

3 Methodische Grundlagen

3.1 Fernerkundung

Ellen Banzhaf

Menschliche Aktivitäten beeinflussen die Landoberfläche, die Wasserflächen und die Atmosphäre. Um die menschlichen Aktivitäten sorgfältig zu planen und ihre Auswirkungen zu kontrollieren ist es notwendig, die sich im komplexen Gefüge von Mensch und Naturhaushalt vollziehenden Veränderungen zu beobachten und besser zu verstehen. Dies alles erfordert Informationen über den Zustand und die Dynamik der Umwelt. Erhalten werden können diese Informationen, soweit sie den physikalischen Zustand der Umwelt beschreiben, vor allem durch Messungen vor Ort oder durch Fernerkundung. Letztere hat in den vergangenen Jahren durch ihren Raumbezug bei gleichzeitiger technischer und methodischer Weiterentwicklung an Bedeutung zugenommen.

Was ist Fernerkundung?

Fernerkundung ist die bildhafte Erfassung der Erdoberfläche. Sie umfaßt photographisch dokumentierte Luftbilder sowie meist in digitaler Form gespeicherte Satellitenbilder. Während Aufnahme und Auswertung von Luftbildern bereits in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts entwickelt wurden und seither ständig verbessert werden, etablierte sich die satellitengestützte Fernerkundung gerade in der zivilen Forschung erst in den letzten 20 bis 30 Jahren. Der Begriff Fernerkundung wurde aus dem Englischen abgeleitet, wo dieser als "Remote Sensing" um 1960 eingeführt wurde. In romanischen Sprachen wird diese Disziplin mit dem Begriff "Télédétection" (frz.) oder "Teledetección" (span.) beschrieben.

Fernerkundung ist also ein indirektes Beobachtungsverfahren, da es die Erdoberfläche mit Hilfe von Luft- und Satellitenbildern aus einer gewissen Distanz flächenhaft erfaßt und bildhaft wiedergibt. Erst ihre systematische Auswertung vermag das verfügbare Informationspotential voll zu erschließen und praktisch nutzbar zu machen. Dies setzt die Kenntnis darüber voraus, wie solche Bilder entstehen, welche Eigenschaften sie aufweisen und mit welchen Hilfsmitteln und Methoden die enthaltenen Informationen für verschiedene Anwendungen ausgewertet werden können.

Aufnahmesysteme im Überblick

Es steht eine breite Palette von Aufnahmesystemen mit unterschiedlicher räumlicher, spektraler und radiometrischer Auflösung zur Verfügung, die abhängig von der jeweiligen Fragestellung auszuwählen sind. Dabei bilden die bislang gewonnenen Satellitenbilder einen Ausschnitt der Erdoberfläche in einer mittelmaßstäbigen räumlichen Auflösung ab. Sie sind für ökologische Fragestellungen der chorischen Dimension geeignet, nicht aber für Aufgaben, die eine hohe geometrische Genauigkeit erfordern. Auch die spektrometrische Aufteilung ist für eine landschaftsökologische Auswertung von Bedeutung (vgl. Tab. 2), reicht die Unterschei-

derung der Wellenlängenbereiche doch vom sichtbaren Licht über photographisches Infrarot, thermales Infrarot bis zu Mikrowellen.

Während „westliche“ Länder hauptsächlich eine Weiterentwicklung digitaler Abtastsysteme vornahmen (USA: Landsat; Frankreich: Spot), konzentrierten sich die osteuropäischen Länder auf die Weiterentwicklung photographischer (Multispektral-) Kameras (ehem. UdSSR: KFA 1000 und KVR 1000) (ALBERTZ 1991, S. 39/40). Bei digitalen Systemen besteht die Bildstruktur aus einem Raster, das aus Bildelementen (engl. picture elements $\Rightarrow$ pixels) aufgebaut ist. Photographisch erzeugte Bilder werden für die digitale Weiterverarbeitung eingescannt.

Die Aufnahmesysteme bestehen aus der Plattform (terrestrische, Flugzeug, Satellit sowie seiner Mission) und dem Sensor. So bezeichnet die Angabe Landsat-5-TM den Namen des Satelliten 'Landsat', die 5. Mission und den Sensor 'TM' (Thematic Mapper). Oft tragen Satelliten mehr als einen Sensor während ihrer Mission. So arbeitet auf Landsat-5 neben dem TM auch der MSS (Multi Spectral Scanner), wenngleich letzterer durch die radiometrische und geometrische Verbesserung des TM deutlich an Bedeutung verloren hat.

Seit Anfang der 90er Jahre sind eine Reihe neuentwickelter Satellitensysteme im Einsatz und liefern in regelmäßigen Abständen Daten. Für landschaftsökologische Fragestellungen zählen dazu der von den Europäern entwickelte Satellit ERS 1/2 (European Remote Sensing Satellite), der seit 1991 bzw. 1995 Aufnahmen liefert, und der 1992 gestartete japanische Satellit JERS (Japanese Earth Resources Satellite). Desweiteren haben die Kanadier 1995 den Satelliten RADARSAT erfolgreich in die Umlaufbahn gebracht, und der indische Satellit IRS (Indian Remote Sensing Satellite) übermittelt in seiner Mission 1C seit 1996 auch Daten über West- und Mitteleuropa. Derzeit ist der von der deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) entwickelte Modulare Optoelektronische Multispektrale Scanner (MOMS) für den Zeitraum von 18 Monaten in der Mission 2P Priroda auf der russischen Raumstation MIR installiert, bevor er als "Freeflyer" operationell eingesetzt werden kann. In den USA öffnet sich die Weltraum-Politik der Privatwirtschaft u.a. mit dem Programm Earth Watch, durch das ab 1997/98 hochauflösende Daten (1-4 m) verfügbar werden sollen (KRAMER 1996; JÜRGENS 1996). Tabelle 1 gibt eine Übersicht über operationell eingesetzte Fernerkundungssatelliten für die Umweltforschung und ihre Charakteristika.

Tab. 1: Auswahl aktueller, operationell eingesetzter Fernerkundungssatelliten (zusammengestellt aus KRAMER, 1996)

Land	Satellit - Sensor	Geometrische Auflösung	Datentypus	Repetitionsrate
USA	Landsat - TM	30 m	multispektral	16 Tage
USA	NOAA - AVHRR	1.1 km	elektro-optisch, infrarot	täglich
Frankreich	Spot - HRV	10 m	panchromatisch	26 Tage
Frankreich	Spot - HRV	20 m	multispektral	26 Tage
Europa	ERS 1/2 - AMI	30 m	Mikrowellen	3, 35 & 176 Tage
Kanada	Radarsat - SAR	ca. 4 - 8 m	Synthetischer Apertur Radar	24 Tage
Japan	JERS-1	18 m	SAR multispektral	44 Tage
Indien	IRS-1C - P2	5.8 m	panchromatisch	22 Tage
Indien	IRS-1C - LISS	23.5 m	multispektral	22 Tage

Elektromagnetische, räumliche und zeitliche Auflösung

Die Qualität der Bildverarbeitung und -auswertung hängt wesentlich von der Güte der räumlichen und elektromagnetischen Informationen ab. Alle Fernerkundungsdaten enthalten sowohl elektromagnetische (physikalische), räumliche als auch zeitliche Informationen. Die physikalische Information sagt zum einen etwas über die spektrale Zusammensetzung der empfangenen Strahlung aus, zum anderen bezieht sich die radiometrische Auflösung auf die Bildtiefe, d.h. die Anzahl diskreter Stufen, in die die gemessenen Signale unterteilt werden können (8 bit Bildtiefe = 256 Graustufen). Die spektrale Auflösung weist auf die Breiten der genutzten Spektralbereiche des Systems hin. Während die geometrische Auflösung ausdrückt, welchen räumlichen Bezug eine Information besitzt, gibt die zeitliche Auflösung Auskunft darüber, in welchem zeitlichen Zyklus ein Gebiet aufgezeichnet wird (vgl. WIENEKE 1988, S. 32).

Prinzipiell können im Weltraum wie im Luftraum die gleichen Aufnahmesysteme eingesetzt werden. Dennoch ergeben sich meist technisch bedingte Unterschiede zwischen Luft- und Satellitenbildern. In ihrer räumlichen Dimension sind Satellitenbilder großflächiger, bisher eher kleinmaßstäbiger und somit von geringerer räumlicher Auflösung als Luftbilder. Sie erlauben eher synoptische Einsichten in größere Räume und weisen eine relativ verminderte Detailerkennbarkeit auf. Hinsichtlich der zeitlichen Dimension werden Satellitenbilder eher periodisch wiederholt aufgenommen (Repetition) als einmalig oder in unregelmäßigen Zeitabständen durch gezielte Befliegungen. So liegt die Repetitionsrate beim US-amerikanischen Satelliten Landsat - TM bei 16 Tagen, beim französischen Satelliten Spot beträgt die Rate 26 Tage. Luftbilder weisen demgegenüber eine geringere zeitliche Auflösung auf. Regelmäßige Wiederholungen sind eher selten, da sie sich als viel zu kosten- und aufwandsintensiv erweisen (vgl. Tab. 2).

Die Klima- und Wetter-Satelliten der US-amerikanischen NOAA Serie (National Oceanic and Atmospheric Administration) und das europäische meteorologische Programm METEOSAT liefern beispielsweise Bilder von hoher zeitlicher, jedoch geringer räumlicher Auflösung (vgl. Tab. 1). Sie sind damit für die Überwachung großräumiger, sich schnell ändernder Phänomene, wie dem Wettergeschehen, wichtig. Weltraumfotographie (z.B. Soyus-MKF 6, Kosmos-KFA 1000) wie auch Landsat und Spot liefern Bilder geringer zeitlicher, doch hoher räumlicher Auflösung. Diese Fernerkundungssysteme sind damit geeignet zur Untersuchung von großräumigen, langsamen Änderungen. Sehr schnell ablaufende Änderungen, die auch eine hohe räumliche Auflösung erfordern, müssen bisher durch eine kosten-, planungs- und auswertungsintensive Luftbefliegung mit mehrfacher Wiederholung erfaßt werden. Bisher ist es nicht gelungen, ein Weltraum-Fernerkundungssystem zu entwickeln, das Bilder der Erdoberfläche mit hoher zeitlicher und gleichzeitig hoher räumlicher Auflösung liefert. Die Planung und Entwicklung der neuen satellitengetragenen Fernerkundungssysteme (z.B. IRS, Earth Watch, MOMS) und der verstärkte Einsatzes von Radarverfahren (z.B. ERS, RADARSAT) verbessern die räumliche und spektrale Auflösung sowie die Wetterunabhängigkeit (speziell Radar).

Tab. 2: Dimensionen und potentielle Anwendungen von Satellitenbilddaten anhand ausgewählter Beispiele von Sensoren (ergänzt nach BANZHAF 1994, S. 36 und STEINHARDT 1994, S. 31)

Dimensionen von Satellitenbilddaten	Beispiele von multispektralen Sensoren			Potentielle Anwendungen
elektromagnetisch <i>spektrometrisch:</i> Breiten der genutzten Spektralbereiche eines Sensors <i>radiometrisch:</i> Anzahl diskreter Werteneiveaus (abhängig von der Kapazität der Detektoren eines Systems), in die die gemessenen Signale unterteilt werden können (z.B. 128, 256, 1024 Graustufen)	Landsat-TM	Spot-MS	IRS-IC LISS	♦ Trennen: Boden und Vegetation, Laub- und Nadelwald; küstennahe Gewässerkartierung ♦ Untersuchung von Pflanzenstreif (hohe Reflexion für gesunde Vegetation) ♦ Unterscheidung von Pflanzenarten (Chlorophyllabsorption) ♦ Erkennung von Pflanzenvitalität; Untersuchung der Biomasse ♦ Differenzierung: Wolken / Schnee; Feuchtegehaltsmessungen bei Pflanzen ♦ Thermalkartierungen; Untersuchung des Wärmeeinflusses auf Vegetation ♦ Geologische Kartierung; Erkennung von Wasserstreif bei Pflanzen
	Kanal 1 0.45-0.52µm (blau) Kanal 2 0.52-0.60µm (grün) Kanal 3 0.63-0.69µm (rot) Kanal 4 0.76-0.90µm (nahes IR) Kanal 5 1.55-1.75µm (mittl. IR) Kanal 6 10.40-12.5µm (therm. IR) Kanal 7 2.08-2.35µm (mittl. IR)	Kanal 1 0.50-0.59µm Kanal 2 0.61-0.68µm Kanal 3 0.79-0.89µm	Kanal 1 0.52-0.59µm Kanal 2 0.62-0.68µm Kanal 3 0.77-0.86µm Kanal 4 1.55-1.75µm	
räumlich Größe der Bodenelemente (in Abhängigkeit von den geometrischen Eigenschaften des Sensors); Bildfeld	30 x 30 m (Kanal 1-5 und 7) 120 x 120 m (Kanal 6) 185 x 185 km	20 x 20 m 60 x 80 km	23.5 m (Kanal 1-3) 70.8 m (Kanal 4) 142 x 142 km	Mittlere Maßstabebene (bei Verscheidungen z.B. mit Spot panchromatisch (10 m) oder IRS-IC panchromatisch (6 m) Übergang zur großmaßstäbigen Ebene möglich)
zeitlich Repetitionszyklus zwischen zwei Aufnahmen desselben Bildes (Wiederholrate)	16 Tage	26 Tage	24 Tage	Ressourcenmanagement für Land und Wasser; Landschaftsmonitoring

Die Auswertung des elektromagnetischen Spektrums für landschaftsbezogene Aufgaben

Die für die Bildauswertung zu messende Größe wird aus der vom Objekt an der Erdoberfläche reflektierten oder emittierten elektromagnetischen Strahlung abgeleitet. So kann zum Beispiel der Chlorophyllgehalt bei Pflanzen aus einem bestimmten Teil der remittierten Strahlung erfaßt werden. Darüberhinaus ist für Fragestellungen des Bios auch wichtig, biotische von abiotischen Parametern abgrenzen zu können.

Sind mehrere Meßwerte in verschiedenen Wellenlängenbereichen aufgezeichnet, so handelt es sich um eine multispektrale Datenaufzeichnung. Sie kann folgende spektrale Information der passiven Aufnahmesysteme (a) bis d)) umfassen oder verschiedene Bänder aktiver Aufnahmesysteme (e)) abdecken .

- a) Der für den Menschen sichtbare Bereich des Lichts liegt etwa zwischen $0.3 \mu\text{m}$ (violett) und $0.7 \mu\text{m}$ (rot). In diesem Spektralband ist die Atmosphäre zu fast 100 % durchlässig.
- b) Der photographische Infrarotfilm ist zwischen $0.3 \mu\text{m}$ (violett) und $1.0 \mu\text{m}$ (infrarot) sensibel, deckt damit Bereiche des sichtbaren Lichtes ab und zeichnet auch das nahe Infrarot (NIR) auf. Letzteres ist von größter praktischer Bedeutung, da dort gesunde Vegetation, anders als im Rotbereich, sehr stark reflektiert (Anstieg von 10 % auf 50 % Reflexion). Farbinfrarotfilme stellen das NIR als Rot dar und werden deshalb "Falschfarbenfilm" genannt.

Im Anschluß an das photographische Infrarot befindet sich der Bereich des Spektrums, für den die Atmosphäre nicht mehr vollständig durchlässig ist. Wasserdampf-, Kohlendioxid- und Ozon-Absorptionsbanden blockieren teilweise die Durchdringung, so daß nur spezielle Wellenlängenintervalle - die atmosphärischen Fenster - Strahlung passieren lassen. In diesen atmosphärischen Fenstern können mittleres und thermale Infrarot registriert werden.

- c) Das mittlere Infrarot ($1.55 \mu\text{m}$ - $1.75 \mu\text{m}$) eignet sich vor allem zu Feuchtegehaltsmessungen von Pflanzen und zur Differenzierung von Wolken und Schnee.
- d) Das thermale Infrarot liegt im großen atmosphärischen Fenster etwa zwischen $8 \mu\text{m}$ und $14 \mu\text{m}$, dient ebenfalls als Feuchteindikator und umfaßt den Bereich für die von den Objekten emittierte Wärmestrahlung.
- e) Aktive Mikrowellenverfahren wie das Radar (**Radio Detection and Ranging**) arbeiten in unterschiedlichen Bändern im cm - Wellenlängenbereich. Wegen der Eigenschaft der Mikrowellen, Wolken zu durchdringen, erscheint Radar für Mitteleuropa als ein gut geeigneter Sensor für die Erderkundung. Die Erfahrungen mit Radar-Daten sind im Gegensatz zum optischen Bereich noch relativ gering, ihre Auswertung erweist sich als schwierig (LÖFFLER 1994, S. 78-80).

Spektrale Reflektanz von Vegetation, Boden und Wasser

In Abbildung 1 sind typische Reflektanzkurven für die drei Hauptklassen Vegetation, Boden und Wasser dargestellt. Dabei handelt es sich um Kurven von Durchschnittswerten, denn je nach Chlorophyllanteil in der Vegetation, Trockenheit des offenen Bodens und Wasser kann die Reflektanz der jeweiligen Merkmale im Einzelfall stark variieren. Trotzdem lassen diese Kurven fundamentale Informationen hinsichtlich der spektralen Reflektanz erkennen.

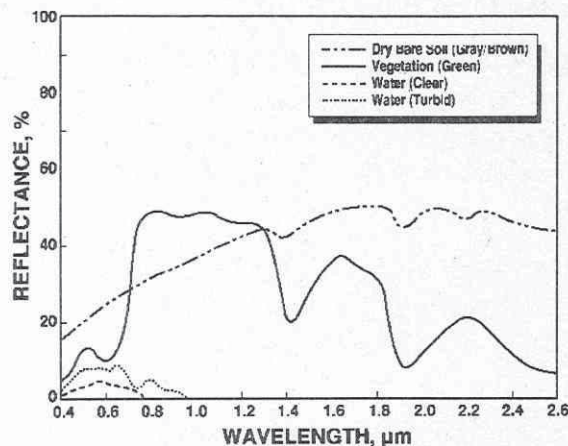


Abb. 1: Spektrale Reflektanz von Vegetation, Boden und Wasser
(LILLESAND & KIEFER 1994, S. 18)

1.3 μm wird die Blattreflektanz invers wegen des Feuchtigkeitsgehaltes und der Blattstärke. Vereinzelt kommt es zum Abfallen der Reflektanzkurve bei 1.4, 1.9 und 2.7 μm , weil in diesen Spektralbereichen das Wasser in den Blättern stark absorbiert. Man spricht hier von Wasserabsorptionsbanden. Die höheren Reflektanzen erscheinen bei 1.6 und 2.2 μm zwischen diesen Banden.

Der Verlauf der Reflektanz beim Boden enthält dagegen weniger spezifische spektrale Bereiche. Bodenreflektanz wird vor allem beeinflusst von Feuchtigkeitsgehalt, Textur, Oberflächenrauigkeit, Gehalt von Eisenoxiden und organischen Substanzen. So vermindert die Feuchtigkeit im Boden seine Reflektanz und dies vor allem in den bereits erwähnten Wasserabsorptionsbanden. Da Bodenfeuchte und Bodentextur eng zusammenhängen, besitzen zum Beispiel sandige Böden eine geringe Feuchte und erzeugen eine relativ hohe Reflektanz. Zwei Faktoren, die die Bodenreflektanz vermindern, sind die Oberflächenrauigkeit und der Anteil an organischer Substanz. Auch der Gehalt von Eisenoxiden eines Bodens verringert die Reflektanz zumindest im sichtbaren Bereich.

Klares Wasser absorbiert relativ wenig Energie unter 0.6 μm und reflektiert stark mit einem Maximum im blau-grünen Bereich des Lichts. Durch den Stoffeintrag reflektiert trübes Wasser im sichtbaren Bereich jedoch stärker. Je höher die Chlorophyll-Konzentration im Wasser ist, desto geringer ist die Reflektanz im blauen und desto höher im grünen Wellenlängenbereich. Trübes und klares Wasser absorbieren die Energie im nahen Infrarot, abhängig vom Stoffeintrag bereits bei 0.8 oder erst bei 1.0 μm (LILLESAND & KIEFER 1994, S. 17-20).

Kapitel 5.4.1 verdeutlicht, daß sich wenig tiefgründiges und Algenwuchs aufweisendes Wasser durch eine multispektrale Klassifikation nicht von Klassen mit ähnlichen Grauwerten unterscheiden läßt, sondern erst mit Hilfe einer Texturanalyse, also einer umgebungsbezogenen Klassifikation eindeutig zu separieren ist.

Grüne Vegetation zum Beispiel absorbiert Chlorophyll in den Wellenlängenbereichen zwischen 0.45 und 0.67 μm stark. Beim Übergang vom sichtbaren zum nahen infraroten Bereich (ca. 0.7 μm) nimmt die Reflektanz der grünen Vegetation drastisch zu. Zwischen 0.7 und 1.3 μm reflektiert das Pflanzenblatt normalerweise 40 bis 50 % der Energie. Im daran anschließenden Wellenlängenbereich zwischen 0.7 und 1.3 μm resultiert die Pflanzenreflektanz aus der internen Struktur des Blattes, so daß hier Pflanzenarten unterschieden werden können und Pflanzenstreß untersucht werden kann. Ab

Auswertungsmethoden

Das technische Medium ist die digitale Bildverarbeitung. Neben Methoden zur Bildverbesserung und visuellen Bildinterpretation umfaßt sie die halbautomatische Auswertung des Materials. Diese Auswertung ist Teil der Arbeitsmethoden von Wissenschaftlern und Planern geworden, findet auf unterschiedlichen Maßstabsebenen ihren Einsatz in Raumplanung, Umweltschutz, Versorgungswirtschaft u.v.m. und ist Grundlage für die Erarbeitung und laufende Aktualisierung des flächenbezogenen Datenbestandes.

Bildverbesserung und visuelle Interpretation

Bildverbesserungen können durch Filterungen verschiedener Art vollzogen werden. Unter Filterungen wird die Umsetzung eines Eingabebildes in ein Ergebnisbild ohne Bildauswertung verstanden. Für Fehler oder sensorbedingte Schwächen gibt es Verfahren zur Verbesserung. Hierzu zählen beispielsweise:

- ♦ spektrale Bildverbesserungen z.B. durch Veränderung der Grauwertkurven und Histogramme, verschiedene Tiefpaß- und Hochpaß-Filterungen zum Entfernen von Störungen, Hauptkomponentenanalyse;
- ♦ räumliche Bildverbesserungen z.B. durch Filteroperationen (z.B. Kantenfilter zur Hervorhebung von Geländekanten, Häuserzeilen, etc.) oder durch Verschneidungsprodukte zweier Sensoren (z.B. Landsat-TM mit Spot panchromatisch, IRS-1C LISS mit IRS-1C panchromatisch, etc).

Aus der Vielzahl der möglichen räumlichen Bildverbesserungsverfahren sei hier anhand der Farabbildung "Satellitenbildkarte Leipzig mit angrenzenden Tagebauen Zwenkau und Espenhain" ein Beispiel vorgestellt: Zwei unterschiedliche Sensoren werden so miteinander verschnitten, daß zur Bildoptimierung die höhere geometrische Auflösung des einen Sensors (Spot) verknüpft wird mit der höheren spektralen Auflösung des anderen Sensors (Landsat). Um diese Rechenoperation durchführen zu können, werden drei Kanäle des multispektralen Bildes aus dem Farbraum Rot, Grün und Blau (R,G,B) in den Farbraum Farbintensität (I=Intensity), Farbfrequenz (H=Hue) und Farbsättigung (S=Saturation) transformiert. Da die spektrale Information in der Farbfrequenz enthalten ist, kann die Farbintensität durch die Information der höheren geometrischen Auflösung, also durch den panchromatischen Kanal von Spot, ersetzt werden. Danach wird das dreikanalige Bild wieder in den Farbraum Rot, Grün, Blau rücktransformiert, um das Bildprodukt in seiner Farbdarstellung nicht zu verändern. Dies ist eine der gängigen multisensoralen Bildverarbeitungsschritte, die eine höhere visuelle Bildqualität und somit eine bessere Interpretation ermöglichen (vgl. dazu auch Kap. 3.1.2).

In der dargestellten Farabbildung kann z.B. im Tagebau Zwenkau deutlich der Absetzer erkannt werden, ebenso die linienhafte Gebäudestruktur im Leipziger Stadtteil Grünau, große Ein- und Ausfallstraßen im gesamten Stadtbild, das Zentralstadion und der Hauptbahnhof mit seinem Gleiskörper.

Zur visuellen Interpretation werden alle Merkmale im Bild wie Farbe, Helligkeit, Textur, Muster, Form und Größe, Lage, Schatten, benutzt. Da bei dieser Interpretation nicht nur die einzelnen Bildelemente, sondern lokale und globale Informationen über das ganze Bild mit herangezogen werden, sind sehr weitgehende Aussagen sowohl über das Objekt als auch über die Funktion möglich. HEINZ (Kap. 3.1.2) diskutiert als Beispiel verschieden einzusetzender Fernerkundungsmethoden die Qualitäten von digitaler Visualisierung und Klassifikation und

kommt zu dem Schluß, daß in der visuellen Interpretation eine Fülle von Detailinformationen enthalten ist, die in der quantitativen Vorgehensweise einer digitalen Klassifikation verloren gehen.

Rechnergestützte Auswertungsverfahren

Neben der visuellen Auswertung von Satellitenbildern bietet sich als zweite Methode die rechnergestützte Klassifikation an. Die bisher häufig benutzten Klassifikationsverfahren werten meist nur die bildelementbezogene Information aus. Die in den einzelnen Bildelementen enthaltene Information muß eine eindeutige Zuordnung zu den Objekten gestatten, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erzielen. Bei den hier verwendeten Verfahren sind dies nur spektrale Merkmale, die Informationen über das Strahlungsverhalten einzelner Objekte enthalten. Es handelt sich um Reflexionsklassen der Landnutzung, und zwar als zusammenfassender Begriff für die Bedeckung von Bodenflächen und ihre Nutzung. Je nach Anteil der Vegetation werden beispielsweise Siedlungsbereiche abgegrenzt, wogegen landwirtschaftlich genutzte Flächen als Acker- oder Grünland bezeichnet werden.

Unter Verwendung von vorhandenen Erhebungsdaten und Satellitenfernerkundungsdaten wird z.B. die Veränderung der Landnutzung erfaßt. Sieht man vom Einfluß der Atmosphäre einmal ab, verändern Siedlungsflächen und Gewässer kaum ihre spektrale Signatur. Die mit Vegetation bedeckten Flächen unterliegen jedoch jahreszeitlichen Veränderungen. Bei der Auswertung muß daher der phänologische Zustand der Pflanzen zum Aufnahmezeitpunkt berücksichtigt werden (vgl. Kap. 5.2.2). Zur Verbesserung einer Klassifikation können die geometrische Überlagerung und die multispektrale Klassifikation der Datensätze verschiedener Satellitensensoren und deren Verknüpfung bzw. Verschneidung mit anderen Daten aus einem geographischen Informationssystem gehören. Dies ermöglicht flächendeckende Aussagen über eine Region oder über kleinräumige Gebiete. So verknüpfen LAUSCH & BELLMANN (Kap. 5.4.3) unterschiedliche Datenebenen, wie z.B. ein abgeleitetes Höhenmodell mit der Flächen-nutzung, um wichtige Schutzgebiete in der Tagebaufolgelandschaft ausweisen zu können.

Die rechnergestützten Klassifikationsverfahren lassen sich in zwei Gruppen, die überwachten und die unüberwachten, einteilen. Bei den *überwachten* Verfahren werden die einzelnen Bildelemente vorgegebenen Musterklassen zugeordnet. Um eine Klassifikation zu ermöglichen, müssen diese Musterklassen festgelegt und ihre Merkmale durch Referenzklassen (auch Test- oder Trainingsgebiete genannt) quantitativ beschrieben werden. Unüberwachte Klassifikationen erfordern im Prinzip keine Informationen über die Eigenschaften und Merkmale der Klassen. Daher liegen der Ausführung einer Klassifikation keine Trainingsgebiete zugrunde. Spektral ähnliche Bildelemente werden in entsprechende Klassen eingeordnet.

Klassifikationsgenauigkeit

Eine hundertprozentig richtige Zuweisung der Klassen für einen Bildausschnitt gibt es bislang nicht. Die natürliche Variation der spektralen Merkmale von verschiedenen Landnutzungs-klassen bestimmt entscheidend die Genauigkeit. Je unzureichender die Geländeinformationen vorliegen, desto problematischer ist die korrekte Zuweisung. Fehler können z.B. auftreten, wenn verschiedene Oberflächen mehr oder weniger gleiches spektrales Verhalten aufweisen oder homogen angesehene Oberflächen Anteile von signifikant verschiedenen Klassen enthalten, was zu dem als Mischpixel bezeichneten Phänomen führt. Abhängig ist die Genauigkeit der Zuordnung vor allem von der Bodenauflösung des Aufnahmesystems und von dem

Reflexionsverhalten der jeweiligen Erdoberfläche/Nutzungsart. Überprüft werden sollte die Klassifikationsgenauigkeit sowohl visuell als auch über vorhandene statistische Kontrollverfahren (vgl. BÄHR & VÖGTLE 1991, S. 170 ff). So weisen die in den folgenden Kapiteln vorgestellten Klassifikationen Genauigkeiten zwischen ca. 74 % und 90 % auf, wobei die qualitative Güte dieser Klassifikationen nicht von der statistischen Wertigkeit allein abhängt. Aus diesem Grund werden kleinräumige Fehlzusweisungen diskutiert, die eine Nachbearbeitung der Daten erforderlich machen, auch wenn die quantitative Güte zufriedenstellend ist.

Deshalb stellt sich gerade bei Landnutzungsklassifikationen, die eine wesentliche raumbezogene Information über ein Gebiet geben, die Frage nach der flächengenauen Abbildung der repräsentierten Landnutzungstypen. Da das multispektrale Klassifikationsverfahren auf Wahrscheinlichkeitsrechnungen basiert, muß es an Genauigkeitsgrenzen stoßen, die in der Methode begründet sind. Gegenwärtig wird zwar von verschiedenen Forschungsgruppen an der Entwicklung von objektorientierten Verfahren gearbeitet, die besonders für die Auswertung der mit neuen Sensoren und verbesserter räumlicher Auflösung gewonnenen Aufnahmen benötigt werden. Es ist jedoch frühestens in fünf bis zehn Jahren mit der Operationalisierung dieser Verfahren zu rechnen. Bis dahin muß die Spektralklassifikation weiter verbessert werden, z.B. durch Texturanalyse als umgebungsbezogene Klassifikation (Kap. 5.4.1), wissensbasierte Bildverarbeitung, Sub-Pixel-Klassifikation, spektrale Entmischung u.a., oder durch die Einbeziehung von Fuzzy-Set Methoden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß die digitale Bildverarbeitung von Ratiobildungen, beispielsweise der Bestimmung des Vegetationsindizes durch Nutzung des unterschiedlichen Reflexionsverhaltens der Vegetation im sichtbaren Rot und nahen Infrarot über die Ableitung der Oberflächentemperatur aus dem thermalen Infrarot hin zur Erstellung und Auswertung von Landnutzungsklassifikationen reicht, um nur einige Anwendungen zu nennen, die in den anschließenden Kapiteln vorgestellt werden. Darüberhinaus kann eine Reihe weiterer landschaftsökologischer Einflußgrößen, wie z.B. Globalstrahlung, Klimatope, etc. aus Fernerkundungsdaten abgeleitet werden. Die in diesem UFZ-Bericht vorgestellten Methoden vermögen nur einen Teil der Anwendungsmöglichkeiten zu beschreiben. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der satellitenbildgestützten Fernerkundung.

Literatur

- ALBERTZ, J. (1991): Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. - Darmstadt.
- BÄHR, H.-P. & T. VÖGTLE (Hg.) (1991): Digitale Bildverarbeitung. - Karlsruhe.
- BANZHAF, E. (1994): Die Regionalisierung der Wärmebelastung in Mainfranken anhand von Geofaktoren. - Dissertation. Freiburger Geographische Hefte 43.
- JÜRGENS, K. (1996): Neue Erdbeobachtungs-Satelliten liefern hochauflösende Bilddaten für GIS-Anwendungen. - In: Geo-Informationssysteme Vol. 9, No. 6, S. 8-11.
- KRAMER, H.J. (1996): Observation of the Earth and Its Environment. Survey of Missions and Sensors. - 3rd enlarged Edition, Berlin.
- LILLESAND, T. M. & R. W. KIEFER (1994): Remote Sensing and Image Interpretation. - 3rd Edition. New York.
- LÖFFLER, E. (1994): Geographie und Fernerkundung. - 2. neubearb. und erw. Auflage, Teubner Studienbücher.
- STEINHARDT, U. (1994): Nutzflächentypen - ihre Verknüpfung mit Naturraumtypen unter Einbeziehung von Fernerkundungsdaten. - In: Barsch, H. & G. Saupe (Hg.): Bewertung und Gestaltung der naturnahen Landschaft in Schutzgebieten, Erholungs- und Freizeitgebieten. Teil 1. Potsdam. S. 30-33.
- WIENEKE, F. (1988): Satellitenbilddauswertung - Methodische Grundlagen und ausgewählte Beispiele. - Münchner Geographische Abhandlungen, Reihe A, Bd. A 38. - München.

Satellitenbildkarte Leipzig
mit angrenzenden Tagebauen
Zwenkau und Espenhain

Maßstab 1 : 80 000



Legende

Spektrale Information und Farbzurweisung:

Kanal 4 (nahes Infrarot): rot
Kanal 5 (mittleres Infrarot): grün
Kanal 3 (roter Bereich des sichtbaren Lichtes): blau

In dieser Kombination werden Vegetationsflächen (hoher Chlorophyllgehalt) in Rot-Tönen, vegetationslose Flächen in Türkis-Tönen und Siedlungen in dunklen Blau-Tönen wiedergegeben.

Datenquelle

Satellit:	Landsat-5-TM	SPOT Pan
Aufnahmedatum:	21.07.1994	16.05.1994
Bodenauflösung:	30 m x 30 m	10 m x 10 m

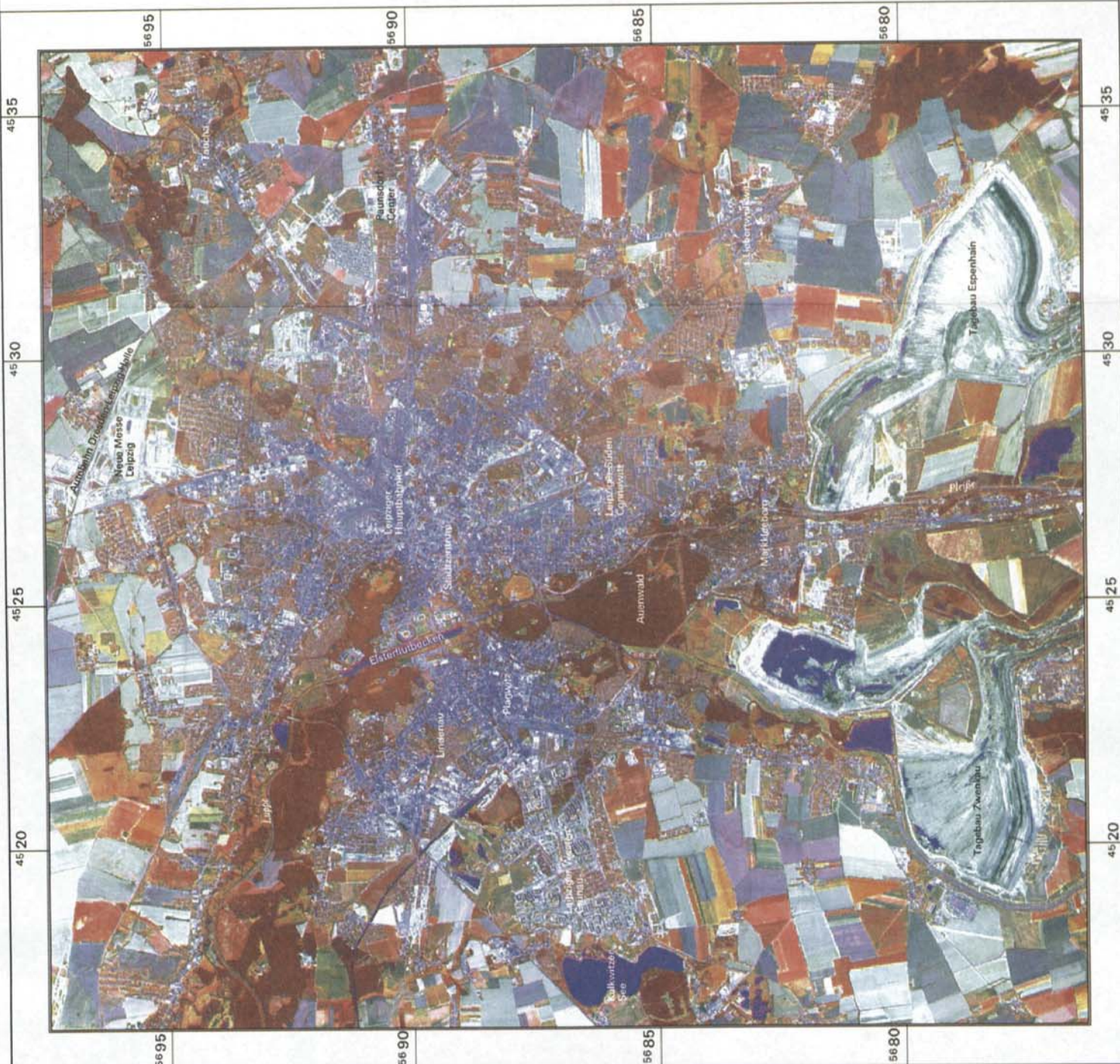
Datenbearbeitung

Geometrische Entzerrung: 160 Paßpunkte,
mit Polynom 1. Ordnung
TK 25 (N)
Entzerrungsgrundlage:
Resampling: Nearest Neighbour / 10 m
RMS: 0.32
Modifizierung: Überlagerung der Satellitenbilder
durch RGB - IHS Transformation
ERDAS-Image 8.2
Programm:

Bearbeitung: E. Banzhaf
W. Koch
V. Konrad
U. Steinhardt

Kartographie: R. Thamm

UFZ Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH



**Erfassung und Auswertung
der Landnutzung und ihrer Veränderungen
mit Methoden der Fernerkundung
und geographischen Informationssystemen
im Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld**

Herausgeber

Ellen Banzhaf¹ und Hans Dieter Kasperidus²

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

¹ Sektion Angewandte Landschaftsökologie

² Arbeitsgruppe Regionale Zukunftsmodelle

Leipzig, Januar 1998