ARB. GEOGR. INST. GRAZ, Bd. 31: 283-298, Graz 1992/93

Zur Problematik des Einsatzes der Fernerkundung in der Umweltforschung

Von Walter Zsilincsar, Graz

1. Einleitung

Umfang, allgemeiner Charakter und Interdisziplinarität der Fragestellung erlauben nur eine überblicksmäßige, knappe und selektive Behandlung. Allein der Titel des Beitrages ist insoferne irreführend als es den Ökologen sensu strictu meines Erachtens nicht gibt, es sei denn, er wäre ein Universalgenie.

Schon die verschiedenen Definitionen des Begriffes "Ökologie" oder "Umweltforschung", die hinlänglich bekannt sind und die Untersuchung "der Wechselwirkungen zwischen Lebewesen und ihrer belebten und unbelebten Umwelt" zum Inhalt haben (F.A. KLÖTZLI, 1989, S. 1) machen klar, daß es sich bei der Ökologie nur um eine interdisziplinäre Disziplin handeln kann.

Es wurde daher versucht, diesen Aspekt bei der Beantwortung der Frage nach den Ansprüchen der Umweltforschung im an die Fernerkundung dadurch Rechnung zu tragen, daß sie nicht aus der Sicht einer Einzelperson heraus zur Diskussion gestellt wird, sondern aus der von Naturwissenschaftern, die sich auf der Grundlage ihres jeweiligen Spezialfaches auch mit umweltspezifischen Frage-stellungen befassen. Dabei wurde nicht so sehr auf bereits aus der Literatur bekannte Erfahrung zurückgegriffen als vielmehr auf die Meinung von auch im ökologischen Bereich tätigen Naturwissenschaftern. Sie wurden um eine kurze Stellungnahme zu zwei Fragekomplexen gebeten:

1. Welches Maß an Grundlagen- und Detailinformation ist für ökologische Untersuchungen im aus der jeweiligen Sicht der einzelnen Forschungsdisziplinen

(Klimatologie, Pedologie, Biologie, Geomorphologie, Geographie usw.) erforderlich und welchen Genauigkeitsgrad sollte diese Information erreichen?

2. Welche Rolle spielt dabei:
   a) der Aspekt der räumlichen Auflösung der Information und
   b) der Aspekt ihrer zeitlichen Gebundenheit bzw. der Zustandsdynamik

2. Erfahrungen und Ansprüche an die Fernerkundung in ausgewählten Bereichen der Umweltforschung

2.1. Natur- und Landschaftsschutz

Der Naturschutz als Planungskomponente ist hauptsächlich an der Erkennung, Lagebeschreibung und qualitativen Zuordnung wirtschaftlich weitgehend ungenutzter Flächen der freien Landschaft interessiert.

In den meisten Naturschutzgesetzen Mitteleuropas werden als für den Naturschutz gegenständliche Flächen aufgezählt:
- bisher weitgehend ungenutzte, naturnahe oder natürliche Flächen
- natürliche stehende Gewässer und deren Uferbereiche
- Teilbereiche der Landschaft mit ökologischer und kulturgeschichtlicher Bedeutung
- Gebiete mit besonderer landschaftlicher Schönheit oder seltener Charakteristik
- Gebiete mit besonders hoher Artenvielfalt
- hervorragende Einzelschöpfungen der Natur
- in ausgeräumten, d.h. an naturschutzwürdigen Flächen verarmten Bereichen wird in Hinkunft verstärkt "Renaturierung" zu betreiben sein. Dementsprechend wird -- sich das kartographische Interesse des behördlichen und wissenschaftlichen Naturschutzes verstärkt auch intensiv genutzten Kulturlandschaftsteilen zuwenden.

Hinsichtlich der Auflösungserfordernisse von naturschutzrelevanten Fernerkundungsbildprodukten erstreckt sich der Wunschkatalog zu erfassender Einheiten vom Quelltümpel oder Einzelbaum bis hin zu Landschaftseinheiten, Gebirgszügen und Gewässereinzugsbereichen. Die minimalen Erfordernisse liegen bei der Erkennung von Flächeneinheiten über einem halben Hektar, wobei die Zuordnung qualitativer Verhältnisse die Erfordernisse der reinen Lokalisierung übertrifft. So ist beispielsweise allein die Situierung von Wasserflächen kaum ein Naturschutzkriterium, wohl aber die Erkennung der Uferbewuchstypen, Gewässertiefen, Eutrophierungszustände, bzw. des Schadstoffeintrages durch Zuflüsse.

Als Kriterium für zukünftige Satellitenbilderfassungen kann nachfolgender Wunschkatalog gelten:

- Genaue Lokalisierung und qualitative Zuordnung von Flächeneinheiten hinab bis 0,5 (selten 0,1) ha.
- Erfassung punktueller Kleinstrukturen wie große Einzelbäume, Quelltümpel, Weiher, Fischteiche und kleine Gebirgsseen, wobei hier die Masse in der Größenordnung zwischen 0,5 und 0,1 ha liegt.
- Erfassung linearer Kleinstrukturen wie Fließgewässerläufe, lineare Uferbegleitvegetation, Feldhecken, Waldmantelsäume, Schluchttäler mit einer Sohlenbreite bis unter 10 m etc.

Die Möglichkeit der qualitativen Erkennung physikalisch eruierbarer Strukturen (Gewässer, Felsen etc.) und pflanzlicher Formationseinheiten ist seit längerem gegeben; wesentlich ist die Verfeinerung der Auflösung bis in den Bereich von Kleinstrukturen. In Hinkunft wird die Entscheidung der Einbeziehung hochauflösender Satellitenbilderkundungsdaten von der Nuancierbarkeit vegetationskundlicher Einheiten und Belastungszustände abhängen. So sind beispielsweise etwa Wald- und Wiesenformationen nicht nur nach den dominierenden Pflanzenarten einzuteilen, sondern vor allem nach der Artenvielfalt und Parametern auszuwerten, die als Indikatoren nuancierter Unterscheidungsmöglichkeiten gelten.

Extensiv bewirtschaftete Wiesen sind Bereiche mit der höchsten erwünschten Beobachtungsfrequenz. Hier liegt im Zusammenhang mit der Stillegung intensiv bewirtschafteter Flächen zugunsten extensiv bewirtschafteter Ökoflächen in der Landwirtschaft ein besonderes Kontrollanliegen. Entsprechend den hohen finanziellen Aufwendungen für Flächenstillegungen erscheint eine beständige Kontrolle sinnvoll und notwendig! Dementsprechend wären zumindest zwei flächendeckende Auswertungen je Jahr (jeweils kurz vor der Mahd) sinnvoll. Als Kriterium der Förderungswürdigkeit für derartige Stillegungsmaßnahmen gelten Vermeidung der Anwendung von Düngemitteln, seltenes Mähen und hohe Artenvielfalt im Pflanzenbestand. Dementsprechend sind dafür hohe Auflösungserfordernisse bei entsprechender phänologischer Verteilung erwünscht. Da eine umfangreiche und intensive Flächenkontrolle äußerst personal- und damit auch kostenaufwendig ist, könnten Fernerkundungssysteme durchaus als Alternative in Betracht kommen. Allein im Bundesland Steiermark (16.384 km^2) obliegt die Kontrolle des gesamten Agrarsektors nur 3 amtlichen Naturschutzbeauftragten.

Landschaftliche Struktureinheiten mit jährlicher Auswertungsfrequenz wären im Falle von Maßnahmen des "Vertragsnaturschutzes": Hecken, extensiv gepflegte

Ackerränder, Kleingewässer, Fließgewässerränder, Hoch- und Flachmoore sowie "Urwaldparzellen" in geschlossenen Waldbereichen.

Für die langfristige Beurteilung der Bestandsentwicklung unterschiedlicher Pflanzenformationen bzw. Biotopgruppen wird in Hinkunft eine fünf- bis zehnjährige Revision mit prozentueller Auswertung der Anteile sinnvoll werden und für entsprechende gesetzliche Maßnahmen Teil der Beurteilungserfordernisse sein.

Der Einsatz von Luftbildern, z.B. für die Erstellung von Naturraumkatastern wird im Natur- und Landschaftsschutz schon seit Jahrzehnten gepflogen. Dabei werden flächendeckende Luftbildserien zur Abgrenzung schutzwürdiger Biotope und zur Feststellung ökologisch wirksamer Kleinstrukturen im offenen Gelände (Hecken, Feldraine, Ufergehölze) verwendet und in Arbeitskarten 1:25 000 eingetragen.

Montierte Luftbildketten ohne spezielle Entzerrung dienen für die Erstellung von Vegetationskarten, Karten der Landnutzung bzw. von Hochwasserabflußgebieten. Infrarot- und Falschfarbenbilder kommen für Vegetationsschadenserhebungen in Waldgebieten zur Anwendung, wobei der Zeitreihenaspekt der Aufnahmen eine besondere Rolle spielt. Sie bewähren sich darüber hinaus zur Abgrenzung von Vegetationsgebieten oder zur Bestimmung des Wasserhaushaltes der oberen Bodenschichten.

Bei Regulierungsprojekten mit eingeplanten Überflutungsräumen werden im alpinen Raum besondere Ansprüche an die Genauigkeit von Höhenangaben gestellt. Diese läßt sich derzeit aus Luftbildern nur bedingt, aus Satellitenbildern nicht zufriedenstellend erzielen.

Einschränkungen in der Verwendbarkeit von Fernerkundungsbildprodukten im Bereich des Natur- und Landschaftsschutzes ergeben sich in Gebieten großer Reliefenergie oder engen Tälern, weil markante Geländestrukturen (Felsköpfe, Stromschnellen usw.) überschattet oder verzerrt wiedergegeben bzw. Höhenverhältnisse bei dichter Vegetation verfälscht werden können.

Im Zuge der neuerdings auch in den Alpen propagierten sog. "Rückführung" ausgeräumter Kulturlandschaften in einen naturnahen Zustand können Zeitreihendokumentationen eine große Hilfe sein. Für pflanzenphysiologische Untersuchungen ergibt sich ein räumlicher Auflösungsbedarf von unter 1 km bei flächenhaften Analysen und von wenigen Metern bei Untersuchungen von Einzelobjekten (zB. Einzelbäume). Ein besonderes Problem stellt die Analyse von Waldschadensflächen mittels Scanner dann dar, wenn schädigungsbedingte Ver-

lichtungen (zB. bei kranken Fichten) verfälscht werden, weil ihr Spektrum durch dichte Krautschichten oder Brennesselkulturen überdeckt wird.

2.2. Waldzustandsinventuren

Im Gegensatz zu terrestischen Bestandskontrollen erlaubt die Fernerkundung einen umfassenden Überblick mit hoher räumlicher Dichte und zeitlicher Wiederholbarkeit. Darüber hinaus spielen auch hier wie beim Naturschutz finanzielle Erwägungen bei der Wahl des Mediums (Preis-Leistungsverhältnis) eine nicht unbedeutende Rolle.

Die Verwendung computergestützter multispektraler und multitemporaler Fernerkungsdaten erlaubt es, in Verbindung mit der (stichprobenartigen) Analyse der terrestischen Gegebenheiten (ground truth) das Datenpotential voll auszunutzen und die Nachteile einer rein visuellen Interpretation zu kompensieren.

Da die räumlichen Proportionen der Objekte neben ihren spektralen Eigenschaften von grundlegender Wichtigkeit für die Interpretation sind, müssen hohe Ansprüche an das räumliche Auflösungsvermögen der Fernerkundungsbilddaten gestellt werden. Sie stehen bislang nicht in dem Maße zur Verfügung, wie dies im spektralen Bereich bereits der Fall ist. G.Q.XU (1989) beschreibt seine Erfahrungen mit LANDSAT MSS und TM bei Waldzustandsanalysen im randalpinen Bereich wie folgt:

LANDSAT-TM Daten eignen sich wegen der zusätzlichen Spektralbänder für Baumkronenanalysen besser als MSS-Daten. Für die Waldtypenklassifizierung bringen Bänder im nahen und mittleren Infrarot bessere Ergebnisse als solche im sichtbaren Bereich (TM2 oder TM 2 und 3). Die spektrale und räumliche Auflösung von TM-Daten ermöglicht eine höhere Klassifizierungsgenauigkeit als bei MSS-Daten, welche für eine detaillierte Waldtypenanalyse ungeeignet sind, weil sie nicht ins Mittelinfrarot reichen und bestenfalls eine Grobklassifizierung in reinen Laub-, reinen Nadel- bzw. in Mischwald erlauben.

Ganz allgemein ergeben sich aus der Auswertung der Spektralinformationen eine Reihe von Schwierigkeiten. Systeme mit höherer räumlicher Auflösung, wie z.B. SPOT, liefern zwar hinreichend Informationen über die Textur von Waldbeständen nicht aber über den Waldzustand. W.SCHNEIDER (1989, S. 86 f) faßt die wichtigsten Kritikpunkte zusammen: Die spektralen Mischsignaturen einzelner Bildelemente erschweren bzw. verhindern die exakte Identifikation der vorhanden Baumarten, ihres Mischungsanteiles sowie ihres Kronenzustandes. Beschattete Teile von Baumkronen und zunehmende Schattenanteile bei fortgeschrittener Kronenschädigung können Veränderungen der Mischsignaturen bewirken, die der

erwartbaren Veränderung der Kronensignaturen entgegengesetzt sind, d.h. Abnahme im TM-Kanal 4, Zunahmen in den TM-Kanalen 5 und 7 (G.Q.XU, 1989). Ferner können schädigungsbedingte Kronenverlichtungen zum Hervortreten der von oben sichtbaren sonnenbeschienenen Kraut- und Strauchschicht führen und so ein realitätsfremdes Zustandsbild vermitteln.

Auch gezielte Durchforstungen in geschädigten Beständen können zu Fehlinterpretationen beitragen. Wiederum kann die nach der Durchforstung verstärkt durchscheinende Bodenvegetation die Mischsignatur tendenzios beeinflussen und ein verzerrtes Bild der Schadensentwicklung erzeugen.

Misch-Bildelemente prägen vielfach Waldränder und die Ränder von Lichtungen und Kahlschlägen, was zu Fehlklassifikationen führen kann. Im alpinen Bereich wird die Spektralsignatur des Waldes darüber hinaus von der Hangneigung und Exposition beeinflußt. Waldzustandsanalysen sollen nicht nur einen großräumigen Überblick über das allgemeine Zustandsbild des Waldes vermitteln, sie dienen auch der Evaluierung konkreter Maßnahmen wie der Aufforstung von Hochlagen oder der Schutzwaldsanierung. Dabei wird dem zeitlichen Aspekt der Entwicklung des Waldzustandes eine besondere Bedeutung beigemessen (zeitliche Variabilität klimatischer Meßgrößen, Entwicklung der Schadstoffbelastung usw.).

Zur Abdeckung dieses umfangreichen Datenbedarfes kann die Fernerkundung durchaus beitragen. Im Gegensatz zu terrestrischen Inventuren erlaubt sie für einen konkreten Aufnahmezeitpunkt eine objektive, bildhafte Dokumentation des Waldzustandes im klein-, vor allem aber im großräumigen Bereich.

Die Zeit- und Kostenersparnis gegenüber terrestrischen Aufnahmen ist ein nicht zu unterschätzendes ökonomisches Anwendungskriterium. Dennoch schlagen auch bei der Auswertung von Fernerkundungsbilddaten z.T. nicht unbeträchtliche finanzielle und zeitliche Aufwendungen zu Buche. In keinem Fall kann die Ferndiagnose die Untersuchung des Zustandsbildes vor Ort ersetzen.

Fernerkundungsinventuren beziehen sich vornehmlich auf Merkmale der Baumkronen wie des Kronenverlichtungsgrades, des Entnadelungs- bzw. Blattverlustzustandes oder des Schadzustandes von Baumkronen (Wipfelbruch).

Bei zunehmender Schädigung ergeben sich in der Regel Verschiebungen im Reflexionsgrad der Blätter bzw. Nadeln, doch darf bei der Analyse nicht übersehen werden, daß auch die Sonnenbestrahlung das Reflexionsverhalten beeinflußt. Dazu können noch systemfremde Störfaktoren kommen wie z.B. ein Helligkeitsabfall zum Bildrand hin, Sichtwinkeleffekte, wie Gegen- oder Mitlicht, Einflüsse der

atmosphärischen Streuung u.a.. Solche Störfaktoren lassen sich bei multispektraler Beobachtung d.h. durch Kombination von zumindest zwei Spetrabereichen (sichtbares Licht, nahes oder mittleres Infrarot) weitgehend minimieren.

Mit der Erhöhung der spektralen Auflösung durch Verbesserung der elektrooptischen Sensoren oder mittels einer höheren Anzahl von Spektralkanälen ließe sich vermutlich die nach wie vor recht große Gefahr der Fehlinterpretation von Mischsignaturen deutlich herabsetzen.

Eine weitere Verbesserung der räumlichen Auflösung scheint dagegen für Waldzustandsinventuren erst dann an Bedeutung zu gewinnen, wenn sie auch die Einzelbaumansprache zuläßt. Satellitenbilder könnten ihre Einsatzmöglichkeit für forstwirtschaftliche Untersuchungen entscheidend verbessern, wenn sie aus der Analyse von Texturen und räumlichen Mustern Hinweise auf Durchforstungen liefern, die bei Zeitreihenanalysen zu berücksichtigen sind. Auch die Einbindung digitaler Geländemodelle trägt zur Erhöhung der Aussagekraft bei.

Schwierigkeiten bei forstwirtschaftlichen Satellitenbildinterpretationen im alpinen Gelände resultieren vornehmlich aus der kleinräumigen und häufig inhomogenen Bestandsstruktur, der starken Reliefierung und der intensiven Bewirtschaftung.

2.3. Klimatologie

Die Einsatzmöglichkeiten von Fernerkundungsdaten in der Klimatologie sind relativ gut dokumentiert. Sie beziehen sich vor allem auf stadt- und geländeklimatologische Untersuchungen (vgl. ROBEL, F., HOFFMANN, U. und RIEKERT, A., 1978), wobei bevorzugt Methoden der Infrarot-Thermographie zum Einsatz gelangen.

Aus der vergleichenden Betrachtung von Wärmebildern im Hinblick auf Gebiete gleicher Oberflächentemperatur und deren Veränderung im Laufe der Nacht lassen sich Luftströmungskarten erstellen. Abfließende Kaltluft kann schon durch geringe Hindernisse (Häuser, Zäune, Bäume, Hecken, Straßendämme, u.a.) gestaut werden und zur Ausbildung lokaler Kaltluftseen beitragen. Dadurch kann z.B. das Straßenzustandsbild in inneralpinen Tal- und Beckenlandschaften lokal stark beeinträchtigt werden.

Die klimatische Ausgleichsfunktion von Wald- und Freilandflächen für dichter verbaute Areale ist aus infrarot-thermographischen Kartierungen gut ablesbar. Besonders günstige Voraussetzungen für die Stadtdurchlüftung ergeben sich bei einer starken Verzahnung geschlossener Siedlungsgebiete mit Freiland und Wald.

Die Temperaturbilder lassen eine deutliche thermische und lufthygienische Differenzierung zwischen Wald, Freiland und bebauten Flächen zu.

Neben den thermoklimatischen Analysen hat sich das Anwendungsgebiet der Fernerkundung im klimatologischen Bereich in den letzten Jahren auf den Problemkreis der Schadstoffausbreitung (Schornstein- und Kühlturmfahnen) hin erweitert. Hier bieten sich vor allem in industriell geprägten alpinen Tal- und Beckenlandschaften neue Einsatzmöglichkeiten. Allerdings unterscheidet sich das Anforderungsprofil an die Fernerkundung doch sehr wesentlich danach, ob Aussagen zu mikro-, meso (lokal-) oder makro- (regional-) klimatischen Fragestellungen gewünscht werden. Um das Oberflächentemperaturverhalten auf der mikroklimatischen Ebene bestimmen zu können, wäre eine räumliche Auflösung von mind. 5 bis 10 m je Pixel erforderlich. Darüber hinaus interessieren die Tagesgänge der Temperatur, so daß sowohl Nacht- als auch Tagesszenen von multispektralen Scannern im genannten Auflösungsrahmen benötigt werden. Für mesoklimatische Aussagen reichen Pixelgrößen von etwa 100 m, die bereits jetzt bei LANDSAT TM erfüllt werden. Die gegenwärtigen Überflugszeiten im ostalpinen Raum (10^{30} bzw. 21^{30} Uhr) sind jedoch ungünstig. Wünschenswert wären Termine am frühen Nachmittag und in der zweiten Nachthälfte.

Auf der makro- bzw. regionalklimatischen Ebene reicht ein Pixelformat von 1 km aus, wie es schon beim ERS 1 abgedeckt wird. Damit bieten sich Möglichkeiten an, das inneralpine Temperaturverhalten mit jenem des Vorlandes zu vergleichen. Bezüglich des Aufnahmezeitpunktes gelten dieselben Anforderungen wie im mesoklimatischen Bereich. Auch für großräumige Nebel- bzw. Inversionsanalysen reichen Pixel von 1 km. Um jedoch auch die Dynamik von Hochnebelflächen erfassen zu können, wären Szenen im 3- bis 5-Stunden Intervall notwendig.

Ein großes Problem im Rahmen klimatologischer Analysen ergibt sich aus der Notwendigkeit Fernerkundungsbilddaten zumindest 2 Wochen vor dem gewünschten Aufnahmezeitpunkt bestellen zu müssen. Da jedoch derart langfristige Wetterprognosen kaum zu realisieren sind, ist mit den gewünschten Datenvorbestellungen auch ein finanzielles Risiko verbunden.

2.4. Bodenkartierung

Die Feldbodenkunde stellt besonders hohe Ansprüche an den räumlichen Auflösungsgrad von Bilddokumentationen bzw. topographischen Karten. Die vielfach kleinräumigen geologischen, morphologischen, geländeklimatologischen und pflanzensoziologischen Strukturen erfordern bodenkundliche Aufnahmemaßstäbe zwischen 1:2000 und 1:10000. Damit sind die Einsatzmöglichkeiten von

Fernerkundungsbilddaten bereits eingegrenzt. Luftbilder, insbesondere Orthofotos, eignen sich wegen ihres hohen räumlichen Auflösungsvermögens für bodenkundliche Analysen klar besser als Satellitenbilder. Luftbilder erlauben eine deutliche Abgrenzung von Ackerland, Dauergrünland und Wald. Parzellengrenzen, Verkehrsanlagen, Geländeflächen, Industrieareale und Lagerplätze sowie ähnliche Flächennutzungskategorien treten äußerst scharf in Erscheinung, vor allem, wenn man die qualitativ ausgezeichneten Vergrößerungsmöglichkeiten in Anspruch nimmt. Ferner geben Luftbilder das Oberflächengewässernetz sehr exakt wider. Es lassen sich Naßgallen, Hangeinrisse und andere erosionsbedingte Formen der Hangauflösung (Rutschungen) sowie Solifluktionsvorgänge (Rasentreppungen) erkennen, denen gerade im Gebirge insbesondere für geplante Hoch- und Tiefbaumaßnahmen eine nicht zu unterschätzende baugeologische Indikatorfunktion zukommt. Hinweise auf petrographisch oder tektonisch bedingte Zonen geologischer Instabilität können aus dem Verbreitungsmuster von Lineamenten, Berg- und Felsstürzen gewonnen werden. Hier können Luft-, und mit Einschränkungen, auch Satellitenbilder wertvolle Informationen bereitstellen, wenn keine oder nur unzureichende terrestrisch gestützte Kartengrundlagen zur Verfügung stehen (Vgl. W. SULZER, 1990).
Im alpinen Gelände haben sich Luft- und auch Satellitenbilder in der jüngsten Vergangenheit bei der Erfassung und ökologischen Auswirkungsanalyse von touristisch bedingten Eingriffen in den Naturhaushalt (Schipisten, Seilbahn- und Lifttrassen, Entsorgungsproblematik von Hotel- und Ferienwohnanlagen) gut bewährt. Ihr verstärkter Einsatz zur großräumigen Kontrolle von Pistenwiederbegrünungsmaßnahmen, Ausbreitung von Erosionsschäden durch den Pisten- und Straßenbau, Aktivierung von Murgängen u.a. durch Zeitreihenanalysen wäre wünschenswert.

Der Einsatz von Fernerkundungsbilddaten in der Bodenkartierung und Bodenschätzung bringt jedoch in Gebieten mit einem gut entwickelten terrestrisch gestützten Informationssystem nur geringe Vorteile (s. Kartierungsmaßstab), zumal in der Feldbodenkunde das Bodenprofil von ausschlaggebender Bedeutung ist und dieser Blick in den Untergrund bei Verwendung von Fernerkundungsbilddaten nur äußerst bedingt und unscharf möglich ist. Die Überdeckung des Bodenmusters durch die Vegetation erlaubt zwar grobe Rückschlüsse auf den Untergrund (Bodentyp), den aktuellen Wassergehalt sowie auf Flächen mit Zuschußwasser, Aussagen über die Mächtigkeit von Profilen, über die Horizonttiefen, Bodenart, Grobanteil, Struktur, Durchwurzelung u.a. sind jedoch nicht möglich.

Es wäre jedoch zu testen, ob mittels Falschfarbenaufnahmen zu bestimmten Jahreszeiten (z.B. in sommerlichen Schönwetterperioden) Grobkartierungen von Bodenformen über die Vegetation vorgenommen werden könnten. Da der

Wassergehalt der Pflanzen mit ihrem Chlorophyllanteil direkt korreliert und mit dem Bodenwasserhaushalt unmittelbar zusammenhängt, lassen sich mittels Falschfarbenaufnahmen, wenn auch nur sehr bedingt, Rückschlüsse auf die Wasserspeicherkapazität des Bodens ziehen. In jedem Fall sind jedoch begleitende Eichungsproben unerläßlich.

2.5. Geomorphologie und angewandte Quartärgeologie

In der Geomorphologie und Geologie (Tektonik, Lagestättenforschung, Quartär- und Hydrogeologie) kommen Fernerkundungsbilddaten seit langem erfolgreich zur Anwendung. Senkrechtluftbilder bieten nähere Informationen über das Gewässernetz und erlauben die detaillierte Erfassung zahlreicher Oberflächenformen, deren traditionelle Form der Kartierung speziell im alpinen Terrain ein hohes Maß an zeitlicher und körperlicher Anstrengung erfordert. Umfang und altersmäßige Datierung glazialmorphologischer Erscheinungen, denudativ - ersosiver Vorgänge oder die Verbreitung von Lineamenten und Flächensystemen werden oft erst mit Hilfe des Luftbildes exakt bestimmbar.

Aus dem Vergleich zeitlich versetzter Szenarien von Fernerkundungsbildprodukten lassen sich Rückschlüsse auf rezente geomorphologische Vorgänge ziehen bzw. bis zu einem bestimmten Grad zukünftige Prozeßabläufe prognostizieren.

Bei der geomorphologisch-geologischen Luftbildinterpretation läßt sich durch die Verwendung eines Stereoskopes eine beträchtliche qualitative Verbesserung erzielen. Formen des Mikroreliefs sind im Basisbereich von 1-100 m gut erkennbar. Auch auf der Meso- (100 m - 10 km) und Makroreliefebene (über 10 km Basisbreite) bietet das Luftbild eine ausgezeichnete Grundlage für die Landschaftsinterpretation.

Multispektralaufnahmen von Flugzeugen und Satelliten (z.B. LANDSAT MSS) werden erfolgreich in der Lagerstättenerkundung sowie zur Erkundung geologisch-tektonischer Strukturen eingesetzt.

Über die Eigenschaft des Bodens, Verwitterungsprodukt des ihm zugrunde liegenden Ausgangsgesteins im Zusammenwirken mit Klima, Vegetation und Wasser zu sein, erlauben die Reflexionseigenschaften des Bodens im Bereich des sichtbaren Lichtes sowie des nahen und mittleren Infrarot - in der Reihenfolge ihrer Bedeutung - Rückschlüsse auf Feuchtegehalt, Korngrößenverteilung, Gefüge und Eisenkonzentration. Der erhöhte Feuchtegehalt von Böden im Bereich der Tonfraktion mindert deren Reflexion im sichtbaren Spektrum sowie im nahen und mittleren Infrarot. Ein hoher Anteil an Eisenoxiden verstärkt die Reflexion des roten Lichtes (0,6 - 0,7 µm) bei gleichzeitiger Abnahme des grünen Lichtes (0,5-0,6 µm).

Hohe Anteile an organischer Substanz (bis etwa 5 %) vermindern die Reflexion im sichtbaren Bereich.

Der Feuchtegehalt des Bodens beeinflußt die thermische Infrarotstrahlung. Feuchte Böden sind tagsüber kühler, in der Nacht wärmer als trockene Standorte. Daraus können Rückschlüsse auf die unterschiedliche Wasserspeicherkapazität des Bodens oder auf die Höhe des Grundwasserspiegels gezogen werden. Da der Wassergehalt in Nutzpflanzen mit der Korngröße des Untergrundes im Zusammenhang steht, erlaubt das zeilenweise Abtasten im Bereich des thermischen Infrarot den Wasserbedarf von Nutzpflanzen abzuschätzen.

Eine Schwierigkeit bei derartigen Untersuchungen ergibt sich neben der jahreszeitlichen Veränderung der Vegetationsdecke, die insbesondere in Gebirgsländern auf engstem Raum vertikalen und expositionsbedingten Modifikationen unterliegt, vor allem aus dem Schattenwurf bei starker Horizontüberhöhung. Bodengestützte Überprüfungen der Fernerkundungsinformationen sind daher vielfach unerläßlich.

Das derzeitige Anwendungsprofil der Fernerkundung in den Geowissenschaften ist noch sehr stark auf die Vorbereitung von Übersichts- und Detailkartierungen vor allem im schwer zugänglichen alpinen Gelände gerichtet. Dazu kommt das Erkennen landschaftsgenetischer sowie geologisch-geotektonischer Zusammenhänge (Hanginstabilitäten, großräumige Erosionsgefährdung, tektonische Schwächezonen u.a. Georisikofaktoren).

Die Einsatzmöglichkeiten von Falschfarben- und Infrarot-Aufnahmen z.B. für das Früherkennen einer Rutschungsgefährdung mittels bestimmter Parameter wie Bodenfeuchte oder feuchtezeigender Vegetation sind noch nicht voll ausgelotet. Allerdings stellen sich dabei je nach Fragestellung und Größe des Untersuchungsgebietes recht unterschiedliche Ansprüche auf das Grundauflösungsvermögen, die vom Meter- bis in den Kilometerbereich gehen. Für den größermaßstäbigen Bereich bis ca. 1:25.000 wird dem Luftbild (Orthofoto aber auch Schrägsichtaufnahmen) vielfach der Vorzug gegeben.

Eine Erfahrungsanalyse von Mitarbeitern der Abteilung für Umweltgeologie und Angewandte Geographie bei Joanneum Research in Graz ergab, daß der Einsatz von Satellitenbildern im angesprochenen Fachbereich noch eher zaghaft ist. Vorerst werden die besten Ergebnisse bei der Vorbereitung von Detailkartierungen sowie bei der Interpretation großräumiger Zusammenhänge im Rahmen von Überblickskartierungen erzielt. Besonders herausgestrichen wird die dabei erzielte Zeit- und Kostenersparnis sowie die Möglichkeit der multitemporalen Analyse.

Für glaziologische und glazialmorphologische Untersuchungen im Hochgebirge eignen sich maßstabsbedingt Luftbilder wesentlich besser als Satellitenbilder. Die Kartierung des Verbreitungsgebietes von Permafrost oder Blockgletschern erfordert eine hohe geometrische Auflösung bis in den Meterbereich. Als vorteilhaft erwies sich der Einsatz von Infrarot-Orthophotos. Schwierigkeiten bereitet die Fernerkundung von Permafrostflächen unter einer 3 bis 6 m mächtigen aktiven Deckschichte. Die aktual- morphologische Gestaltung der Gletscheroberflächen im alpinen Bereich ist in hohem Maße von klimabedingten Einflußgrößen abhängig. Sie läßt auch Rückschlüsse auf das Ausmaß der Gletscherbewegung zu, doch ist auch hier wegen der rel. Kleinheit der Oberflächenformen (im Meterbereich) eine hohe räumliche Auflösung des Bildmaterials erwünscht. Für das Studium morphologischer Prozeßabläufe wären Bildreihen mit mehrjährigen (5-10 Jahre) Aufnahmeintervallen günstig.

2.6. Hydrogeologie

Fernerkundungsbilddaten finden in der Hydrologie beispielsweise als Grundlage für wasserwirtschaftliche Untersuchungen Anwendung. Klare Wasserflächen, Schnee- und Eisfelder lassen sich auf Weltraumbildern leicht identifizieren, weil sie Licht im sichtbaren Bereich nur wenig, das nahe und mittlere Infrarot dagegen stark reflektieren bzw. absorbieren. Suspensionen im Fluß- oder Schmelzwassers erhöhen die Reflexion im Bereich des sichtbaren Lichtes. Bewegte Wasseroberflächen führen in allen Wellenbereichen mit Ausnahme des thermischen Infrarot zu einer verstärkten Reflexion.

Die Anreicherung organischer (z.B. humoser) Substanzen im Wasser erhöht die Rot- und vermindert die Blau-Reflexion. Das Chlorophyll lebender Pflanzen (z.B. Algen) steigert die Reflexion im Grün-Bereich, während sie im Rot und Blau abnimmt. Somit können bei der Untersuchung von Wasserflächen Trübeklassen ausgewiesen und grobe Rückschlüsse auf die Wasserqualität oder die Einleitung von Abwässern gezogen werden. Auf Eutrophierungsprozesse deutet auch ein vermehrter Algenbestand hin. Potentielle Hochwassergefährdungszonen lassen sich ebenso feststellen wie Seichtwassergebiete und Verlandungsflächen. Zusätzliche Informationen liefern Temperaturbilder. Sie ermöglichen die Identifizierung ökologisch wertvoller Feuchtgebiete bzw. die Evaluierung der thermischen Ausgleichsfunktion größerer Wasserflächen.

Wie in den anderen hier zur Diskussion gestellten Anwendungsbereichen kann der Einsatz der Fernerkundung in der Hydrologie zwar viel Zeit und Geld sparen, eine Fülle von Vor- und Erstinformationen liefern, aber insbesondere im großmaßstäbigen Rahmen Detailuntersuchungen vor Ort nicht ersetzen. Die Anfor-

derungen an den Aufnahmemaßstab erstrecken sich bei hydrogeologischen Arbeiten je nach Aufgabestellung von ca. 1:500 bis 1:50 000 und kleiner.

Gute Ergebnisse bringen dagegen landschaftsökologische Auswirkungsanalysen von Maßnahmen im Siedlungswasserbau, von Flußregulierungen oder von großflächigen Meliorierungsmaßnahmen bzw. Trockenlegungen von Feuchtbiotopen etwa in glazial überprägten alpinen Längstälern, insbesondere dann, wenn das Bildmaterial über längere Aufnahmezeiträume hinweg das Studium von Sukzessionsabläufen zuläßt.

Erfahrungen bezüglich des Einsatzes von Fernerkundungsdaten liegen auch im Bereich der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung vor (HALM, K., 1986). Anwendungsgebiete sind u.a. der Gewässerschutz, die wasserwirtschaftliche Erfassung von Oberflächen- und Grundwasservorkommen, die energetischen Nutzungsmöglichkeiten des Wasserkraftpotentials, Fragen der Be- und Entwässerung (Trockenlegungsproblematik von Mooren), die Beurteilung der ökonomischen und ökologischen Konsequenzen von Maßnahmen für den Hochwasserschutz, Probleme der Kühlwasserentnahme und -rückführung bei Fließgewässern, die Problematik der Einleitung von Haushalts- und Industrieabwässern in fließende und stehende Gewässer, die Nutzbarkeit und Belastung von Gewässern durch den Tourismus u.a.

Die Anwendungsmöglichkeiten der Fernerkundung sind jedoch in den einzelnen Planungsschritten sehr unterschiedlich. Für die erste Planungsphase, in der die Grobziele formuliert werden (z.B. Gewässerschutz, Wasserqualität, Wassernutzung u.a.) genügen, je nach Größe des Projektgebietes (z.B. im überregionalen Rahmen) zumeist kleine Maßstäbe von 1:100000 bis zu 1: 1000000. Bei der Bestandsanalyse sind Maßstäbe von 1:50000 und tw. größer gefordert. Diesen Ansprüchen werden Fernerkundungsbilddaten durchaus gerecht. Erfahrungen aus außeralpinen Landschaften können jedoch nicht unreflektiert auf Gebirgsländer übertragen werden, zumal die Kleingliedrigkeit des dortigen Reliefs bereits für die Bestandsanalyse einen größeren Aufnahmemaßstab bzw. ein höheres räumliches Auflösungsvermögen (zumindest im mittleren und oberen Zehnermeterbereich) erfordert.

In der Detailplanung, etwa für Wasserver- und -entsorgungsprojekte, wird gewöhnlich Parzellenschärfe gefordert. Hier sind daher dem Einsatz von Satellitenbilddaten noch klare Grenzen gesetzt, die, wenn auch mit geringeren Einschränkungen auch für das Luftbild gelten.

K.HALM (1986, S. 26) faßt die Einsatzmöglichkeiten von Fernerkundungssystemen in der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung und bei Umweltverträglichkeitsprüfungen wie folgt zusammen:

1. Aufnahmen der Large-Format-Camera sind in Hinblick auf ihre Flächendeckung in den Planungsphasen Project Finding, Feasibility-Studie und Monitoring mit Erfolg einsetzbar.
2. Metric-Camera-Aufnahmen sind unter dem hier behandelten Aspekt der Flächendeckung in den Planungsphasen Project Finding, Feasibility-Studie und Monitoring gut einsetzbar.Gleiches gilt für die LANDSAT-Aufnahmen.
3. MOMS ist für große Areale mit kleinen Maßstäben wegen der gestiegenen Anzahl von 21 notwendigen Aufnahmen nur eingeschränkt einsetzbar. In den Phasen der Feasibility-Studie und des Monitoring gut verwendbar.
4. SPOT-Aufnahmen können meist ebenso verwendet werden, allerdings nicht für große Areale im Project Finding.
5. Aufnahmen der Ultra High Altitude Photography sind beim Project Finding nicht und in der Feasibility-Studie und dem Monitoring wegen erhöhter Stückzahl nur begrenzt verwendbar. Allerdings gibt es größere Bauprojekte, bei deren endgültiger Planung eventuell solche Aufnahmen bereits ausreichen (z.B. Baumaterial aus in-situ-Beschaffung).
6. Luftbilder können ausschließlich bei der endgültigen Bauplanung von wasserwirtschaftlichen Projekten sinnvoll eingesetzt werden, da sonst eine zu große Anzahl zur Flächendeckung notwendig wäre.

Mittels des "Zoom-Effektes" von "Ausschnittvergrößerungen" können selbst einzelne Luftaufnahmen bei einer Feasibility-Studie gute Dienste leisten.

Hydrogeologische Geländearbeiten bedürfen einer Vielzahl von Grundlageninformationen, die überblicksweise durchaus aus Fernerkundungsbilddaten gewonnen werden können. Dazu gehören u.a.: geologische Großstrukturen wie Störungen, Verwerfungen oder Gesteinsgrenzen; morphologische Großstrukturen zur Beurteilung großräumiger hydrographischer Netze bzw. zur Erfassung von Quellhorizonten und Großquellen oder zur Abgrenzung orographischer Einzugsgebiete; Vegetationskartierungen als Indikationshilfe für Grundwasseruntersuchungen; Erstellung von Höhenmodellen für morphometrische Analysen; Meßnetzplanungen; die Erfassung von potentiellen Schadstoffemittenten bzw. landwirtschaftlicher Gefährdungsflächen oder die Überwachung von Gülleverordnungen im Rahmen des Gewässerschutzes.

Gerade bei hydrologischen Untersuchungen kommt dem Zeitfaktor eine eminente Bedeutung zu. Beobachtungen des Abflußganges, von Wasserstandsschwankungen,

die Erfassung von Extremständen bzw. -schüttungen oder die Analyse hydrochemischer und hydrophysikalischer Parameter erfordern oft mehrjährige Meßreihen. Obwohl exakte Angaben zu den genannten Punkten nur mittels terrestrischer Meßdaten zu erzielen sind, können Fernerkundungsdaten wertvolle Vor-Informationen für die Project-Finding-Phase liefern (z.B. räumliche Abgrenzung von Hochwassergefährdungszonen, großräumige Grundwasserschwankungen, Verteilung vernässungs- bzw. austrocknungsgefährdeter Areale, Erstellung von Gefahrenschutzplänen, Ausweisung hydrogeologisch fundierter Hangrutschungs- bzw. erosionsgefährdeter Zonen u.a.). In jedem Fall richtet sich die Forderung an den Informatiker, Fernerkundungsdaten so nutzerfreundlich aufzuarbeiten, daß sie auch von einem nicht in der Bildverarbeitung einschlägig ausgebildeten Fachwissenschafter im Bereich der angewandten Forschung eingesetzt werden können.

3. Zusammenfassende Kurzkritik

Die grundlegende Problematik bei der Anwendung der Fernerkundung durch den Fachwissenschafter scheint in der Ausbildungsdiskrepanz gegenüber dem reinen Informatiker zu liegen. Die vorhandene Software ist tw. äußerst komplex und erfordert vom praxisorientierten Nutzer ein umfangreiches Training, da es an einer systembezogenen Ausbildung vielfach mangelt. Einerseits erfordert die ständig wachsende Datenflut Informatikkenntnisse, wie sie der Fachwissenschafter in der Regel nicht besitzt, was den Informatiker eine gewisse Monopolstellung verleiht, und ihn der Gefahr der fachdisziplinären Überschätzung aussetzt, andererseits können die Fachwissenschafter aufgrund ihres zu geringen Informatikwissens, den Wust an Fernerkundungsinformationen oft nur sehr eingeschränkt umsetzen. Der Wunsch nach einer möglichst einfach zu bedienenden, sinnhaften und problemorientierten Software ist folglich immer wieder zu hören. Ähnliches gilt für die Bereitstellung sog. "hybrider" Systeme, die eine Verknüpfung von Raster- und Vektordaten erlauben.

Eine weitere Forderung richtet sich nach einer verstärkten Kooperation zwischen Fachwissenschaftern und Informatikern zwecks Bereitstellung aufbereiteter, nutzerfreundlicher d.h. leicht weiter zu verarbeitender und problembezogener Basisdaten. Das breite Anwendungsspektrum der Fernerkundung in den Natur- und Umweltwissenschaften wird in Hinkunft schon im Software-Bereich eine wesentlich stärkere Bereitschaft zur interdisziplinären Zusammenarbeit erfordern.

Im Bereich der digitalen Höhenmodelle stellt sich das dzt. System gebundener Rasterweiten bisweilen als sehr nachteilig heraus, insbesondere dann, wenn die Auswertung von linaren Komponenten (Kammlinien, Geländekanten,

Erosionsrinnen, usw.) einen hohen Stellenwert hat. Hier wären Modelle auf der Basis inaequidistanter Höhenangaben wünschenswert.

Schon jetzt kann jedoch aufgrund der bisherigen Erfahrungen mit Fernerkundungsbildsystemen gesagt werden, daß sich ihre Einsatzmöglichkeiten bei überregionalen, großflächigen Forschungsvorhaben, in Gebieten mit einer fehlenden oder nur mangelhaften terrestrisch gebundenen Datengrundlage sowie für Projekte, die langfristige Zeitreihenanalysen erfordern, als äußerst wertvoll und zukunftsträchtig erwiesen haben.

Literatur:

HALM, K.(1986): Photographische Weltraumaufnahmen und ihre Eignung zur thematischen und topographischen Kartierung, zur Umweltverträglichkeitsprüfung und zur wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung. Münchner Geogr. Abh., Bd. 35., München, 123 S.

KLÖTZLI, F.A. (1989): Ökosysteme. UTB 1479. Stuttgart, 464 S.

ROBEL, F., HOFFMANN, U. und RIECKERT, A. (1978): Daten und Aussagen zum Stadtklima von Stuttgart auf der Grundlage der Infrarot-Thermographie. Beiträge z. Stadtentwicklung, Bd. 15. Stuttgart. 260 S.

SCHNEIDER, W.(1989): Verfahren, Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung für die Inventur des Waldzustandes. FBVA Berichte (Sonderheft), Wien, 116 S.

SULZER, W. (1990): Langtang Himal-Helambu (Nepal): Zur Frage des Einsatzes panchromatischer SPOT-Stereobilder für die Raumplanung. Dipl.Arbeit. Inst. f. Geographie, Univ. Graz. Graz, 130 S.

XU, G.Q. (1989): Investigations into Forest Classifications using LANDSAT-Data. Case studies in Central Styria. Diss. Techn. Univ.Graz. Graz, 114 S.

Anschrift des Verfassers: ao.Univ.Prof. Dr. Walter Zsilincsar, Institut für Geographie der Karl-Franzens-Universität Graz, Heinrichstraße 36, A-8010 Graz

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Karl-Franzens-Universität Graz

Jahr/Year: 1992

Band/Volume: 31_1992

Autor(en)/Author(s): Zsilincsar Walter

Artikel/Article: Zur Problematik des Einsatzes der Fernerkundung in der Umweltforschung 283-298