlich groß ist (LICHTENEGGER 1980).

Die Abbildungsparameter werden mit Hilfe von Paßpunkten bestimmt, die sowohl im Satellitenbild als auch in der Karte eindeutig lokalisiert werden können. Da die Bahnparameter und die Stellung des Satelliten im Raum (Gieren, Nicken, Rollen) bei jedem Überflug verschieden sind, tritt zwischen den Bildern Nichtlinearität auf. Eine Bildregistrierung und die Kartenanpassung kann also nur angenähert werden. Bei den Landsat-Aufnahmen reicht meist eine *affine Transformation* aus, um eine gute Übereinstimmung zu erreichen. Andernfalls muß zu einer polynomen Transformation höherer Ordnung gegriffen werden. Eine zusätzlich erweiterte Strategie wurde für die Korrektur von NOAA-Daten entwickelt, um auch die panoramischen Verzerrungen und die Einflüsse der Erdkrümmung und Erdbewegung genügend berücksichtigen zu können (FREI 1984). Im geometrischen Korrekturverfahren eingeschlossen ist gleichzeitig die Berechnung eines neuen Rasters (*Resampling Technik*). Anstelle der 79×79 m (resp. 82×82 od. 30×30 m) Bildelemente werden wiederum solche von 100×100 m (od. 50 m etc.) durch Interpolation bestimmt. Damit werden die Voraussetzungen zur Flächenmessung und zur Kombination mit den anderen Daten geschaffen. Studien sind im Gange, um auch Radar-Aufnahmen geometrisch zu korrigieren (MEIER u. NÜESCH 1985).

5.3. Zusätzliche raumrelevante Information

Der Einbezug aller weiteren raumrelevanten Informationen verschiedenster Herkunft, in erster Linie das DGM, thematische Karteninhalte etc. ist jetzt einfach. Durch Überlagerung des Basisrasters und Aufnahme der Daten in kodierter Form mit Hilfe eines Ablochschemas oder direkt mittels Digitizer erfolgt eine Überführung ins GIS. Ebenso einfach können Grenzverläufe der zugrundeliegenden Raumeinheiten (Kap. 3.2) einbezogen werden.

5.4. Informationserhebung und -ausgabe

Bei der rasterweisen Luftbildinterpretation oder Felderhebung lassen sich wiederum zwei Erhebungsarten unterscheiden:

- Flächenbezogene Aufnahme: Pro Rasterzelle wird die flächenmäßig dominierende Einheit bestimmt und gespeichert. Natürlich können pro Einheit auch mehrere Informationen erfaßt werden.
- Punktbezogene Aufnahme: Anstelle einer Gesamterhebung tritt ein stichprobenweises Vorgehen. Die Interpretation erfolgt an klar definierten Punkten, z. B. im Mittelpunkt jeder Rasterzelle.

Die Vorteile dieses Prinzips sind, daß flächenhaft nicht dominante Einheiten, z. B. lineare Elemente (Verkehrsnetz, Flußsystem), erfaßt werden und somit auch in der Flächenstatistik in Erscheinung treten. Bei der kartographischen Darstellung wird hingegen ein viel unübersichtlicheres Bild entstehen. Lineare Einheiten werden nicht zusammenhängend wiedergegeben etc. Zusätzliche Überarbeitungen werden notwendig.

Die Ergebnisse der digitalen Datenklassifikation liegen immer in flächenhafter Form je Rasterelement vor. Bei der Datenklassifikation nach den überwachten Verfahren (*supervised classification*) beruht die Genauigkeit der Ergebnisse weitgehend auf einer sorgfältigen Auswahl der einzelnen Kategorien und der Bestimmung der korrespondierenden Stichprobenflächen. Letztere sollten jeweils eingehenden (statistischen) Überprüfungen unterzogen werden, bevor sie in die Klassifikation einfließen. Beim Klassifikationsvorgang können bereits Zusatzinformationen herangezogen werden, vorab das DGM oder die Waldfläche (KELLER et al. 1985).

Probleme ergeben sich aus der Bewölkung, systembedingten Ausfällen oder fehlerhaften Datensätzen. Um gleichwohl auf eine genügende Anzahl von Datensätzen, z. B. während einer Ausaperungsperiode, zu kommen, wurden entsprechende Strategien entwickelt. Fehlende Linien werden kompen-

siert und Fehler korrigiert. Von teilweise bewölkten Bildern wird eine digitale Wolkenmaske erstellt und die fehlenden Bildteile durch Extrapolation ergänzt. Dabei wird mittels des DGM von entsprechenden Reliefeinheiten (nach Höhe, Exposition und Neigung) mit bekannter Schneesituation auf diejenigen der bewölkten Teile geschlossen (BAUMGARTNER et al. 1985).

5.5. Folgerungen

Nur ein gut strukturiertes und möglichst breit abgestütztes GIS erlaubt eine mannigfaltige Analyse und Kombination der gespeicherten Rauminformation, ein aufgabenspezifisches Bearbeiten von Problemen und eine adäquate Ausgabe der Ergebnisse. Durch die kontinuierliche Nachführung muß die Aktualität der Datensätze sichergestellt werden. Mit dem Hinzufügen neuer Information nehmen die Einsatzmöglichkeiten und die Aussagekraft eines GIS laufend zu und machen es zu einem immer nützlicheren geographischen Arbeitsmittel. So entstehen langfristig verwendbare GIS, die sowohl der Forschung dienen als auch praxisorientierte Planungs- und Entscheidungshilfen darstellen.

6. Zukünftige Entwicklung

Die Möglichkeiten, die die Fernerkundung für modernes, praxisorientiertes geographisches Schaffen bietet und die methodischen Erfordernisse wurden in den vorangehenden Kapiteln aufgezeigt. Hinsichtlich Datenaufnahme darf für die nächsten Jahre ein weiterer rasanter Aufschwung erwartet werden. Allein die Europäische Weltraumbehörde ESA, die Erdbeobachtung zu einem ihrer Hauptziele für die 90er Jahre erklärt hat, bereitet mehrere Satellitenprogramme vor (ESA 1985), nämlich:

ERS-1	im Bau Start vorgesehen für 1990
ERS-2	(gleiche Konfiguration Start vorgesehen für 1993
AERS-1*)	für Landbeobachtung Start vorgesehen für 1995
METEOSAT	2. Generation Start vorgesehen für 1994
Feste Erdkruste	(Geodäsie/Geophysik) Start vorgesehen für 1993
Erweiterter ERS 1/2*)	spez. für Klimatologie Meereis und Atmosphäre Start vorgesehen für 1998

Daneben bestehen Satellitenprojekte in Frankreich (SPOT-1), Indien (IRS-1), Japan (J-ERS-1 und

MOS-1), Canada (RADARSAT), USA (N'ROSS-1) etc. Hinzu kommen die verschiedenen Weltraumflüge des Shuttle mit Erdbeobachtung (Metric Camera, Large Format Camera, SIR A-C, MERSE etc.). Breitgefächerte Vorbereitungsprogramme wie z. B. das RSPP der ESA (1972-82) mit der SAR-580 Kampagne dienen dem Vertrautmachen mit derartigen Datentypen. Anfangs 1986 wurde ein Vorbereitungsprogramm für die neuen, oben genannten Satellitenprogramme der ESA gestartet, das Earth Observation Preparatory Program (EOPP). Ein besonderes Augenmerk verdient dabei das Land-Beobachtungsprojekt (ESA, 1986). Kampagnen mit spez. Sensoren (SAR, nahes und thermales IR, imaging Spectrometer etc.) und Experimente auf breiter Basis werden vorbereitet. Auf nationaler Ebene sei besonders auf das MOMS-Projekt der Bundesrepublik Deutschland verwiesen, das in ähnlicher Weise den Umgang mit multispektralen Satellitendaten der neuesten Generation (Pushbroom-Scanner) vorbereitet. Ganz neue Perspektiven können sich mit der Entwicklung und dem Einsatz der bemannten Weltraum-Station der NASA und dem europäischen Beitrag (COLUMBUS-Projekt) ergeben. Die miteinander bezogenen unbemannten polaren Satellitenplattformen werden ganz neue Verhältnisse schaffen, hinsichtlich Gewicht- und Energievoraussetzungen, Wartungs- und Reparaturmöglichkeiten und damit den Weg zu völlig neuen Sensor-Konfigurationen öffnen. Es ist darum unerlässlich, möglichst rasch die notwendigen Voraussetzungen zu schaffen, um diese Daten in sinnvoller geographischer Information umsetzen und für die Forschung und Praxis bestmöglich ausschöpfen zu können.

Tab. 2 hebt die wesentlichen Vor- und Nachteile einiger der wichtigsten heutigen und zukünftigen Erdkundungssatelliten hervor, wiederum unter Berücksichtigung der Anwendungsbereiche „mapping, inventoring, monitoring und forecasting“ (vgl. Kap. 3 u. Abb. 1). Deutlich festgehalten werden muß, daß die wichtigsten Erdkundungs-Missionen bis heute mit optischen Instrumenten bestückt sind, die hochauflösende Multispektral-Daten aufnehmen. Die zeitliche Auflösung dagegen ist relativ grob. Die Wetterbedingungen über den meisten Teilen Europas sind aber dergestalt, daß für semioperationelle bis operationelle Systeme Allwetter-Aufnahmegereäte (SAR) unerlässlich werden. Besondere Bedeutung kommt dementsprechend dem AERS-1 zu, bei dem sowohl Mikrowellen-Sensoren als auch optische Ge-

*) Neuerdings im Rahmen des „Polar Orbit Earth Observation Multidisciplinary Programme“ vorgesehen

Tabelle 2: Vor- und Nachteile der verschiedenen Erderkundungssatelliten-Systeme (nach ESA 1986, S. 1)

Advantages and disadvantages of major present and future earth resources observation satellite systems

Sensor	Anwendungs- gebiet	Mapping Topographie und Kartographie	Inventoring und Monitoring Thematische Kartierungen	Monitoring und Forecasting
Landsat-TM	-	-	Gute Möglichkeiten für Maßstäbe 1:50 000 und kleiner, gewisse Limitationen infolge größerer Auflösungen im thermalen IR	Sehr starke Limitationen infolge Bewölkung und geringer Wiederholungsrate
SPOT-1 HRV	-	Geeignet für M 1:50 000	Begrenzte spektrale Möglichkeiten	Starke Limitationen durch atmosphärische Einflüsse
ERS-1 SAR	-	-	Limitationen infolge - nur gelegentlichem Operieren in dieser Aufnahmeposition, - geringer radiometrischer/ geometrischer Auflösungs- kombination	Limitationen infolge - nur gelegentlichem Operieren in dieser Aufnahmeposition, - geringer radiometrischer/ geometrischer Auflösungs- kombination
Kombination von TM oder HRV mit ERS-1 SAR	-	Keine Verbesserung	Geringfügige Verbesserung hinsichtlich thematischer Möglichkeiten wegen beschränktem Operieren	Problematische Kombination wegen geometrischer Registrierung
AERS-1	-	Keine zusätzliche Verbesserung außer in permanent bewölkten Regionen	Elimination der - Witterungseinflüsse, - geometrischen Registrierungsprobleme (wie bei Daten von verschiedenen Plattformen); Optimierung von - Kombination von optischem System mit SAR Sensor, - Orbit-Spezifikationen	

räte kombiniert zum Einsatz gelangen sollen (ESA 1986). Davon lassen sich letztlich auch Anforderungen und Ziele für die 3. Generation der Erderkundungssatelliten ableiten:

- Unabhängigkeit von Wettereinflüssen,
- Optimierung der geometrischen Zuordnungsprobleme und der spektralen Eigenschaften (Auswahl von Lage, Breite und Anzahl verfügbarer Bänder).

7. *Schlußfolgerungen*

- Die geographische Fernerkundung sollte möglichst schnell und systematisch von der rein qualitativen Kartierungsstufe zur Erstellung von Inventuren, zur kontinuierlichen Überwachung von Prozessen und zu Vorhersagen und Simulationen fortschreiten.

- Dieses Vorgehen bedingt den Einbezug von quantitativen Merkmalen und digitalen Methoden.
- Satellitenaufnahmen ermöglichen erstmals eine synoptische Erfassung von Prozessen und Veränderungen an der Erdoberfläche auch über große Gebiete hinweg im raum-zeitlichen Ablauf.
- Zur exakten Messung von räumlichen Veränderungen ist eine gute geometrische Basis unerlässlich.
- Als geeignetste Organisationsform bietet sich das Geographische Informationssystem (GIS) im Rasterformat an. Dies bedingt den Einbezug der elektronischen Datenverarbeitung.
- Durch geeignete Vorverarbeitungsverfahren lassen sich sowohl analoge als auch digitale Luft- und Satellitenaufnahmen in dasselbe GIS überführen und mit beliebigen raumbezogenen Daten anderer Herkunft korrelieren.

- In hügeligem und gebirgigem Gelände ist der Mitteinbezug eines digitalen Geländemodells unerlässlich.
- Die GIS sind laufend nachzuführen und auf den aktuellsten Stand zu bringen.
- Derartige Informationssysteme erlauben für verschiedenartige wissenschaftliche und praktische Aufgabenstellungen gezielte Lösungen anzugeben in kartographischer, graphischer und/oder statistischer Form.
- Damit wird es möglich für die brennendsten Gegenwarts- und Zukunftsaufgaben im Bereich Ressourcennutzung, Raumplanung und Umweltüberwachung Grundlageninformationen zu liefern, Zusammenhänge, Interaktionen und Abhängigkeiten aufzuzeigen, Lösungsvorschläge zu entwickeln, Simulationen durchzuführen und Vorhersagen vorzunehmen.
- Eigentliches Ziel sollte die Entwicklung und Inbetriebsetzung operationeller Systeme für eine dynamische, flexible und nachhaltige Nutzung unserer natürlichen Ressourcen und die Erhaltung der Lebensqualität in synoptischer Sicht sein.

Literatur

- BAUMGARTNER, M., SEIDEL, K., MARTINEC, J., HAEFNER, H. a. ITTEN, K. I.: Large Area Snowmelt Runoff Simulations Based on Landsat-MSS Data. Digest IEEE/IGARSS' 85 Symposium, Amherst, USA 1985.
- BAEHR, H. P. et al.: Digitale Bildverarbeitung - Anwendung in Photogrammetrie und Fernerkundung. Karlsruhe 1985.
- BERG, A. (Ed.): Application of Remote Sensing to Agricultural Production Forecasting. Joint Research Centre, Ispra, Italy 1981.
- BRASSEL, K. E.: Grundkonzepte und technische Aspekte von geographischen Informationssystemen. Internat. Jahrbuch für Kartographie, Band XXIII. Bonn-Bad Godesberg 1983.
- BRUNNSCHWEILER, D. H.: Seasonal Changes of the Agricultural Pattern - A Study in Comparative Airphoto Interpretation. Photogrammetric Engineering 23/1, 1957.
- COLWELL, R. N.: Remote Sensing of Natural Resources - Its Basic Concepts in Retrospect and Prospect. Proc. of Remote Sensing for Natural Resources Symp. Sept. 10-14, 1979. University of Idaho, Moscow 1980.
- COLWELL, R. N. et al. (Eds.): Manual of Remote Sensing, Volume I, Theory, Instruments and Techniques. Am. Soc. of Photogrammetry, 1983.
- ESA: Looking Down - Looking Forward - Earth Observation - Sciences and Applications - A Perspective. ESA SP-1073. Paris 1985.
- : Land Applications Working Group: Remote Sensing for Advanced Land Applications. ESA SP-1075. Paris 1986.
- FASLER, F.: IBIS - Ein interaktives Bild-Interpretationssystem. Proc. Int. Arch. of Photogrammetry, Vol. XXII, 7, Bd. 1. Freiburg 1978.
- FREI, U.: Geometrische Korrekturen von NOAA-AVHRR-Daten. Remote Sensing Series, Vol. 8. Department of Geography, University of Zurich 1984.
- GUYOT, G. a. VERBRUGGHE, M. (Eds.): Spectral signatures of objects in remote sensing. Internat. Soc. for Photogrammetry and Remote Sensing, 1981.
- HAEFNER, H.: Vegetation und Wirtschaft der oberen subalpinen und alpinen Stufe im Luftbild. Landeskundl. Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum, Nr. 6. Bad Godesberg 1963.
- : Möglichkeiten und Grenzen der Dateninterpretation - zur Methodik der Interpretation von Fernerkundungsdaten. Festschrift L. BERTELE. WILD Heerbrugg AG 1975.
- HAEFNER, H. a. HUGENTOBLER, F.: Assessment and Monitoring of Abandoned Agricultural Land in the Swiss Alps. Remote Sensing Series, Vol. 9. Department of Geography, University of Zurich 1985.
- HILDEBRANDT, G.: Luftbildauswertung bei Waldinventuren im Gebiet der Sommer- und Nadelwälder. Allg. Forstzeitschrift, Nr. 1/2, 1962.
- : Systematik der Waldinventurmethode unter dem Gesichtspunkt der Luftbildverwendung. Proc. ISP Congress, Lissabon 1964.
- HUGENTOBLER, F.: Brachlandentwicklung und Möglichkeiten einer raumplanerischen Behandlung am Beispiel des Val Colla. Diplomarbeit, Geographisches Institut Universität Zürich 1983.
- HUSS, J. (Hrsg.): Luftbildmessung und Fernerkundung in der Forstwirtschaft. Karlsruhe 1984.
- ITTEN, K.: Großräumige Inventuren mit Landsat-Erderkundungssatelliten. Landeskundl. Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum, Nr. 15. Bonn-Bad Godesberg 1980.
- JENSEN, J. K.: Biophysical Remote Sensing. Annals, Vol. 73, 1, 1983.
- KELLER, M., SEIDEL, K. u. HAEFNER, H.: Kartierung des Aussaperungsprozesses mit Hilfe von Satellitenaufnahmen. Mitteilungen DVWK Nr. 7, 1984.
- KOELBL, O. a. TRACHSLER, H.: Regional Land Use Survey, Based on Point Sampling on Aerial Photographs. Int. Arch. of Photogrammetry, Vol. 10. Hamburg 1980.
- LICHTENEGGER, J.: Landnutzungskartierungen mit multi-temporalen Landsat-MSS-Daten. Dissertation, Geographisches Institut Universität Zürich 1980.
- MARTINEC, J., RANGO, A. a. MAJOR, E.: The Snowmelt-Runoff Model (SRM) User's Manual. NASA Reference Publ. 1100, Washington 1983.

- MAURER, H.: Untersuchungen zur Unterscheidbarkeit landwirtschaftlicher Kulturen im farbigen Luftbild. Dissertation, Geographisches Institut Universität Zürich 1965.
- MEIER, E. u. NÜESCH, D.: Geometrische Entzerrung von Bildern orbitgestützter SAR-Systeme. BuL, Heft 5, 1986.
- NÜESCH, D.: Augmentation of Landsat MSS Data by Seasat SAR Imagery for Agricultural Inventories. Remote Sensing Series, Vol. 7. Department of Geography University of Zurich 1982.
- PARK, E. B., WESCOTT, T. F. a. ROYAL, J. A.: Urban Encroachment on Agricultural Land. Proc. Intern. Symp. on Remote Sensing of Environment, Vol. I. Ann Arbor 1982.
- ROSENFELD, A. a. KAK, A. C.: Digital Picture Processing. Orlando, USA 1982.
- SCHNEIDER, S.: Die Stellung der Luftbildinterpretation in der Landesforschung. Berichte zur Deutschen Landeskunde, Bd. 29. Bad Godesberg 1962.
- : Methoden der Raumgliederung mit Hilfe des Luftbildes. Berichte zur Deutschen Landeskunde, Bd. 42. Bad Godesberg 1969.
- : Gewässerüberwachung durch Fernerkundung - Die mittlere Saar. Landeskundl. Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum, Nr. 12. Bonn - Bad Godesberg 1974.
- : Gewässerüberwachung durch Fernerkundung - Der mittlere Oberrhein im Vergleich zur mittleren Saar. Landeskundl. Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum, Nr. 13. Bonn - Bad Godesberg 1977.
- : Gewässerüberwachung durch Fernerkundung - Digitale Aufbereitung und Auswertung von Thermalaufnahmen der Unterelbe und des Oberrheins. Landeskundl. Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum, Nr. 14. Bonn - Bad Godesberg 1979.
- SCHOCH, R.: Land-Cover Studies and Crop Acreage Estimates from Aerial Photography and Satellite Imagery - A Case Study in the Region of Ta'izz - Turbah, Yemen Arab Republic. Remote Sensing Series, Vol. 5. Department of Geography University of Zurich 1982.
- SCHWIDEFISKY, K. u. ACKERMANN, F.: Photogrammetrie - Grundlagen, Verfahren, Anwendungen. Stuttgart 1976.
- STAENZ, K., MEIER, E. H., NÜESCH, D. R., ITTEN, K. I. a. HAEFNER, H.: Resource Monitoring Oriented Sensing Data Processing Capabilities. Digest IEEE/IGARSS'85 Symposium, Amherst, USA 1985.
- STEINER, D.: Die Jahreszeit als Faktor bei der Landnutzungsinterpretation auf panchromatischen Luftbildern. Landeskundl. Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum, Nr. 5. Bad Godesberg 1961.
- : Zur Technik und Methodik der Landnutzungsinterpretation von Luftbildern. Berichte zur Deutschen Landeskunde, Bd. 29. Bad Godesberg 1962.
- STEFFEN, H.: Herstellung von Luftbildkarten in der Provinz Ta'izz (Arabische Republik Jemen). Geographica Helvetica 1, 1976.
- SWAIN, Ph. a. DAVIS, S. M. (Eds.): Remote Sensing - The Quantitative Approach. New York 1978.
- TOWNSHEND, J. R. G.: Terrain Analysis and Remote Sensing. London 1981.
- TRACHSLER, H., KOELBL, O. u. MEYER, B.: Stichprobenweise Auswertung von Luftaufnahmen für die Erneuerung der Eidgenössischen Arealstatistik. Bundesamt für Statistik und Raumplanung, Bern 1980.
- VERSTAPPEN, H.: Remote Sensing in Geomorphology. Int. Institute for Aerial Survey and Earth Science (I.T.C.). Enschede 1977.

ISLAM AND COMMERCE: WAQF AND THE BAZAAR OF YAZD, IRAN¹⁾

With 3 figures (partly as supplements VI-VII) and 4 tables

MICHAEL E. BONINE

Zusammenfassung: Islam und Handel: Waqfund der Bazar von Yazd, Iran

Religiöse Stiftungen (*waqf*) waren eine der wichtigen sozialen und wirtschaftlichen Einrichtungen der Stadt im islamischen Orient. In besonderer Weise mit dem Bazar verknüpft, dienten die Einkommen aus diesen Stiftungen vor allem zur Finanzierung von Moscheen, Koranschulen und anderen religiösen Gebäuden und Einrichtungen. Der folgende Beitrag untersucht den besonderen Zusammen-

¹⁾ Thanks are given to the Alexander von Humboldt Foundation for partial support for this research on the Middle Eastern city. I thank Prof. Dr. E. EHLERS (Marburg) for valuable comments and Mr. G. FÜLLENBACH (Marburg) for the excellent cartography. Field research in Iran was originally conducted in 1970-71 and 1977, and thanks are extended for support by Fulbright-Hays and the Social Science Research Council. The comments of Mr. MEHDI ABEDI also have been most helpful.