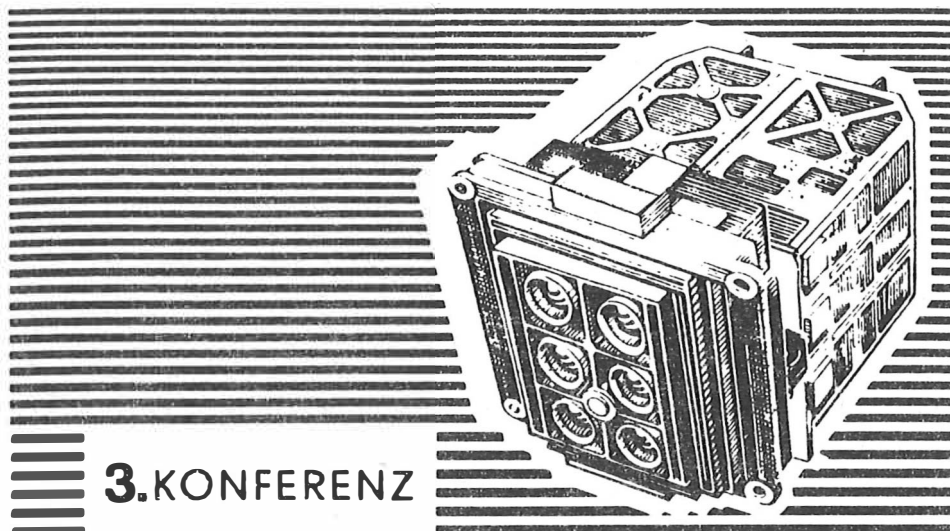


AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN DER DDR
Forschungsbereich Geo- und Kosmoswissenschaften
ZENTRALINSTITUT FÜR PHYSIK DER ERDE

Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde
Nr. 82



3. KONFERENZ

FERNERKUNDUNG

Stand und Entwicklungstendenzen

Leipzig, 5. - 7. Dezember 1984

Fernerkundung in Geographie und Territorialplanung

Beiträge zur Konferenz

Wissenschaftliche Redaktion: Prof. Dr. sc. R. Krönert, Prof. Dr. sc. K.-H. Marek
Technische Bearbeitung: B. Arndt, K. Breitfeld, U. Liebig

Herausgeber: Der Direktor des Zentralinstituts für Physik der Erde Potsdam

Als Manuskript gedruckt Potsdam 1986

I n h a l t s v e r z e i c h n i s

	<u>Seite</u>
MAREK, K.-H.; KRÜNERT, R.: Vorwort	4
<u>METHODISCHE GRUNDLAGEN DER FERNERKUNDUNG</u>	
MAREK, K.-H.: Zu Stand und Entwicklungstendenzen der Geofernerkundung in der DDR	6
KRÜNERT, R.: Nutzung von Daten der Fernerkundung in der Geographie	12
VASIL'EV, L. N.: Die Entwicklung von quantitativen Methoden der kosmischen Erderkundung	21
VAHALA, V.: Gegenwärtiger Stand und Entwicklungsperspektiven der Fernerkundung der Erde im Geographischen Institut der ČSAV	29
KVITKOVIČ, J.; FERANEC, J.: Fernerkundung in der tschechoslowakischen Geographie	34
TÓTH, K.: Überblick über die Fernerkundungstätigkeit im Institut für Geodäsie und Kartographie Budapest	38
STAMS, W.; ZIMMERMANN, G.: Einsatz der Geofernerkundung in der Atlaskartographie	42
<u>PRAXISRELEVANTE GEOGRAPHISCHE INTERPRETATION VON FERNERKUNDUNGSDATEN</u>	
SCHMIDT, I.; HILLMANN, S.; USBECK, B.: Nutzungsmöglichkeiten multispektraler Luftbilder für die Generalbebauungsplanung an den Beispielen Wohnbebauung und Freiflächen	46
STOYE, H.; GOLZSCH, G.: Nutzungsmöglichkeiten multispektraler Flugzeugaufnahmen für die territoriale Rationalisierung der Produktion	54
BLAUROCK, K.-H.; BREITFELD, B.; RÜSNER, W.: Nutzungsmöglichkeiten multispektraler Flugzeugaufnahmen für die Erfassung von Veränderungen der Flächennutzung	58
BARTHEL, H.: Einsatzmöglichkeiten von Luftaufnahmen bei Siedlungskartierungen	65
DUVINAGE, P.: Elementarschlüssel als ein Mittel der Aufbereitung von Flugzeugaufnahmen für die Siedlungskartierung	68
JÄNKEL, R.; ZINKE, G.: Die Erfassung des Unstruthochwassers vom März 1981 mittels Luftbildern	72
SCHILBACH, G.; WIRTH, H.: Erfahrungen bei der rechnergestützten Analyse von Fernerkundungsdaten (DFE)	81
GESCHKE, A.: Die hierarchische Mehrstufenklassifikation	90
HENGELHAUPT, U.: Zu einigen Grundfragen bei der rechnergestützten Interpretation kosmischer Multispektraldaten zur Analyse der Flächennutzung	100
HENKER, S.: Ableitung planungsrelevanter Flächennutzungsinformation aus digital-automatisch dechiffrierten kosmischen Multispektraldaten	106
<u>FERNERKUNDUNG ALS METHODE DER LANDSCHAFTSANALYSE</u>	
KUGLER, H.: Lösungsansätze und Probleme der physisch-geographischen Landschaftsforschung mit Fernerkundungsdaten	110
BARSCHE, H.; KADEN, K.; WIRTH, H.: Zur Aussagekraft kosmischer Fernerkundungsdaten für die Landschaftsdiagnose im Tiefland der DDR	120
WEISE, K.: Methoden der Grundlagenforschung und praktische Verfahren zur Anwendung der Fernerkundung in der Landwirtschaft	132

	<u>Seite</u>
SCHRÖDER, H.: Abbildungsverhalten bodenerosiv differenzierter Lößböden des mitteleuropäischen Hügellandes in multispektralen Luftbildern	140
GLASSER, C.: Grundlagen und Beispiele der Abbildung von Böden in multispektralen Luftbildern	147
VILLWOCK, G.: Luftbildgestützte Erfassung der standörtlichen Heterogenität landwirtschaftlicher Nutzflächen und deren Darstellung in Betriebskarten	151
BILLWITZ, K.: Bodanheterogenität und Bodenverlagerungsprozesse im Jungmoränengebiet und ihre Interpretation anhand von Luftbildern	160
BARANOWSKA, T.: Bewertung der Wassertransparenz in Küstengewässern der Ostsee auf der Grundlage von multispektralen und multitemporalen Satellitenbildern	167
SLOBODDA, S.: Vegetationsformen der Boddenschilfröhrichte und ihre Identifikation auf Luftbildern	173
KALLWEIT, D.: Differenzierung und Klassifizierung von Waldmassiven im Rahmen der Umweltüberwachung	182
 <u>ENTWICKLUNGSTENDENZEN DER GEOFERNERKUNDUNG</u>	
BRÖLKE, B.: Grundzüge einer Rahmentechnologie zur Herstellung von Flächennutzungskarten nach Daten der Geofernerkundung	189
GARTNER, W.; SCHUBERT, L.: Überführung von dechiffrierten Daten der Fernerkundung (DFE) in einen digitalen geographischen Datenspeicher	195
BARSCH, H.; MAREK, K.-H.; SÖLLNER, R.; WEICHEL, H.: Untersuchungen spektraler Charakteristiken natürlicher Objekte auf Testgebieten in der DDR	201
SÖLLNER, R.; SIEBERT, R.; SCHMIDT, K.: Zur Extraktion von Textur- und Strukturmerkmalen in Fernerkundungsdaten	208
Autorenverzeichnis	219

V o r w o r t

Die in 1- bis 2-jährigem Abstand mit internationaler Beteiligung stattfindenden wissenschaftlichen Fernerkundungskonferenzen der DDR haben die Diskussion von

Stand und Entwicklungstendenzen der Fernerkundung

für unterschiedliche thematische Arbeitsrichtungen zum Inhalt. Sie werden von der zentralen Arbeitsgruppe "Naturwissenschaftliche Grundlagen der Geofernerkundung" (AG NGF) der wissenschaftlichen Räte für die Forschungsprogramme Geo- und Kosmoswissenschaften und Biowissenschaften und einer der jeweiligen thematischen Arbeitsrichtung entsprechenden wissenschaftlichen Gesellschaft der DDR getragen. So wurde bekanntlich die 2. Konferenz zur Thematik "Photogrammetrie und Fernerkundung" von der AG NGF und der Wissenschaftlich-technischen Gesellschaft für Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie der DDR im Jahre 1982 in Weimar veranstaltet.

Die 3. Konferenz war der Thematik

Fernerkundung in Geographie und Territorialplanung

gewidmet. Veranstalter waren die AG NGF (Leiteinrichtung: Zentralinstitut für Physik der Erde der AdW) und die Geographische Gesellschaft der DDR (in Zusammenarbeit mit dem Institut für Geographie und Geoökologie der AdW). Der inhaltliche Schwerpunkt der Veranstaltung war neben methodischen Grundlagen und Entwicklungen der Geofernerkundung, diesmal insbesondere orientiert auf prexisrelevante geographische Interpretationen von Fernerkundungsdaten, speziell unter Berücksichtigung der Flächennutzung von Siedlungen, Territorien und ausgewählten Komponenten der Landschaft. Mit dieser Thematik sollten weitere Impulse für die volkswirtschaftliche Nutzenanwendung der Fernerkundung in der DDR - speziell auf dem Gebiet der Territorialplanung - gegeben werden.

An der Veranstaltung im Brühlzentrum Leipzig haben insgesamt 160 Kollegen aus 6 Ländern (VR Ungarn, DDR, VR Polen, UdSSR, BRD, CSSR), darunter der Präsident der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (ISPRS), Prof. Dr.-Ing. h. c. G. Konecny, Universität Hannover, teilgenommen. Aus der DDR waren Vertreter von Wissenschaft und Praxis aus 45 Institutionen anwesend, u. a. aus Einrichtungen der Territorialplanung, Umweltforschung und -gestaltung, Landschaftsforschung, Landwirtschaft, des Städtebaus, der Kartographie und der Geologie sowie aus Forschungseinrichtungen der Akademie der Wissenschaften und des Hoch- und Fachschulwesens.

Insgesamt wurden fast 40 Vorträge zu den Themenkomplexen

- Methodische Grundlagen der Geofernerkundung,
- Geographische Interpretation von Fernerkundungsdaten,
- Fernerkundung als Methode der Landschaftsanalyse und
- Entwicklungstendenzen der Geofernerkundung

gehalten.

Die Veranstaltung vermittelte wiederum einen repräsentativen Eindruck vom gegenwärtigen, in der DDR erreichten Entwicklungsstand bei der Nutzung von Fernerkundungsdaten, speziell in der Praxis der Geographie und Territorialplanung. Gegenüber der 2. Konferenz konnte neben einer spürbaren Weiterentwicklung der Auswertemethoden und -technologien, vor allem bedingt durch den Beginn der umfassenderen Nutzung digitaler Techniken, eine erhebliche Erweiterung des Anwendungsspektrums und eine Steigerung der Effektivität bei der Nutzung von Fernerkundungsdaten, besonders durch deren weitere Integration in die fachspezifischen Informationsprozesse und -systeme, festgestellt werden. Wie in anderen Anwendungsbereichen der Fernerkundung wurde auch für die Geographie und Territorialplanung als perspektivische

Grundtendenz die Weiterentwicklung praktikabler nutzeradäquater Anwendungstechnologien durch weitere Verflechtung von Fernerkundung, digitaler Bildverarbeitung und automatisierter Kartographie bestätigt.

Der vorliegende Band enthält die eingereichten Beiträge dieser Fernerkundungskonferenz.

Es ist vorgesehen, die 4. DDR-Fernerkundungskonferenz im Jahre 1986 zur Thematik "Fernerkundung der Erde und anderer Himmelskörper" als gemeinsame Veranstaltung von AG Naturwissenschaftliche Grundlagen der Geofernerkundung und Gesellschaft für Welt- raumforschung und Raumfahrt der DDR durchzuführen.

K.-H. Marek

R. Krönert

Zu Stand und Entwicklungstendenzen der Geofernerkundung in der DDR

K.-H. MAREK

1. Allgemeines

Die Geofernerkundung als Methode zur Gewinnung territorialbezogener Informationen ("Geoinformationen") durchläuft in der DDR mehrere Entwicklungsphasen, die durch die jeweiligen wissenschaftlichen Hauptaufgaben bestimmt werden. So bildete die Entwicklung der grundlegenden Methoden und Technologien zur visuellen Auswertung multispektraler Fernerkundungsdaten den Hauptinhalt der methodischen Forschungen im Zeitraum 1976-1980. Die 1. DDR-Fernerkundungskonferenz (Karl-Marx-Stadt 1981) hatte diese Aufgabe als prinzipiell gelöst angesehen und für die 2. Phase als wissenschaftliche Hauptaufgabe die Schaffung der theoretischen Grundlagen und Methoden für eine naturwissenschaftlich begründete rechnergestützte Interpretation und Nutzung von Fernerkundungsdaten definiert /1/.

Seit der 2. Fernerkundungskonferenz (Weimar 1982) wurden dabei in der DDR eine Reihe bemerkenswerter Ergebnisse erreicht, die auch den internationalen Entwicklungen entsprechen und gleichzeitig wesentliche Voraussetzungen für die künftigen Arbeiten bilden. Letztere sind gekennzeichnet durch die intensivere Einbeziehung von Fernerkundungsdaten in Problemstellungen der geowissenschaftlichen Informatikforschung - insbesondere durch Entwicklungen zur automatisierten (digitalen) Kartographie und zu räumlichen Datenbanken und Informationssystemen. Diese Aufgabe stellt offensichtlich den inhaltlichen Schwerpunkt einer weiteren Entwicklungsphase der Geofernerkundung dar, die gegenwärtig an ihrem Anfang steht /2/.

2. Zum Entwicklungsstand in der DDR

Die in den verschiedenen gesellschaftlichen Bereichen erreichten Fortschritte auf dem Gebiet der Geofernerkundung werden u. a. an folgenden, seit der 2. Fernerkundungskonferenz erzielten Ergebnissen sichtbar:

e) auf dem Gebiet der Datengewinnung:

- routinemäßige Bereitstellung von Fernerkundungsdaten im visuellen (VIS) und z. T. im infraroten (IR) Bereich für die Volkswirtschaft durch den seit Anfang 1983 voll einsatzfähigen Betrieb Fernerkundung, Industrie- und Forschungsflug der INTERFLUC, insbesondere mit Hilfe der neuen speziellen Fernerkundungsflugzeuge L-410,
- Erhalt kosmischer MSS-Daten aus den sowjetischen Systemen METEOR und FRAGMENT sowie kosmischer Photoaufnahmen (panchromatische KATE-Aufnahmen, multispektrale MKF-6-Aufnahmen, Color-Kleinbildaufnahmen) des DDR-Territoriums aus der Orbitalstation SALUT-7 mit weiterhin ausgeprägt experimentellem Charakter,
- Verfügbarkeit einer neuen Generation von Kameras zur Luftbildaufnahme (LMK, MSK 4) aus dem Kombinat VEB Carl Zeiss JENA,
- Bereitstellung von Methodik, Technologie und meßtechnischer Basis zur routinemäßigen Gewinnung objektspezifischer Bodenreferenzdaten, insbesondere spektraler Remissionscharakteristiken natürlicher Objekte im VIS und IR in EDV-kompatibler Form, mit dem mobilen Bodenmeßkomplex BMK des ZIPE,
- Weiterentwicklung des Verfahrens der visuell-instrumentellen Erderkundung zur Gewinnung operativer Informationen von Bord der sowjetischen Langzeit-Orbitalstationen SALUT.

b) auf dem Gebiet der Datenbearbeitung und -auswertung:

- Serien-Produktion eines kompletten Gerätesystems des Kombinats VEB Carl Zeiss JENA zur analog-optischen Bearbeitung und eines Bildverarbeitungssystems des VEB Kombinat Robotron zur digitalen Bearbeitung von Fernerkundungsdaten,

- Fortschritte bei der Entwicklung von Methoden und anwendungsbezogener Software zur interaktiven thematischen Analyse von Fernerkundungsdaten, u. a. zur Kombination der konventionellen visuellen Fotointerpretation mit Verfahren der digitalen Bildverarbeitung und der rechnergestützten Objektklassifizierung multispektraler photographischer und Scannerdaten,
- Vertiefung des physikalisch-mathematischen Grundlagenwissens zur Beschreibung von Art und Zustand der natürlichen Objekte mit formalisierbaren, aus Fernerkundungsdaten ableitbaren Maßen (spektrale Remission, geometrische Struktur/Textur) und zur komplexen Erforschung physikalischer Parameter von Atmosphäre und Ozean.

c) auf dem Gebiet der Nutzung von Fernerkundungsdaten:

- weitgehende technologische Beherrschung der entwickelten Methoden, technischen Mittel und der Fernerkundungs- sowie Bodenreferenzdaten, vor allem im VIS und NIR, in den direkt betroffenen volkswirtschaftlichen Nutzerbereichen sowie Gewinnung entsprechender Erfahrungen,
- systematische Einbeziehung von Fernerkundungsdaten in die regionale geologische Kartierung und Optimierung der geologischen Erkundungsprozesse in Kombination mit traditionellen geowissenschaftlichen Informationen,
- Nachweis der Nutzbarkeit von Multispektralaufnahmen durch experimentelle Anwendungen in der Kartographie (Aktualisierung von thematischen Karten 1 : 100 000 ... 1 : 50 000 aus MKF-6-Kosmosaufnahmen, großmaßstäbige Schorrekartierung aus Luftaufnahmen u. a.) sowie der Landwirtschaft (Kontrolle des Vitalitätszustandes bzw. der Biomasseentwicklung mit operativen Verfahren),
- Vertiefung der Grundlagen und Entwicklung von Methoden zur Einbeziehung von Fernerkundungsdaten in die Lösung konkreter Aufgabenstellungen in Umweltschutz und Territorialplanung, bei der Entwicklung eines geographischen Datenspeichers, in der Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft und Meeresforschung,
- Entwicklung methodischer Grundlagen und einer Verfahrenskette zur Bearbeitung kosmischer MSS-Daten einschließlich Erprobung für die nachfolgende analog-visuelle und digitale Auswertung sowie Entwicklung einer Rahmentechnologie zur rechnergestützten Ableitung von Flächennutzungskarten.

d) auf dem Gebiet der Wissenschaftsorganisation, der internationalen Kooperation und der Aus- und Weiterbildung:

- vielfältige Aktivitäten zur gesamtstaatlichen Koordinierung bei der Nutzung von Fernerkundungsdaten in den Volkswirtschaftszweigen der DDR durch den Bereich des staatlichen Vermessungs- und Kartenwesens auf der Basis einer gesamtstaatlichen Konzeption für den Zeitraum bis 1990,
- weitere inhaltliche Profilierung der Zusammenarbeit mit der UdSSR auf dem Gebiet der Erforschung der Naturressourcen im Rahmen zwischenstaatlicher Abkommen und Vereinbarungen,
- Vertiefung der Kooperationsbeziehungen mit wissenschaftlichen Einrichtungen der sozialistischen Länder im Rahmen des INTERKOSMOS-Programms bei der gemeinsamen Entwicklung technischer Mittel, Methoden und thematischer Applikationen von Fernerkundungsdaten sowie bei der Durchführung gemeinsamer Kosmosexperimente,
- Übernahme der Interkommissions-Arbeitsgruppe "Optisch-fotografische Geräte und Verfahren der Fernerkundung" der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (ISPRS) durch die DDR,

- Bildung des Fachbereiches Fernerkundung der Gesellschaft für Weltraumforschung und Raumfahrt (GWR) der DDR und des Fachausschusses "Interpretation von Fernerkundungsdaten" in der Wissenschaftlich-technischen Gesellschaft für Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie der DDR, welche die Aktivitäten der zentralen Arbeitsgruppe "Naturwissenschaftliche Grundlagen der Geofernerkundung" (AG NGF) bei der AdW und der disziplinären Arbeitsgremien in spezifischer Form ergänzen,
- Beginn des Aufbaus eines Zentrums für Aus- und Weiterbildung und Forschung (ZAWF) auf dem Gebiet der Geofernerkundung an der Technischen Universität Dresden und Einführung der Geofernerkundung in die Hochschul-Aus- und Weiterbildung in etwa 15 Fachrichtungen,
- Herausgabe des Methodenwerkes "Atlas zur Interpretation multispektraler aerokosmischer Aufnahmen" in deutscher, russischer und englischer Sprache, einer 17 Hefte umfassenden Lehrbriefreihe zur Geofernerkundung, des Buches "Fotografische Fernerkundung der Erde" u. a. Fachpublikationen.

Diese Ergebnisse zeigen, daß in der DDR in den vergangenen zwei Jahren insbesondere

- . eine weitere Vervollkommnung der Methodik und der Technologie zur Datengewinnung und -auswertung, insbesondere im Hinblick auf die künftige Automatisierung bei der Ableitung und kartographischen Darstellung von Fernerkundungsdaten,
- . eine Weiterentwicklung bei der Einbeziehung von Fernerkundungsdaten in die bestehenden fachspezifischen Datenspeicher und damit ein erster Schritt beim Aufbau und der Vervollkommnung thematischer Informationssysteme der Nutzerbereiche bzw. komplexer Geoinformationssysteme sowie
- . eine weitere Vervollkommnung der Organisationsformen, der Forschungspotentiale und der interdisziplinären Zusammenarbeit der verschiedenen gesellschaftlichen Bereiche bei der Auswertung und experimentellen Nutzung von Fernerkundungsdaten

erfolgt sind. Auf Teilgebieten der methodischen Forschungen (Texturanalyse, Methodik der geologischen Interpretation, Methodik der visuell-instrumentellen Erderkundung) und des Gerätebaus repräsentieren die erreichten Ergebnisse führendes internationales Niveau.

Die visuelle Bildinterpretation stellt noch immer die bestimmende Auswertemethode dar. Die interaktive Auswertung befindet sich im Erprobungsstadium; wobei international eine weitgehend automatische Gewinnung von stofflichen und Zustandsaussagen zu natürlichen Objekten der Erdoberfläche aus Fernerkundungsdaten bis etwa 1990 erwartet wird.

Einer weiteren Vervollkommnung bedarf in der Praxis die routinemäßige, operative Bereitstellung kosmischer Fernerkundungsdaten mit der erforderlichen Auflösung, insbesondere von Bilddaten im thermischen Infrarot und im Mikrowellenbereich. Anwendungsbereite Auswertetechnologien für thermische und Radaraufnahmen sind in der erforderlichen Weise bisher nur in den Anfängen entwickelt. Die Optimierung der ökonomischen Probleme bei der Nutzung von Fernerkundungsdaten steht für die meisten Anwendungsgebiete ebenfalls noch aus. Dabei ist von der Einschätzung des Rationalisierungseffekts auszugehen, der bei der Ableitung des gesellschaftlich relevanten fachspezifischen Ergebnisses durch die Einbeziehung von Fernerkundungsdaten erzielt wurde.

3. Einige internationale Entwicklungen

Vertreter wissenschaftlicher Einrichtungen der DDR haben im Jahre 1984 mit spezifischen Beiträgen u. a. an folgenden größeren internationalen Veranstaltungen teilgenommen, die Fragen der Geofernerkundung zum Inhalt hatten:

- XV. Kongreß der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung ISPRS (Rio de Janeiro, Juni 1984),

- 25. Generalversammlung des COSPAR (Graz, Juni 1984),
- X. Jahrestag der INTERKOSMOS-Arbeitsgruppe Fernerkundung (Ulan Bator, Juni 1984),
- 25. Internationaler Geographen-Kongreß (Paris, August 1984),
- 27. Internationaler Geologen-Kongreß (Moskau, August 1984),
- 35. Kongreß der Internationalen Astronautischen Föderation IAF (Lausanne, Oktober 1984).

Diese Kongresse ließen einige grundlegende Entwicklungen der Geofernerkundung, insbesondere bezüglich ihrer Beziehungen zur Informatikforschung, erkennen. Dazu gehören u. a. die folgenden Aspekte:

e) Ebenso wie unter 2.c) für die DDR festgestellt, erfolgt auch international die Einbeziehung der Fernerkundungsdaten in fachspezifische Informationssysteme in unterschiedlichem Maße. Wenn auch auf Teilgebieten (z. B. Geologie) bereits eine Routinenutzung der Fernerkundungsdaten im Prozeß der komplexen geowissenschaftlichen Informationsverarbeitung praktiziert wird, befindet sich die Fernerkundung doch gegenwärtig noch weitgehend in einer Experimentalphase. Die auf einigen Gebieten international feststellbare Verlangsamung des Entwicklungstempos bei der umfassenden Einführung der Fernerkundungsdaten in die fachspezifischen Informationsprozesse ist offensichtlich nur durch Intensivierung der Anwendungsforschung in den jeweiligen Nutzerbereichen zu überwinden.

b) In mit der DDR vergleichbaren Ländern erfolgt die Nutzung der Fernerkundungsdaten vorwiegend für

- die Kartenaktualisierung (-laufendhaltung), wobei durch die erforderliche Kombination von Kosmosaufnahmen, Luftbildern und digitalen Karten ein Zwang zur Automatisierung der kartographischen Prozesse erkennbar wird, und
- den Aufbau digitaler (räumlicher) Geo-Datenbanken und -informationssysteme.

Die zunehmend engere Verflechtung der Geofernerkundung mit der rechnergestützten Kartographie und den digitalen Geoinformationssystemen ist offensichtlich. Die Entwicklung automatisierter kartographischer Technologien und von Geodatenspeichern/banken kann dabei als Bestandteil der Entwicklung solcher Geoinformationssysteme angesehen werden.

c) Da sich mit Hilfe digitaler Geoinformationssysteme bekanntlich alle metrischen und semantischen (thematischen) Informationen, die ein Kartennutzer wünscht und benötigt, auf einem Display darstellen lassen, bleiben territorial bezogene Daten (Geodaten) für die praktische Nutzung nicht auf kartographische Druckerzeugnisse beschränkt. Dennoch muß angenommen werden, daß für die nahe Zukunft die Karte in der Praxis der Hauptträger von Geoinformationen bleibt.

Bisher sind in den relevanten Kartierungen 1 : 50 000 ... 1 : 100 000 erst 42 % der gesamten Landfläche der Erde erfaßt (Abb. 1), die Fortschritte in den letzten Jahren betragen nach UNO-Statistiken lediglich 0,35 %/Jahr. Wegen unzureichender Laufendhaltung sind darüber hinaus etwa 50 % der im Weltmaßstab hergestellten topographischen Karten nur noch bedingt verwendungsfähig. Nach den weltweit gesammelten Erfahrungen der letzten Jahre sind die Methoden der Satelliten-Fernerkundung prinzipiell in der Lage, die mit den vorhandenen Techniken bisher nicht lösbareren ökonomischen Probleme bei der Kartenherstellung und -laufendhaltung zu überwinden.

d) Die bisher vorrangig auf planimetrische (zweidimensionale) Darstellungen der Erdoberfläche orientierte Satellitenkartographie wird durch dreidimensionale Kartierungen, speziell in digitaler Form, ergänzt. Eine neue Generation von Satelliten befindet sich dazu in Vorbereitung. Die Genauigkeit der ableitbaren (relativen) Höheninformationen wird dabei in der Größe der Pixeldimension erwartet.

e) Die technischen Entwicklungen werden auf allen Etappen der Fernerkundungstechnologie mit hohem Tempo weitergeführt. Die berechtigten Nutzerforderungen nach Aktualität der Daten-

bestände und damit nach höherer Operativität beim Datenzugriff sowie nach höherer Detaillierbarkeit (geometrische und radiometrische Auflösung) verlangen eine selektive Datengewinnung bzw. An-Bord-Verarbeitung der Daten sowie automatische Auswert- und Darstellungsverfahren. Der vom Endnutzer geforderte höhere Informationsgehalt dieser Daten verlangt eine Kombination der Fernerkundungsdaten mit anderen Geodaten (einschließlich digitaler Karteninformationen, digitaler Höhenmodelle) und damit die Einbeziehung von Methoden der digitalen Bildbearbeitung, der Computergraphik, informationstheoretischer Methoden und die Schaffung automatischer kartographischer Systeme.

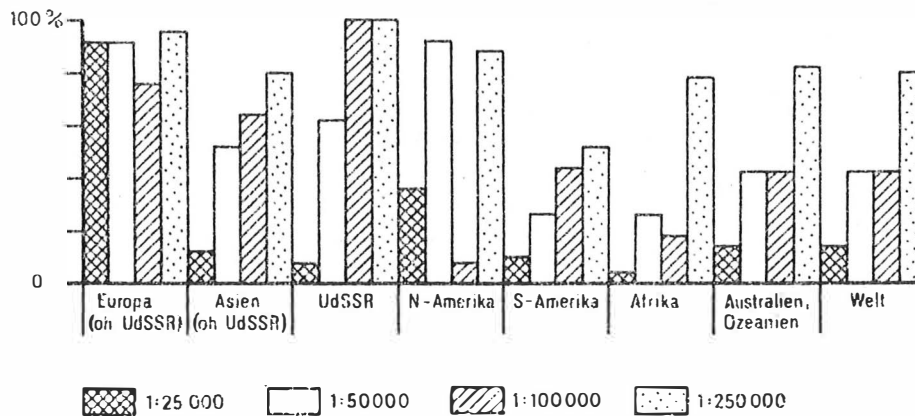


Abb. 1 Stand der großmaßstäbigen Kartierung 1980 (nach /3/)

4. Bemerkungen zum Inhalt künftiger Forschungsarbeiten

Die Aussagen zum Entwicklungsstand der Fernerkundung in der DDR und die erkennbaren internationalen Tendenzen zeigen, daß unter den konkreten Bedingungen der DDR der Hauptinhalt der künftigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten offensichtlich primär bestimmt werden sollte durch

- die weitere Verflechtung von Fernerkundung, Photogrammetrie/Kartographie und digitaler Bildverarbeitung, speziell die weitgehende Automatisierung der Dateninterpretation (quantitative stoffliche Zustandserkennung natürlicher Objekte), Datenspeicherung und kartographischen Darstellung (Entwicklung kartographisch orientierter Bildverarbeitungsprozesse),
- die Entwicklung weiterer praktikabler nutzeradäquater Anwendungstechnologien und die Nutzbarmachung der Fernerkundungsdaten durch weitere Integration in fachspezifische und territoriale Informationsprozesse und
- die Schaffung von methodischem Vorlauf für perspektivische neuartige Gerätelösungen.

Dabei werden die Schwerpunkte sowohl naturwissenschaftliche Grundlagenforschungen, u. a. zur Formalisierung, stofflichen Objekterkennung, Generalisierung, Kombination von Multidaten usw., als auch technologische Forschungen zur Digitalanalyse, zur Automatisierung kartographischer Prozesse, zu Geoinformationssystemen und volkswirtschaftlich relevanten Applikationen beinhalten.

Die Fernerkundung wird in jüngster Zeit immer enger im Zusammenhang mit speziellen geowissenschaftlichen Aspekten der Informatikforschung ("Geoinformatik") betrachtet. Tatsächlich sind die zur Bearbeitung von Fernerkundungsdaten entwickelten Konzepte und Systeme auch auf andere Arten von Geodaten erweiterbar und die Bearbeitung solcher Geodaten (in Rasterform) kann als eine natürliche Weiterentwicklung der automatischen Bearbeitung von

Fernerkundungsdaten angesehen werden. Auch die Entwicklungen zur Automatisierung der Kartographie und zu Geodatenbanken stellen wichtige Beiträge auf dem Gebiet der Geoinformatik-Forschung dar. Man erkennt, daß unter diesem Aspekt z. B. das gesamte Kartenwesen als ein Bestandteil der (künftig digitalen) Geoinformationssysteme eingeordnet werden kann. Eine Variante der komplexen Wechselbeziehungen zwischen Fernerkundungs- und anderen Geodaten sowie digitaler Bildverarbeitung und automatisierter Kartographie im System der Entwicklungsphasen der Geofern erkundung (vgl. 1.) zeigt Abb. 2. Die wesentlichen Inhalte anderer dabei mit einzubeziehender Wissensgebiete sind ganz rechts angegeben.

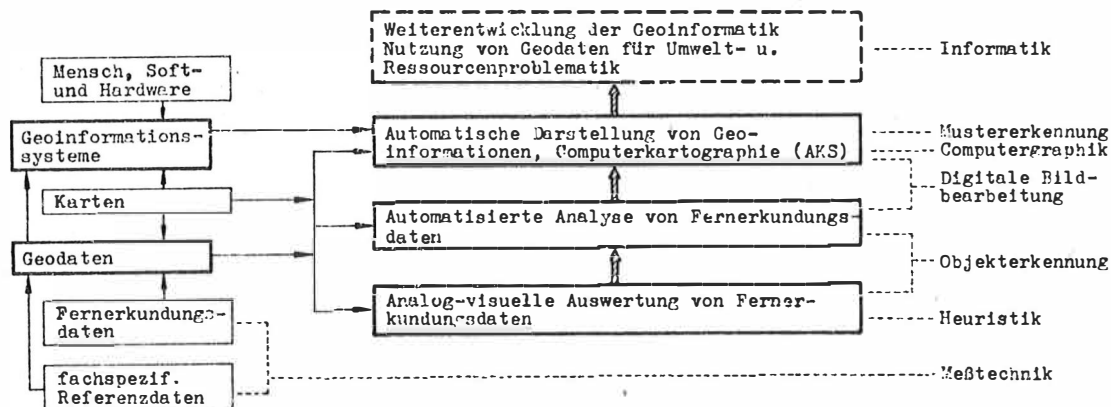


Abb. 2 Wechselbeziehungen auf dem Gebiet der Geoinformatik unter Berücksichtigung der Entwicklungsphasen der Geofern erkundung

Die Fernerkundung hat bekanntlich ganz wesentlich die Entwicklung der digitalen Bildbearbeitung beeinflusst. Es ist anzunehmen, daß ähnliches auch für die Entwicklung der Geoinformatik zutrifft. Da Geodaten stets zugleich Ausgangspunkt und Ergebnis aller Geowissenschaften bilden, kann mit den hier skizzierten Entwicklungen auf einem speziellen Gebiet der Informatikforschung auch ein deutlicher Einfluß auf diese Wissenschaften erwartet werden.

Damit haben die auf dem Gebiet der Geofern erkundung durchgeführten Arbeiten spürbar zur Stimulierung des allgemeinen wissenschaftlich-technischen Fortschritts beigetragen.

Literatur

- /1/ KAUTZLEBEN, H.; MAREK, K.-H.: Zur Entwicklung der Geofern erkundung in der DDR. Veröff. Zentralinstitut für Physik der Erde, Nr. 74, Potsdam 1982
- /2/ o. V.: 2. Konferenz "Fernerkundung - Stand und Entwicklungstendenzen". Veröff. Zentralinstitut für Physik der Erde Nr. 76, Potsdam 1983
- /3/ KONECNY, G.; LEHMANN, G.: Photogrammetrie. W. de Gruyter, Berlin-W. 1984

Nutzung von Daten der Fernerkundung in der Geographie

R. KRÜNERT

In meinem Vortrag will ich versuchen, auf zwei Fragen eine Antwort zu geben:

1. Wie beziehen Geographen gegenwärtig Daten der Geofernerkundung in ihre Untersuchungen ein?
2. Wie sollten Geographen Daten der Fernerkundung in Zukunft nutzen?

1. Nutzung von Daten der Fernerkundung in geographischen Einrichtungen der DDR

Zur Situation in der DDR genügen wenige Worte, weil dem Charakter unserer Tagung entsprechend in zahlreichen Vorträgen Kollegen aus geographischen Einrichtungen selbst zu Wort kommen werden. Bis 1976 beschäftigten sich nur wenige Kollegen im Rahmen der Lehre, z. T. auch der Forschung mit der Geofernerkundung. Eine eindeutige Wende brachte das im Rahmen von INTERKOSMOS durchgeführte RADUGA-Experiment 1976, bei dem erstmals die Multispektralkamera MKF-6 eingesetzt wurde. Die aktive Unterstützung geographischer Einrichtungen durch das Methodisch-Diagnostische Zentrum für Fernerkundung des Zentralinstituts für Physik der Erde in Potsdam ermöglichte Experimente zur Auswertung der zahlreich verfügbaren photographischen Multispektralaufnahmen. Sowohl visuelle Verfahren der Auswertung mit dem Multispektralprojektor MSP-4 wurden erprobt, als auch automatisierte Auswerteverfahren mit digitalisierten Multispektralaufnahmen bzw. mit digitalen Aufnahmen des Systems FRAGMENT wurden getestet. Heute existieren an allen geographischen Einrichtungen und an der Sektion Geodäsie/Kartographie der Technischen Universität Dresden methodische Arbeitsgruppen für Geofernerkundung bzw. einzelne Kollegen verwenden Daten der Fernerkundung für ihre laufenden Forschungen. Zwischen den geographischen Einrichtungen und darüber hinaus besteht ein organisierter Erfahrungsaustausch, die Forschungen selbst werden koordiniert durchgeführt. Bemerkenswerterweise gab diese Entwicklung auch der geographischen Auswertung von schwarz-weißen Reihenmeßbildern neuen Auftrieb. Seit einigen Jahren geben auch geographische Einrichtungen Aufträge zur Anfertigung von Luftaufnahmen verschiedenster Art an die INTERFLUG. Die Impulse, sich mit Geofernerkundung im Rahmen der Geographie zu beschäftigen, gingen vor allem von der physisch-geographischen Landschaftsforschung und der thematischen Kartographie aus. Inhaltlich stehen die Analyse von Flächennutzungsstrukturen sowie deren Veränderung und die Untersuchung der Heterogenität der Bodendecke einschließlich deren Ursachen (z. B. Bodenerosion) im Zentrum der Aufmerksamkeit /9/.

2. Entwicklungsphasen bei der Anwendung der Fernerkundung in der Geographie

Bei der Durchsicht der von Geographen geschriebenen Literatur mit Bezug zur Geofernerkundung fällt auf, daß mehrere zeitlich versetzte, sich jedoch durchdringende Entwicklungsphasen unterschieden werden müssen.

1. Bildbeschreibende Phase

Die Inhalte der Bilder werden beschrieben bzw. es erfolgt im entwickelten Stadium eine erklärende Beschreibung der Bildinhalte. Teilweise dienen die Bilder der einfachen Illustration geographischer Sachverhalte.

Bilder von neuartigen Aufnahmesystemen, die oft sehr beeindruckend sind, werden zur Markterschließung oft nur beschreibend vorgestellt, ohne daß gleichzeitig geographische Aussagen damit verbunden werden.

2. Bildanalytische Phase

In ihr werden die Informationen der Bilder/Daten unter fachwissenschaftlicher Fragestellung bei Einsatz technischer Hilfsmittel systematisch erschlossen. Es wird nachgewiesen, welche Informationen die Bilder/Daten unterschiedlicher Aufnahmesysteme enthalten. Bearbeitet werden die einzelnen Bildszenen. In dieser Phase arbeiten Geographen eng mit Vertretern anderer Disziplinen zusammen bzw. sie nutzen Technik und Erfahrungen von

Auswertezentren. Ich möchte mit Nachdruck darauf hinweisen, daß wir uns gegenwärtig noch - und nicht nur in der DDR - in der bildanalytischen Phase befinden. In gewisser Weise werden wir auch in ihr gefangengehalten, weil durch die rasche Aufeinanderfolge in der Bereitstellung qualitativ neuartiger Datenformen und die Weiterentwicklung der Hardware für die Datenverarbeitung sehr viel Zeit auf die Prüfung des geographisch relevanten Informationsgehaltes von Fernerkundungsaufzeichnungen, die Softwareentwicklung und die Weiterbildung verwendet werden muß. Es entstehen und bestehen deutliche Disproportionen zwischen Aufwand für die Methodenentwicklung und objekt- bzw. projektbezogener Anwendung der Fernerkundung.

Charakteristisch für diese Phase ist, daß die Geographen weit mehr in methodisch ausgerichteten Zeitschriften zur Geofernerkundung, Tagungsbeiträgen, Sammelbänden, Atlanten, Institutspublikationen u. ä. publizieren als in den alten geographischen Zeitschriften. Das liegt vor allem daran, daß die Daten der Fernerkundung nur in interdisziplinärer Arbeit voll erschlossen werden können und daß sie multivalent nutzbar sind. Erwähnt sei als Beispiel der unter Leitung von SAGDEJEW, SALISTSCHEW und KAUTZLEBEN /10/ erarbeitete, vom Akademie-Verlag Berlin und dem Verlag Nauka Moskau in drei Sprachen herausgegebene "Atlas zur Interpretation aerokosmischer Multispektralaufnahmen". In ihm werden an Beispielen Methoden zur geowissenschaftlichen Erschließung der Bildinhalte multispektraler, mit der MKF-6 aufgenommener Kosmos- und Flugzeugaufnahmen dargestellt, aber keine flächendeckende Dechiffrierung für Länder, Regionen usw. vorgenommen. Als interdisziplinär angelegte Zeitschrift wurde die Zeitschrift "Issledovanie Zemli iz Kosmosa", Moskau, eigens ins Leben gerufen. Aufschlußreich ist eine Zusammenstellung von ESTES, JENSEN, SIMONETT (1980) /3/ über die Verteilung von Aufsätzen aus der Feder von Geographen auf vier Zeitschriften der USA. Danach erschienen von 1960 - 1976 in:

- "Annals of the Association of American Geographers"	7
- "Geographical Review"	3
- "Remote Sensing of Environment"	12
- "Photogrammetric Engineering and Remote Sensing"	42.

Zahlreiche Einzelveröffentlichungen in Institutspublikationen oder weniger bekannten Publikationsreihen sind eindeutig bildanalytisch ausgerichtet. Drei typische Beispiele sollen das noch belegen: WASTENSON u. a. (1981) (Stockholm) /11/ prüfen in einer methodologischen Studie mittels Computeranalyse die Verwendbarkeit multitemporaler LANDSAT-Daten der ersten Generation für die Kartierung der Landnutzung, von Waldlichtungen (Kahlschlägen) sowie Mooren in Schweden. Sie suchen und geben Antwort auf die praktische Verwertbarkeit der genannten Daten. Sie kommen zu folgenden Schlußfolgerungen:

- a) Für die operative Kartierung der Landnutzung ist unter schwedischen Bedingungen eine größere Genauigkeit, als es eine einzelne LANDSAT-Szene leisten kann, erforderlich. Dies kann entweder durch multitemporale Analysen und/oder durch eine bessere geometrische Auflösung künftiger Satellitendaten erreicht werden. Gegenwärtig müssen die Ergebnisse noch manuell korrigiert werden, wobei Luftbilder und Karten eingesetzt werden, die künftig möglicherweise auch in den Klassifikationsprozeß integriert werden können.
- b) Die Genauigkeit der multitemporalen Klassifikation außerhalb der Trainingsflächen wurde nicht untersucht. Es wurde nur ein visueller Vergleich mit einer Flächennutzungskarte, die auf der Photointerpretation beruht, vorgenommen. Es ist offenkundig, daß es verschiedene Klassifikationsfehler in der multitemporalen Klassifikation gibt. Auf der Grundlage der Studie ist es nicht möglich, eine Empfehlung für die angewandte Kartierung zu geben. Eine genauere Wahl der Trainingsflächen und die Integration von schon vorhandenen topographischen Karten in den Klassifikationsprozeß könnte ein besseres Ergebnis erbringen.
- c) Mit der hier angewandten Methode können Waldlichtungen, die größer als 2,5 ha (3 Pixel) sind, ermittelt werden. Das ist ausreichend für das Militär und Zwecke des Umweltmoni-

toring. Für die untersuchte Region wird eine Genauigkeit von etwa 93 % erreicht.

- d) Im gegenwärtigen Stadium der Untersuchung zeigt die Studie, daß die Klassifikation von Mooren in drei Hauptgruppen: waldbedeckte Moore, offene Moore, offene Marschen nützlich sein kann. Irrtümer treten hauptsächlich zwischen den offenen Mooren und den waldbedeckten Mooren auf. Das mußte wegen auftretender Randeffekte erwartet werden, insbesondere wenn die Moore schmal sind.

In einer ausgezeichneten Arbeit analysiert GOSSMANN (1984) /5/ eine aus der Heat Capacity Mapping Mission (HCMM) der NASA vorliegende Aufnahme der Oberrheinebene und ihrer Randgebiete vom 30. 5. 1978, 3.13 MEZ. Es handelt sich um eine Nacht-Infrarot-Aufnahme im Fenster 10,5 - 12,5 μm . Die geometrische Auflösung beträgt ca. 0,5 km. Unter Heranziehung neuer Verfahren der digitalen Bildverarbeitung wird die Aufnahme daraufhin untersucht:

- "a) welche Informationen im Hinblick auf stadt- und geländeklimatologische Fragestellungen aus diesen Daten abgeleitet werden können,
- b) inwieweit Probleme, die der Anwendung von Flugzeug-Thermalaufnahmen entgegenstanden, auch die Satellitendaten betreffen,
- c) welche speziellen Probleme bei der Auswertung von Satelliten-Thermalbildern auftreten und welche Lösungen sich dafür anbieten" (S. 9).

Der Datenvorverarbeitung wird große Aufmerksamkeit geschenkt, weil davon das Ergebnis entscheidend beeinflußt wird. Dann wird im einzelnen gezeigt, wie HCMM-Daten für ökologische und klimatologische Fragestellungen fruchtbar gemacht werden können. "Das Hauptgewicht wird dabei auf die Frage gelegt, inwieweit die Satellitenthermalbilder als Hilfsmittel bei der Beschreibung und Erklärung der subregionalen Klimadifferenzierung dienlich sind. Dabei wird zuerst die Beziehung zwischen Relief und Waldverteilung auf der einen und dem Muster der nächtlichen Strahlungstemperaturen auf der anderen Seite analysiert" (S. 9). Des Weiteren werden die Thermalbilddaten auf die naturräumlichen Einheiten bezogen ausgewertet. Schließlich werden die Strahlungstemperaturen von Stadt und Umland, zwischen verschiedenen Siedlungen sowie innerhalb großer Siedlungen vergleichend untersucht. In dieser bildanalytischen Arbeit sind die wertvollen objektanalytischen Ergebnisse - die neuartigen Aussagen zu Gelände- und Stadtklimatologie der Oberrheinebene und ihrer Randgebiete - Nebenprodukt.

Ausgehend von dem nach wie vor geringen Bedeckungsgrad der Erde mit topographischen und thematischen Karten in mittleren Maßstäben untersuchen GIERLOFF-EMDEN und DIETZ (1983) /4/, welche Voraussetzungen die High Altitude Photography (HAP) mit Bildmaßstäben zwischen 1 : 60 000 bis 1 : 125 000 bietet, um diese Lücken zu schließen. Dabei steht die Prüfung der Bildqualität und der Objekterkennung auf farbinfraroten und schwarz-weißen Aufnahmen im Vordergrund und damit ihre Eignung für die topographische Kartierung. Es wird geschlußfolgert, daß die HAP für Kartierungen in mittleren (1 : 100 000 - 1 : 25 000) und kleinen (1 : 200 000 - 1 : 100 000) Maßstäben anwendbar sind und daß größermaßstäbige Karten konventionelle Luftbilder erfordern, während Karten kleinerer Maßstäbe mit Hilfe von Satellitenbildern erstellt werden können. Dagegen ist die geographische Auswertung der verwendeten Bildbeispiele aus den USA oft mehr angedeutet als ausgeführt. Es wird aber ersichtlich, daß sie für die Analyse der Landnutzung sowohl der Stadt-Umland-Regionen der großen Städte als auch der reinen Agrargebiete sowie für küstenmorphologische Untersuchungen von erheblicher Bedeutung sein können.

Die Beispiele könnten fortgesetzt werden. Erwähnt sei lediglich noch, daß vor allem in Frankreich gegenwärtig die Leistungsfähigkeit hochauflösender Satellitendaten an simulierten SPOT-Daten geprüft wird.

Mit derartigen methodischen Arbeiten wird die objektanalytische Phase vorbereitet, wobei diese Studien für die untersuchten Beispielsgebiete durchaus schon objektanalytischen Charakter tragen können.

Die objektanalytische Ausrichtung der Grundlagenforschung in der bildanalytischen Phase wird durchaus schon in einigen Artikelsammlungen aus der UdSSR bzw. in Thesen für Vorträge auf dem VII. Kongreß der Geographischen Gesellschaft der UdSSR 1980 in Frunse deutlich /1, 2, 7/. Rund ein Viertel sind methodische Beiträge im engeren Sinne, in denen Abbildungseigenschaften der Landschaften und ihrer Komponenten durch spektrometrische und fotometrische Messungen, Probleme der Generalisierung geographischer Objekte auf kosmischen Aufnahmen, die Weiterverarbeitung von Scannerdaten u. ä. dargestellt werden. Es dominieren jedoch Beispiele der konkreten Untersuchung von Landschaften und Territorien und deren Komponenten aus allen physisch-geographischen Zonen der UdSSR. Eindeutig wird aus der Wahl der Untersuchungsgebiete und der Themen der konstruktive Charakter der sowjetischen Geographie deutlich. Arbeiten aus volkswirtschaftlichen Schwerpunktgebieten (z. B. Erschließung der westsibirischen Erdölfelder bzw. der Gebiete längs der BAM; Melioration in der Nichtschwarzerdezone) bzw. die Untersuchung komplizierter Ressourcen- und Umweltprobleme (z. B. Wasserversorgung in Trockengebieten; Wasser- und Winderosion; Versalzung; Luft- und Gewässerverschmutzung; Waldbrände) spielen eine bedeutende Rolle. Besonderes Gewicht haben Studien zur anthropogenen Beeinflussung und Veränderung des Naturhaushaltes. Das Vorliegen von kosmischen Aufnahmen über einen vieljährigen Zeitraum ermöglicht es den sowjetischen Kollegen, den Wert der Fernerkundung zur Untersuchung der Dynamik von Geosystemen zu demonstrieren (etwa am Beispiel der Veränderungen des Aralsees und der angrenzenden Gebiete, der Nutzungsänderungen und von Erosionsprozessen in der Steppen- und Halbsteppenzone oder auch der anthropogen bedingten Veränderungen von Landschaften in der Belorussischen SSR durch Melioration).

3. Objektanalytische Phase

In ihr werden geographische Objekte, deren Elemente, Strukturen, Verhalten, Veränderung, Entwicklung und evtl. Funktionen systematisch und für die interessierenden Territorien flächendeckend mit den in der bildanalytischen Phase getesteten Bildern/Daten und mit Methoden der gerätegestützten visuellen Dechiffrierung bzw. der interaktiven automatisierten Klassifikation bearbeitet. In der Regel ist für die Objektanalyse Zusatzmaterial in erheblichem Umfang erforderlich. Es kann unterschieden werden zwischen:

- a) Analyse von Elementen
 - Existenz, Eigenschaften, Merkmalskorrelationen.
- b) Analyse von Prozessen
 - Zeitverhalten, Veränderungen.
- c) Analyse von Raumstrukturen
 - Regionierung,
 - Zustände ("Morphologie") von Regionen.
- d) Analyse von Geochorosystemen
 - natürliche (Naturräume),
 - natürlich-technische (Landschaftseinheiten),
 - sozio-ökonomische (Wirtschafts- und Lebensräume).

Gute Beispiele gibt es heute bereits für die Regionierung und die Analyse von einzelnen Zustandselementen der Regionen (z. B. zur Flächennutzung). Die Möglichkeiten für Regionierungen aller Art werden aber bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Die Prozeßanalyse und die Analyse von Geochorosystemen steht noch in den Anfängen. Die Analyse geographischer Objekte mit Methoden der Fernerkundung sollte das Hauptfeld der Nutzung von Daten der Fernerkundung in der Geographie sein.

4. Projekt-Phase

In der Projektphase werden Daten der Fernerkundung eingesetzt, um gesellschaftlich bzw. volkswirtschaftlich wichtige Projekte vorzubereiten. Hierzu gehören die Herstellung thematischer Kartenwerke, das Umweltmonitoring, Ernteprognosen, Abflußprognosen u. ä..

Als realisierte Projekte sind Kartenwerke zur Flächennutzung (land use) aus mehreren Ländern bekannt. Dabei wurden verfügbare Massendaten älterer Aufnahmesysteme verwendet und recht einfache technische Mittel für die gerätegestützte visuelle Dechiffrierung eingesetzt. Geographen sind heute an einer Reihe weiterer spezieller Projekte in Entwicklungsländern beteiligt, wofür z. B. ITTEN (1981) /6/ einige Beispiele von Schweizer Geographen nennt. So wurden im Jemen die Volkszählungsergebnisse von 1975 nach Luftbildern überprüft und korrigiert. In Nepal wurde ein erster Ertragszensus für eine Region mit Hilfe von Luftbildern durchgeführt und in Liberia die Ausprägung und Struktur der Brandrodungskultur anhand von Luftbildern analysiert. In Sri Lanka wird an einer Methode der operationellen Reisernteprognose gearbeitet. In jedem der genannten Fälle mußten oder müssen problemspezifische Schlüssel und Interpretationstechniken entwickelt werden, was mit subtiler Feldarbeit verbunden ist. Die statistischen Daten zur Bevölkerungs-, Sozial- und Wirtschaftsstruktur wurden gesammelt und mit Fernerkundungsdaten vergleichend ausgewertet. Erst dann konnten die notwendigen Schlußfolgerungen für die Entwicklungsprojekte gezogen werden. Das bisher wohl bekannteste Projekt zur Ertragschätzung von Weizen ist das auf der Grundlage von LANDSAT-Daten in den USA entwickelte LACIE-Projekt. Seine erste Prüfung erfolgte 1974/75 in den USA. Bereits 1975-1977 wurden Gebiete Kanadas und der Sowjetunion einbezogen, wofür offenkundig wirtschafts- und außenpolitische Zielstellungen der USA maßgeblich waren. Aus Beschreibungen des Projektes wird ersichtlich, daß nicht nur multitemporale Satellitendaten für dessen Realisierung erforderlich sind, sondern daß in die Ertragsmodelle neben Fernerkundungsdaten zur Bodennutzung und dem phänologischen Zustand der Pflanzenbestände vor allem Klimadaten eingehen, zugleich aber auch ein Anschluß an agrarökonomische und betriebswirtschaftliche Daten hergestellt werden muß. Im übrigen können solche umfangreichen Projekte nur in interdisziplinärer Arbeit ausgearbeitet werden.

3. Allgemeines Schema zur Nutzung von Daten der Fernerkundung in der Geographie

Es ist sicher schon deutlich geworden, daß der Geograph bei der Anwendung von Fernerkundungsmethoden vorrangig von den von ihm zu lösenden Problemen und der Kenntnis der durch Geofernerkundung zu schließenden Datenlücken ausgehen sollte. Für ihn ist Geofernerkundung ergänzende Informationsquelle. Notwendig bleibt aber immer, sich mit den Aufnahmesystemen und den verfügbaren Auswertesystemen sowie den bereitgestellten Daten und ihren Informationseigenschaften zu beschäftigen. Dabei kann der Geograph die informationelle Kopplung zwischen Aufnahme- und Auswertesystem anderen Fachdisziplinen nicht überlassen. Hier muß er selbst Grundlagenforschung betreiben. Für den erforderlichen Einsatz von Daten der Fernerkundung ist die problem-, zeit- und gebietsbezogene Entwicklung von Dechiffrierungsschlüsseln und für automatisierte Klassifikationen die Stichprobenauswahl entscheidend für den Erfolg. Messungen im Gelände, Kartenauswertung usw. sind hierbei stets einzubeziehen. Die Dechiffrierung/Klassifikation und Speicherung der dechiffrierten Daten bleibt in der Regel ein Zwischenschritt. Entscheidend wird die Interpretation und Problemlösung unter Hinzuziehung von Zusatzinformationen (vgl. Abb. 1).

4. Geographischer Ansatz für die Analyse von Raumstrukturen

(Die farbigen Satellitenaufnahmen sowie die farbige Karte der ausgewiesenen Landschaftseinheiten können hier nicht wiedergegeben werden). Die Aufgabe bestehe in der Abgrenzung von Landschaftseinheiten im Sinne natürlich-technischer Einheiten mittlerer Ordnung sowie deren Typisierung und deren Kartierung im Maßstab 1 : 500 000. Als Bildmaterial werden auf den Maßstab von ca. 1 : 500 000 vergrößerte multispektrale Satellitenaufnahmen verwendet (hier farbcodierte FRAGMENT-Aufnahmen). Als Zusatzmaterial stehen die Karten des ATLAS DDR vorwiegend in den Maßstäben 1 : 750 000 zur Verfügung.

Eine Abgrenzung der Landschaftseinheiten ist nach der Struktur der Flächenwidmung, d. h. nach der Vielfalt, nach dem relativen Anteil und der räumlichen Anordnung der Nutzflächen-

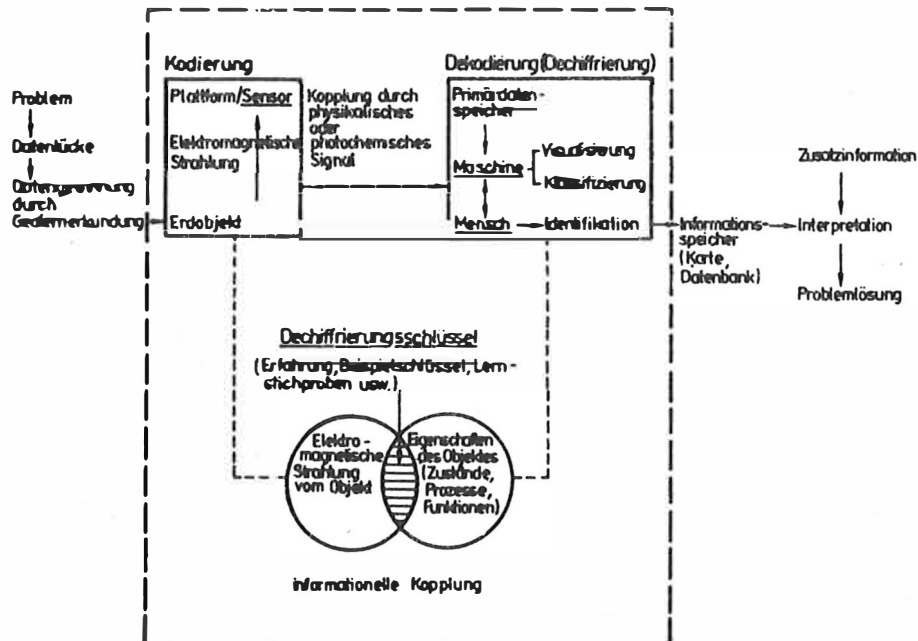


Abb. 1 Informationsgewinnung durch Geofernerkundung

arten möglich. Die räumliche Struktur der Flächenwidmung wird bestimmt vom naturräumlichen Inventar, technischen Objekten und der territorialen Organisation der Flächennutzung. Bei der Abgrenzung von Landschaftseinheiten mittlerer Ordnung nach Satellitenaufnahmen wird unter Hinzuziehung von Zusatzmaterial zweckmäßigerweise stufenweise vorgegangen.

1. Ausweis von Gebieten einheitlicher Siedlungsmorphologie (Siedlungssubstanz). Das ist wichtig, damit die Siedlungsflächen in der angestrebten Landschaftsgliederung nicht unterrepräsentiert werden.
2. Abgrenzung der Ballungkerne einschließlich der von ihnen ausgehenden geschlossenen Siedlungsbänder.
3. Abgrenzung der vom Bergbau betroffenen Areale.
4. Abgrenzung der geschlossenen Forstgebiete und Untergliederung nach dem Gewässernetz.
5. Abgrenzung des geschlossenen Offenlandes und Untergliederung nach der Siedlungsmorphologie, dem Muster der Acker- und Grünlandflächen sowie dem Gewässernetz.
6. Abgrenzung der "Restareale" nach dem Muster und den Anteilen von Acker- und Grünland, Wald und Gewässern sowie nach der Siedlungsmorphologie.
7. Generalisierung der Grenzföhrung.

Die sehr einfachen Typen der Landschaftseinheiten sind aus der Kartenlegende ersichtlich. Als Zusatzinformation wurde eine Untergliederung der Waldflächen vorgenommen, weil sich diese gut aus der verfügbaren Aufnahme ableiten ließ.

Kartenlegende:

Gefüge der Landnutzung

1. Ordnung
2. Ordnung
3. Ordnung

Typen der Landnutzung

Urbanisiertes Gebiet

Urbanisiertes Gebiet mit Bergbau

Agrargefüge mit großen Dörfern

Agrargefüge mit hohem Anteil von kleinen und mittelgroßen Dörfern

Agrargefüge, geringer Waldanteil, mit hohem Anteil großer Dörfer

Agrargefüge, geringer Waldanteil, mit kleinen und mittelgroßen Dörfern

Forst-Agrargefüge, mit hohem Anteil großer Dörfer

Forst-Agrargefüge, mit kleinen und mittelgroßen Dörfern

Forstgefüge

Wald

Laubwald

Nadelwald

Mischwald

GewässerStädte

Bezirksstadt

Kreisstadt

(Gewässer und Dorfgrößen nach Atlas DDR)

Wenn die Landschaftsgliederung und die Typisierung der Landschaftseinheiten allgemeingültig sein soll, dann dürfen nicht nur die auf den Satellitenaufnahmen erkennbaren Merkmale beachtet werden, die technischen Objekte in ihrer räumlichen Verteilung müssen berücksichtigt werden, ob sie auf der Satellitenaufnahme direkt, indirekt oder gar nicht zu sehen sind.

5. Kartierung der Flächennutzung in großen Maßstäben einschließlich Merkmalszusammenstellung für Funktionsflächen und Funktionsgebiete

Es wird lediglich der Ansatz dargestellt. Ausgangspunkt der Überlegungen ist das gesellschaftliche Erfordernis nach Intensivierung der Flächennutzung und Rationalisierung der räumlichen Organisation der Flächennutzung. Daraus folgt u. a. als wissenschaftliche Aufgabe die Untersuchung und Bewertung der Intensität der Flächennutzung und der räumlichen Organisation der Flächennutzung. Die Lösung schließt als Teilaufgaben die Kartierung der Flächennutzung, speziell von Funktionsflächen und Funktionsgebieten sowie als Grundlage für deren Bewertung eine Zusammenstellung von Merkmalen für Funktionsflächen und Funktionsgebiete ein. Ausschließlich mit Daten der Fernerkundung ist diese Aufgabe nicht zu erfüllen. DFE sind aber dafür eine ganz entscheidende Grundlage.

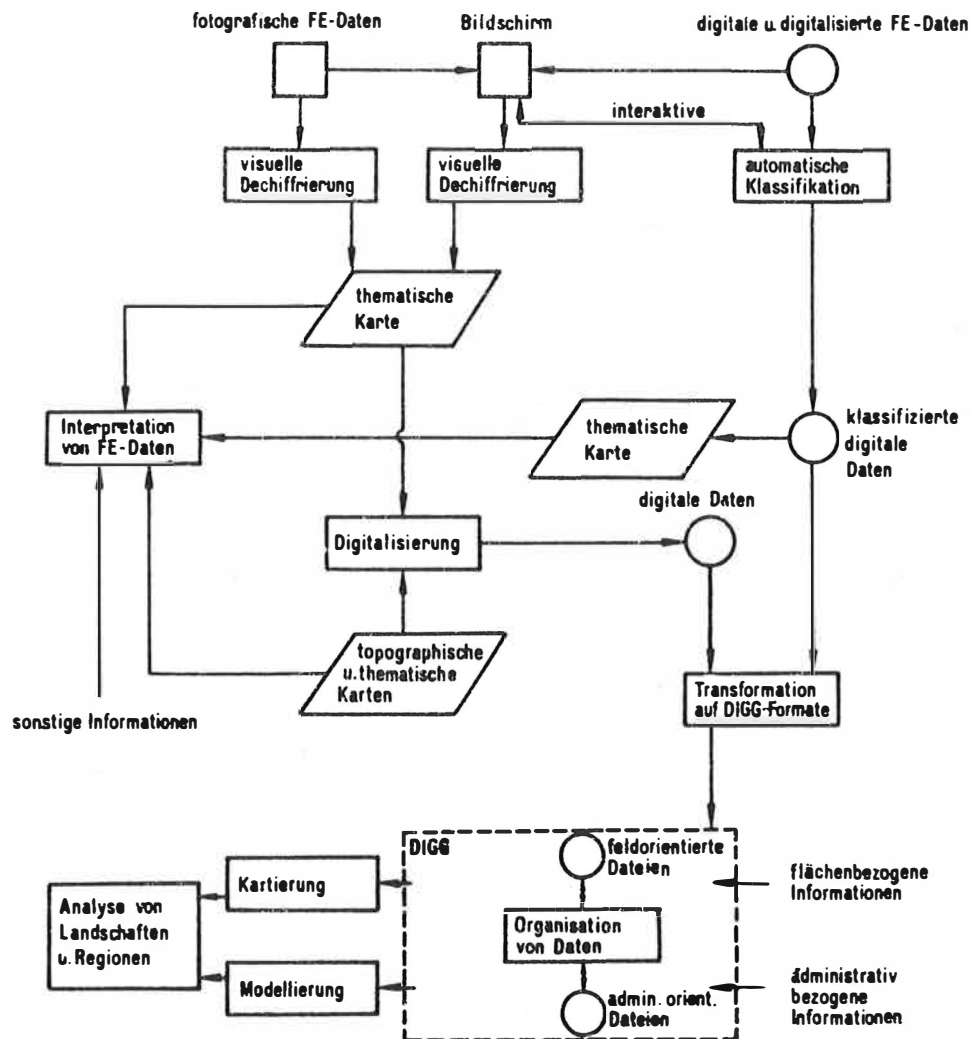


Abb. 2 Daten der Fernerkundung im geographischen Informationssystem

Lösungsansatz:

<u>Allgemeine Aufgabenstellung</u>	<u>Aufgabenstellung für Fernerkundung</u>
1. Bestimmung der Typen der Funktionsflächen (= Kartierungseinheiten) und des Kartenmaßstabs	
2.	Wahl der Bildparameter und des Bildmaßstabes, Bildbeschaffung
3.	Erarbeitung des Dechiffrierungsschlüssels
4. Bestimmung von Flächenfunktionen	Dechiffrierung des Flächenzustandes, z. T. der Flächenfunktionen
5.	Kartierung der Funktionsflächen
6. Zusammenfassung der Funktionsflächen zu Funktionsgebieten	
7. Merkmalszusammenstellung für Funktionsflächen ($x_1 - x_n$)	Merkmalszusammenstellung für Funktionsflächen ($x_{n+1} - x_m$)
	Merkmalsaggregation für Funktionsgebiete
9. Bewertung von Funktionsflächen und Funktionsgebieten auf der Grundlage der Merkmale	
6. <u>Überführung von Daten der Fernerkundung in einen geographischen Datenspeicher (vgl. Abb. 2)</u>	

Im Vortrag wurde wiederholt darauf aufmerksam gemacht, daß die Lösung geographischer Aufgaben die Kombination von Daten unterschiedlicher Herkunft erfordert. Es wird zwingend, Daten verschiedener Herkunft auf eine einheitliche räumliche Bezugsbasis zu transformieren, in geographische Datenspeicher zu überführen und in gewünschter Datenkombination für Problemlösungen bereitzustellen. Zur Überführung von Fernerkundungsdaten in den Speicher sind zwei Wege möglich. Der eine geht von digitalen bzw. digitalisierten Daten aus und führt über automatische bzw. interaktive Klassifikationsverfahren bei vor- oder zwischengeschalteter geometrischer Datenkorrektur zu einer felderweisen Zuordnung und Speicherung der Informationen. Der zweite Weg läuft von der Dechiffrierung photographischer oder visualisierter digitaler Fernerkundungsdaten, deren kartographischer Abbildung, die Digitalisierung der thematischen Karten bis zu Eingaben in den Speicher. Als ein solcher Speicher befindet sich der Digitale Geographische Datenspeicher des Instituts für Geographie und Geoökologie im Aufbau. Mit Experimenten zur Überführung von Daten, die ihrem Ursprung nach Fernerkundungsdaten waren, wurde begonnen /8/.

Literatur

- /1/ Aerokosmičeskie metody v issledovanii okružujuščej sredy. Geogr. obšč. SSSR, VII. s-ezd Frunze; 1980. Sbornik naučnych trudov. Leningrad 1980
- /2/ Aerokosmiceskie i kartografičeskie metody v issledovanii okružujuščej sredy. Geogr. obšč. SSSR, VII. s-ezd, Frunze, 1980. Tezisy dokladov sekcii IV, Leningrad 1980
- /3/ ESTES, J. E.; JENSEN, J. R.; SIMONETT, D. S.: Impacts of Remote Sensing on U.S. Geography. - In: Remote Sensing of Environment. - New York 10 (1980)1. - S. 43 - 80
- /4/ GIERLOFF-EMDEN, H. G.; DIETZ, K. R.: Auswertung und Verwendung von High Altitude Photography (HAP). - In: Münchner Geogr. Abh. - München 32(1983)
- /5/ GOSSMANN, H.: Satelliten-Thermalbilder: ein neues Hilfsmittel für die Umweltforschung? - Fernerkundung in Raumordnung und Städtebau. - Bonn 16(1984)

- /6/ ITTEN, K. H.: Geographie und Entwicklungszusammenarbeit, Geogr. helv. 36(1981)2. - S. 50 - 56
- /7/ Kosmičeskaja s-emka i tematičeskoe kartografirovanie. Metodika obrabotki mnogozonálnych zničkov (Sbornik naučnych trudov), Moskau 1979
- /8/ KRÖNERT, R.: Daten der Fernerkundung im Informationssystem der Geographie. Diskussionsbeitrag zum Aufbau territorialer Datenbanken. Gerland Beitr. Geophysik. - Leipzig 92(1983)2-4.- S. 171 - 185
- /9/ KRÖNERT, R.: Nutzung von Daten der Fernerkundung in der Geographie. - In: Geogr. Ber. - Gotha 29(1984)3. - S. 153 - 163
- /10/ SAGDEJEW, R. S.; SALISTSCHEW, K. A.; KAUTZLEBEN, H. (Herausg.): Atlas zur Interpretation aerokosmischer Multispektralaufnahmen. - Berlin; Moskau: 1982
- /11/ WASTENSON, L.; ARNBERG, W.; BORESJÖ, L.; IHSE, M.: Computer Analysis of Multitemporal Landsat Data for Mapping of Land-Use, Forest Clearcuts and Mires. Methodological Studies. - In: Geogr. Ann. - Stockholm, 63 A(1981)3/4 S. 325 - 337

Die Entwicklung von quantitativen Methoden der kosmischen Erderkundung

L. N. VASIL'EV

1. Kosmische Erderkundung und Geographie

In der Entwicklung der kosmischen Methoden der Fernerkundung unserer Erde haben sich zumindest zwei große Richtungen - die physikalisch-technische und die naturkundliche - herausgebildet. Die erste Richtung ist auf die Suche nach physikalischen Prinzipien und Geräten für die Messung der elektromagnetischen Strahlung, die von verschiedenen Teilen der Erdoberfläche ausgeht, sowie auf die Suche nach Methoden der mathematischen Bearbeitung dieser Messungen orientiert /3/.

Die andere Richtung bezeichnet man immer häufiger als kosmische Erderkundung und versteht darunter die Erforschung der Erde aus dem Weltraum. Im Zusammenhang damit, daß die erhaltene Abbildung (fotografische, radiothermische, radartechnische oder eine beliebige andere) ein Ergebnis der integralen Einwirkung der viele Komponenten umfassenden natürlichen Umwelt ist, fällt deren nicht konventionelle Interpretation nicht immer leicht. In Wirklichkeit ist die vorgenommene Unterteilung des Gesamtproblems nur bedingt möglich, weil die genannten Richtungen eng miteinander verbunden sind. Die Entwicklung der technischen Mittel muß den modernen Anforderungen der Volkswirtschaft und den Wissenschaften über die Erde untergeordnet werden. Das Niveau der naturkundlichen Untersuchungen zur Gewinnung neuer wissenschaftlicher Kenntnisse aber hängt von den realen Möglichkeiten des Erhalts und der Bearbeitung der kosmischen Information ab. Darin kommt das Wesen des komplexen Herangehens an das Problem zum Ausdruck.

Im Unterschied zur weitverbreiteten Differenzierung der wissenschaftlichen Untersuchungen und sogar zur Tendenz ihrer relativen Isoliertheit ermöglichen die kosmischen Methoden zur Erforschung der Erde die verschiedenen Zweige der Naturwissenschaften, welche die Eigenschaften der Erde nach der räumlichen Verteilung der Komponenten der natürlichen Umwelt und deren Strahlungsparameter untersuchen, zu integrieren /6/. Der durch die Integration der verschiedenen Schichten auf der kosmischen Abbildung gewonnene Effekt ist gerade das Neue, das die Naturwissenschaften erhielten. Diese Abbildung, die eine Widerspiegelung der realen Welt mit ihren wechselseitigen Beziehungen ist, läßt sich jedoch bei komplizierten Situationen nicht immer einfach hinsichtlich ihrer Komponenten analysieren. Deshalb sind die kosmischen Methoden auf den Erhalt sowohl synthetisierter Darstellungen, insbesondere für die Analyse räumlicher Strukturen, als auch auf multispektrale Abbildungen für die Klärung der Charakteri-

ka der einzelnen Komponenten auf der Grundlage der spezifischen Eigenschaften ihrer spektralen Helligkeiten gerichtet.

Bei der Gegenstandsbestimmung der Geographie in der Periode des entwickelten Sozialismus wies Akademiestglied I. P. Gerassimow auf die zunehmende Rolle der quantitativen Forschungsmethoden in der Geographie hin. Die Verwendung mathematischer Methoden muß jedoch gerechtfertigt sein. Sie sind dann von Nutzen, wenn die Ergebnisse der Modellierung und zahlenmäßigen Einschätzungen eine inhaltlich erweiterte Interpretation ermöglichen. Diese modernen Anforderungen der geographischen Wissenschaft befriedigen die kosmischen Mittel der Geofernerkundung durchaus. Deshalb werden die Grundlagenforschungen auf die Entwicklung von Methoden zur Ermittlung quantitativer Parameter für die natürlichen Komponenten bei der Auswertung der Aufnahmen ausgerichtet.

Es ist wichtig zu unterstreichen, daß die kosmische Erderkundung eine geographische Wissenschaft ist, obwohl es diesbezüglich bestimmte Feinheiten gibt. Die kosmische Erderkundung als Gebiet der Erkenntnis ist dazu berufen, geographische Aufgaben mit den physikalischen Methoden der Fernsondierung, mit der physikalischen Analyse von Erscheinungen und mathematischen Verfahren zu lösen. Dabei muß hervorgehoben werden, daß es noch nicht ausreicht, mit Hilfe technischer und mathematischer Mittel eine Naturerscheinung zu charakterisieren. Notwendig sind vielmehr die Ausrichtung auf das Ergebnis und das Streben, wenigstens einen bescheidenen Schritt in Richtung der Klärung des inneren Mechanismus der beobachteten Erscheinungen zu tun, um so zu neuen Kenntnissen in der Geographie und in den Geowissenschaften zu kommen. Derartige Situationen sind in der Wissenschaft beim Auftauchen neuer physikalischer Forschungsmethoden bereits entstanden. Verwiesen sei in diesem Zusammenhang auf die Rolle der Biophysik bei der Entwicklung der Biologie. Akademiestglied G. M. Frank, der Stammvater der Biophysik, hielt diese für eine biologische Wissenschaft, die mit physikalischen Methoden ausgerüstet ist, um mit deren Hilfe biologische Angaben zu erhalten.

Die erste Entwicklungsetappe der kosmischen Erderkundung wird durch Ergebnisse vorwiegend methodischen Charakters charakterisiert. Neue, inhaltliche Schlußfolgerungen gab es bedeutend weniger, obwohl die praktischen Ergebnisse außer Zweifel stehen. Auf der Grundlage von Aufnahmen aus dem Weltraum erfolgt eine Kartierung der Ressourcen des Landes in verschiedenen Maßstäben. Es wurden neue geologische und geomorphologische Informationen erhalten, die sich in neuen Morpho- und Geostrukturen in vielen Regionen der Welt ausdrücken, und zwar selbst in solchen, die früher bereits relativ gut erforscht waren (Lineamente, Ringstrukturen). Erinnerung sei an die Effektivität der Aufnahmen aus dem Weltraum für die Klärung des Charakters der Bodennutzung, die Bestimmung der Größen verschiedener landwirtschaftlicher Nutzflächen und Waldareale sowie bei Berücksichtigung der Ernteertragsstatistik landwirtschaftlicher Kulturen und der Bonität der Waldbestände, zu einer Schätzung der Erträge und der Holzressourcen zu kommen.

Es steht jedoch einwandfrei fest, daß die potentiellen und noch nicht genutzten Erkenntnismöglichkeiten der kosmischen Methoden bei geographischen Untersuchungen bedeutend umfangreicher sind. Deshalb werden in den meisten Ländern vielseitige Versuche und Experimente durchgeführt, um diese Methoden weiterzuentwickeln sowie die Sphären ihrer wissenschaftlichen und praktischen Anwendung zu erweitern.

Unter inhaltlichem Aspekt zeichnen sich für die kosmischen Methoden immer deutlicher die Positionen und Aufgaben der kosmischen Erderkundung ab: die Bestimmung der räumlichen Strukturen der verschiedenen natürlichen und natürlich-technischen Gebilde; die Erforschung der Dynamik der Geosysteme; das kosmische ökologische Monitoring auf lokaler, regionaler und globaler Ebene. Der Mechanismus der Methode wird durch folgende Glieder bestimmt: die Multispektralaufnahme, die Dechiffrierung (Auswertung) der Aufnahmen und die Interpretation der Ergebnisse, um inhaltliche Schlußfolgerungen ziehen zu können. Zu den zentralen methodischen Aufgaben gehören die Bestimmung der Beziehungen zwischen den Parametern der Komponenten der

natürlichen Umwelt und deren Strahlungscharakteristika sowie die Automatisierung der messenden Bestimmung der Komponenten nach den Multispektralaufnahmen für die kartographische Wiedergabe.

Die über die Empfangsstationen in Moskau, Nowosibirsk und Chabarowsk eintreffenden kosmischen Informationen sind überaus mannigfaltig: fotografische Multispektralaufnahmen in den Maßstäben 1 : 2 500 000, 1 : 1 000 000 und 1 : 200 000; operative Multispektralaufnahmen, gewonnen mit einer Abtastapparatur von geringer und mittlerer Auflösung in den Maßstäben 1 : 10 000 000 und 1 : 2 500 000 und breiter Abtastung auf dem Erdsatelliten METEOR.

Seit 1980 funktioniert das Versuchssystem FRAGMENT mit einer Übermittlung von digitalen Informationen bei einer räumlichen Auflösung von rund 80 m. Hinsichtlich der Parameter ähnelt es dem SystemLANDSAT, allerdings mit einer Breite des Aufnahmestreifens von 90 km und einem Empfang nur innerhalb der Grenzen des europäischen Teils der UdSSR.

2. Klassifizierung sowie Kartierung von Bodennutzung und der Böden

Im Verlaufe unserer Arbeiten klärte sich, daß für die Erarbeitung von Bodennutzungskarten verschiedener Bestimmung in den Maßstäben 1 : 50 000 bis 1 : 500 000 sowohl Aufnahmen aus dem Weltraum als auch Luftbilder verwendet werden müssen. Es wurde festgestellt, daß die Aufnahmen in den Maßstäben 1 : 2 500 000 und 1 : 1 000 000 für die Schaffung von Bodennutzungskarten im Maßstab 1 : 500 000 ausreichen, aber nicht vollständig die Anforderungen im Detail und bezüglich der geometrischen Genauigkeit befriedigen. Eine vollständige Lösung wird durch die Verwendung von fotografischen Bildern und Abtastabbildungen erreicht. Die ersteren gewährleisten eine hohe geometrische Genauigkeit bei der Umwandlung in eine Kartenprojektion, die zweiten aber eine richtige Klassifizierung der Objekte. Ein Beispiel derartiger Arbeiten zeigt die Abb. 1

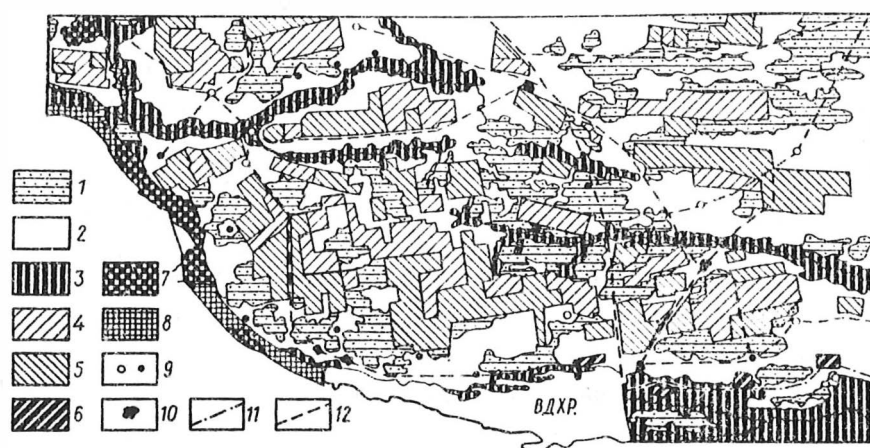


Abb. 1 Ausschnitt des Kartenschemas zur Nutzung der Bodenressourcen im südlichen Teil der Kalmückischen ASSR

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 1 schwach degradierte Weiden | 7 Salzseen |
| 2 stark degradierte Weiden | 8 Solontschakflächen ausgetrockneter Seen (Salztonebenen) |
| 3 unproduktive Weiden auf Salzböden | 9 Territorien mit zerstörter Vegetationsdecke um die Brunnen |
| 4 bebautes Ackerland | 10 Territorien mit zerstörter Vegetationsdecke um die Siedlungen |
| 5 Brache | 11 Bewässerungskanäle |
| 6 bewässertes Ackerland | 12 Verkehrswege |
- (in der Abb. Bgxp. = Stausee)

Auf der zusammengestellten Karte der gegenwärtigen Bodennutzung werden für das Territorium der Kalmückischen ASSR 12 verschiedene Kategorien hervorgehoben. Sie charakterisieren eine überaus hohe anthropogene Erschließung des Territoriums und die Auswirkungen, die mit der Verringerung der Weideflächen durch Umwandlung in Äcker zusammenhängen sowie den Rückgang der Produktivität der Weiden.

Die Vollständigkeit und Richtigkeit der Auswertung werden durch die Methoden der Bildbearbeitung bestimmt. Die visuelle Auswertung selbst farbiger, synthetisierter Darstellungen, besonders in Gebieten intensiver Erschließung und in städtischen Agglomerationen ist unzureichend. Deshalb werden Methoden der quantitativen Bearbeitung und der statistischen Analyse verwendet.

Im Prozeß der Bodenressourcenkartierung nach kosmischen Aufnahmen wurden Bodenkarten und Karten der Erosion und Deflation im Maßstab 1 : 500 000 für den gleichen Teil der Kalmückischen ASSR zusammengestellt, die in den Atlas der Republik eingegangen sind. Die Schaffung derartiger Karten führte zu einer gewissen Verallgemeinerung der Vorstellungen über die Bodenkartierung: Die Grenzen und räumliche Verteilung der Böden sind auf den Aufnahmen aus dem Weltraum deutlich zu erkennen, die Bestimmung des genetisch-taxonomischen Inhalts erfolgt jedoch nach wie vor traditionell. Das ermöglicht die Durchführung der Ressourcenkartierung, beispielsweise des Bodens und der Vegetation, auf der Grundlage der Messungen der Helligkeit unmittelbar auf den Bildern, wodurch ein zweidimensionales Datenfeld geschaffen wird, auf dem sich dann die Übergänge der natürlichen Grenzen unter Berücksichtigung der landschaftlichen Merkmale, des vorhandenen kartographischen Materials und der auf der Erdoberfläche durchgeführten Untersuchungen abheben. Eine derartige Untersuchungsmethode zur Analyse der Eigenschaften und der räumlichen Verteilung der Komponenten der natürlichen Umwelt wurde auf der Grundlage der quantitativen Bearbeitung der Aufnahmen unter Einsatz der EDV ausgearbeitet.

Von prinzipieller Bedeutung sind die Aussonderung und Bestimmung der Charakteristik der Operationseinheit. Es zeigte sich, daß die Methoden der Segmentation der Abbildung, d. h. der Aussonderung der im statistischen und natürlichen Sinne gleichartigen Abschnitte, den in den geographischen Untersuchungen festgelegten Prinzipien ähneln (W. S. PREOBRAZHENSKI und seine Mitarbeiter T. D. ALEKSANDROVA und T. KUPRISNOVA) /1, 2/.

Die Kriterien der Homogenität, die für die Einheiten der Landschaft festgelegt werden, werden durch die Helligkeitsmerkmale auf den Bildern bestimmt. Es kann jedoch auf Grund der Unterschiede bei der Auswahl der Faktoren nicht erwartet werden, daß das Ergebnis der terrestrischen und Fernerkundungsmethoden gleich ist. Selbst eine Multispektralaufnahme ermöglicht nicht, die natürliche Gesamtheit mit ihren zahlreichen Faktoren und Komponenten vollständig zu erforschen.

In unseren Forschungsarbeiten wurden eine Auswahl der statistischen Kriterien für die quantitative Bestimmung der Charakteristika homogener Operationseinheiten (die Mittelwerte der spektralen Helligkeiten, die Kovariations- und Korrelationsmatrizen, die Dispersion und die Histogramme), die Farbe und die Struktur der Farbsynthesen, die physikalischen Eigenschaften für die Werte der Hauptkomponenten bei der Verringerung der Dimensionen des Merkmalsraumes festgelegt. Wesentlich weniger leistet die Methode der Texturbeschreibung der Abbildung. Für die Klassifizierung der gemessenen Helligkeitsfelder wurden spezielle Verfahren der Clusteranalyse ausgearbeitet. Für die Clueterbildung nach dem Streuungediagramm der Werte sind bei sich gleichmäßig verändernder Eigenschaften natürlicher Komponenten die formalen Methoden, die auf den natürlichen, voneinander durch Zwischenräume getrennten Clustern beruhen, nicht brauchbar. Es wurden originelle Verfahren der Clusterbildung gefunden, die die Merkmale der geographischen Anordnung bestimmter Einheiten nutzen.

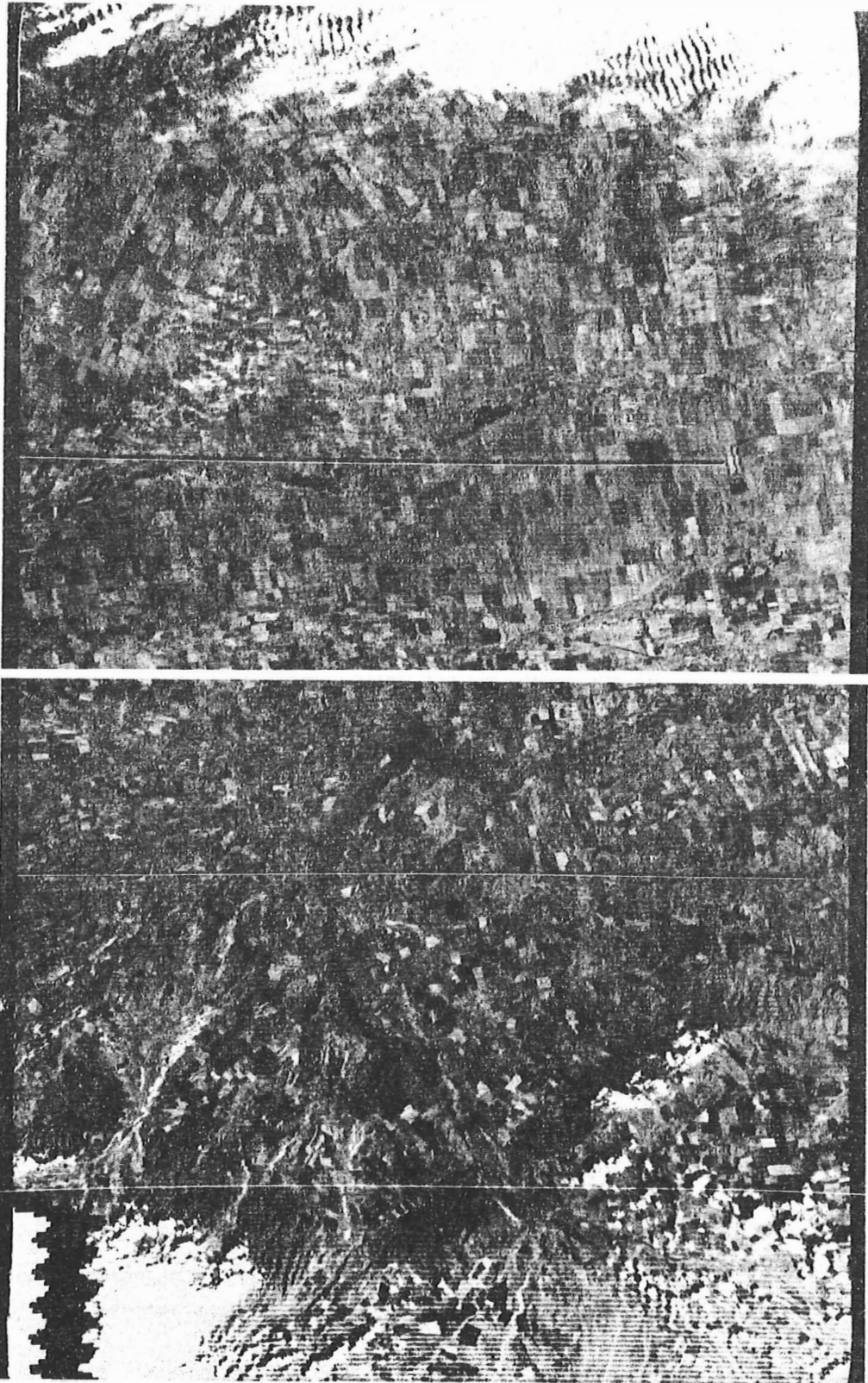


Abb. 2 Aufnahme mit dem System FRAGMENT, Spektralbereich
0,8 - 1,1 μm

Auf diese Art und Weise wurde eine Karte der Verteilung des Humusgehaltes (bei einer Gradation von 0,5 %) auf einer Fläche von 20 000 km² nach Multispektralaufnahmen des kosmischen Systems FRAGMENT auf dem Satelliten METEOR-PRIRODA erarbeitet.

Die Abb. 2 zeigt eine Aufnahme, die am 26. September 1980 durch das System FRAGMENT in dem Bereich 0,8 - 1,1 µm übermittelt wurde. Sie erfasst den Süden der Region Stavropol, den nordöstlichen Teil der Kabardinisch-Balkarischen ASSR, den nördlichen Teil der Nord-Ossetischen ASSR und den westlichen Teil der ASSR der Tschetschenen und Inguschen. Die Flachwasserscheiden befinden sich unter Ackerkultur und heben sich in Form von Rechtecken mit minimaler Helligkeit ab (ausschließlich der Wasserflächen). Das Streudiagramm der Mittelwerte der Helligkeitsfelder, die für $\lambda = 0,6 - 0,7$ und $0,8 - 1,1 \mu\text{m}$ berechnet wurden, veranschaulicht die Abb. 3.

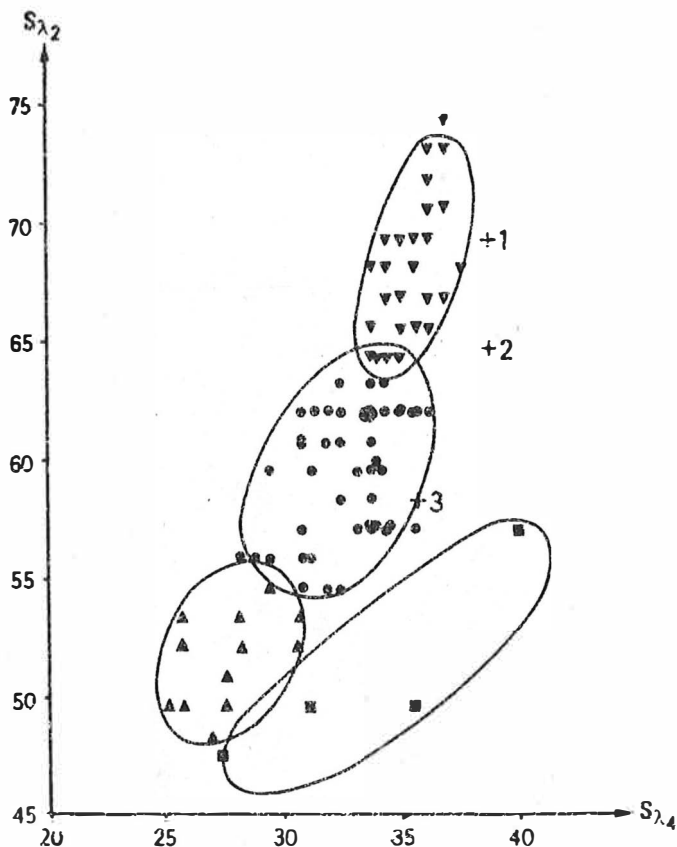


Abb. 3 Clusterbildung für Böden nach Aufnahmen des Scanners FRAGMENT für $\lambda_2 = 0,6 - 0,7 \mu\text{m}$ und $\lambda_4 = 0,8 - 1,1 \mu\text{m}$

Sie wird durch den fließenden Übergang der Helligkeit und das Fehlen offensichtlicher Merkmale für die Hervorhebung natürlicher Cluster charakterisiert. Die Anwendung des verbreitetsten Modells der kompakten Hypersphären, die durch Zwischenräume voneinander getrennt sind, deren Größe im Vergleich zu den Durchmessern der Cluster wesentlich ist, entfällt für die Clusteranalyse vollkommen. Deshalb wird das Kriterium der Nähe verwendet, das eine gewisse sinnvolle Bestimmung der geographischen Nachbarschaft gestattet. In einem jeden Kern der ausgewählten Region werden in unmittelbarer Nähe voneinander einige Felder ausgewählt, die entsprechend den Bedingungen der Landschaft ähnliche Bodencharakteristika haben. Durch die Erweiterung des Kernes auf Grund der Einbeziehung in den Merkmalsraum bilden die anderen Felder einen Cluster, dessen Größe von dem festgelegten Koeffizienten der Helligkeitsstreuung von 0,05 - 0,1 begrenzt wird.

Die Ergebnisse der Clusteranalyse werden auf die kartographische Grundlage übertragen, wodurch die räumliche Verteilung der Cluster-

elemente bestimmt wird (Abb. 4). Da die untersuchten Bodeneinheiten gleichartige bodenbildende Gesteine haben und die Helligkeitsunterschiede zwischen ihnen im wesentlichen durch den Humusgehalt bestimmt werden, ermöglichte die Clusterteilung den Boden nach diesem Merkmal zu bewerten. Auf der Grundlage von Höhenmarkenbeobachtungen (Feldmessungen) und Laboranalysen wurde jede Bodenunterzone durch eine Durchschnittskennziffer des Humusgehaltes zwischen 2,5 % und 3,5 % charakterisiert /7/.

Unter dem praktischen Aspekt des kosmischen Geosystemmonitorings wurde die Aufgabe der Verfolgung des Zustandes von landwirtschaftlich genutzten Landschaften für deren zielgerichtete Leitung und die Erarbeitung von Prognosen gelöst. In Abhängigkeit von der Struktur der Bodennutzung und der Größe der landwirtschaftlichen Schläge müssen die konkreten Methoden der Anwendung des kosmischen Monitorings an die physisch-geographischen Bedingungen angepaßt werden. Um die Haupteigenschaften der kosmischen Mittel - die Möglichkeit der periodischen Schnellabtastung des Territoriums - nutzen zu können, wurde die Methode der statistischen Auswahl entwickelt. Durch die Bestimmung der vorher ausgewählten begrenzten Flächen (analog den Modell-Polygonen) mit typischen landwirtschaftlichen Geosystemen, die das Verhältnis der Kulturen für große Regionen widerspiegeln, kann man die erhaltenen Werte auf große Territorien extrapolieren. Die Ausgliederung derartiger, hinsichtlich des Charakters der Bodennutzung und der Auswahl

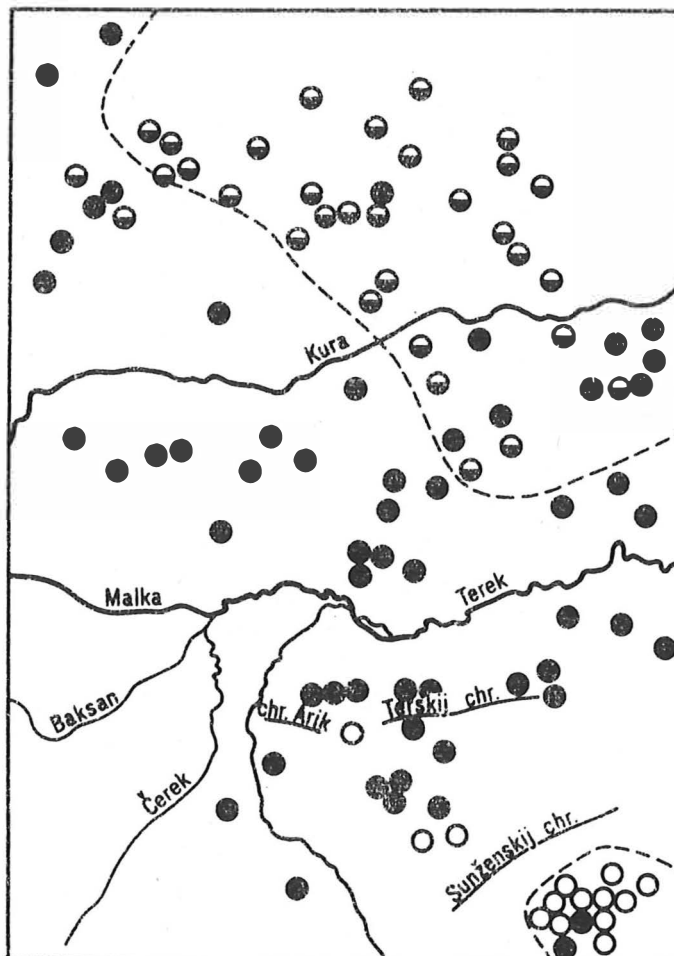


Abb. 4 Räumliche Verteilung der Cluster

der Kulturen gleichartiger großer Regionen erfolgt nach den kosmischen Aufnahmen. Die Stichproben können sowohl von kosmischen Aufnahmen als auch von Luftbildern gemacht werden. Die Methode der statistischen Stichproben hat einen wesentlichen Vorzug gegenüber der durchgehenden Erhebung auf Grund der starken Reduzierung des Umfanges der notwendigen Information sowohl der terrestrischen als auch der Fernbeobachtungen. Diese Methode besitzt eine bestimmte Flexibilität bezüglich der Verknüpfung der Luftfahrt- und Weltraummittel sowie zur Berücksichtigung des Einflusses der meteorologischen Faktoren, die die Aufnahme behindern /4/.

Auf allen Etappen entsteht die Aufgabe der Clusterbildung der durch Multispektralabbildungen vorgenommenen Messungen. Die Anwendung von formalen Methoden der Clusterbildung ohne physikalisches und geographisches Durchdenken der Eigenschaften der gemessenen Größen und deren natürlichen gegenseitigen Beziehungen liefert in den meisten Fällen keine zuverlässigen Ergebnisse. Deshalb müssen zusätzliche Bedingungen einbezogen werden. In den geographischen Aufgabenstellungen sind sie mit der Berücksichtigung der relativen räumlichen Anordnung verbunden.

Die Erforschung der Nutzung der Ackerflächen und der Saatstrukturen zeigt, daß in den Grenzen einer gleichartigen Landschaft bei bestimmter Schlägeinteilung die angrenzenden

Felder mit verschiedenen Kulturen bestellt werden. Eine derartige determinierte Struktur der Bodennutzung erfolgt innerhalb von Territorien, die durch natürliche oder künstliche Grenzen bestimmt sind. Die Gesetzmäßigkeit besteht sowohl unter den Bedingungen der planmäßigen vergesellschafteten Bodennutzung als auch bei privater Wirtschaftsführung. Auf der Grundlage dieser Eigenschaften wurde die Bedingung formuliert - zwei benachbarte Felder, die mit Kulturvegetation bestellt sind, gehören verschiedenen Klassen an - und als Kriterium der Nähe bei der Formalisierung des Modells der Clusteranalyse genutzt.

Die erarbeitete Methodik der Klassifizierung der landwirtschaftlichen Felder wurde bei den Forschungsarbeiten des Programms INTERKOSMOS /8/ verwendet. Sie ermöglichte, die Flächen zu bestimmen, die unter den Bedingungen der privaten Wirtschaftsführung auf dem Territorium der VRP mit verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturen bestellt sind. Die Flächen, die mit Getreide- und Hackfrüchten bestellt sind, wurden mit einer Genauigkeit von 97 % bestimmt, die Flächen der einzelnen Kulturen wie Weizen, Roggen, Gerste, Zuckerrüben, Kartoffeln, Weiden und Mais aber mit einer Genauigkeit von 75 - 90 % (Abb. 5).

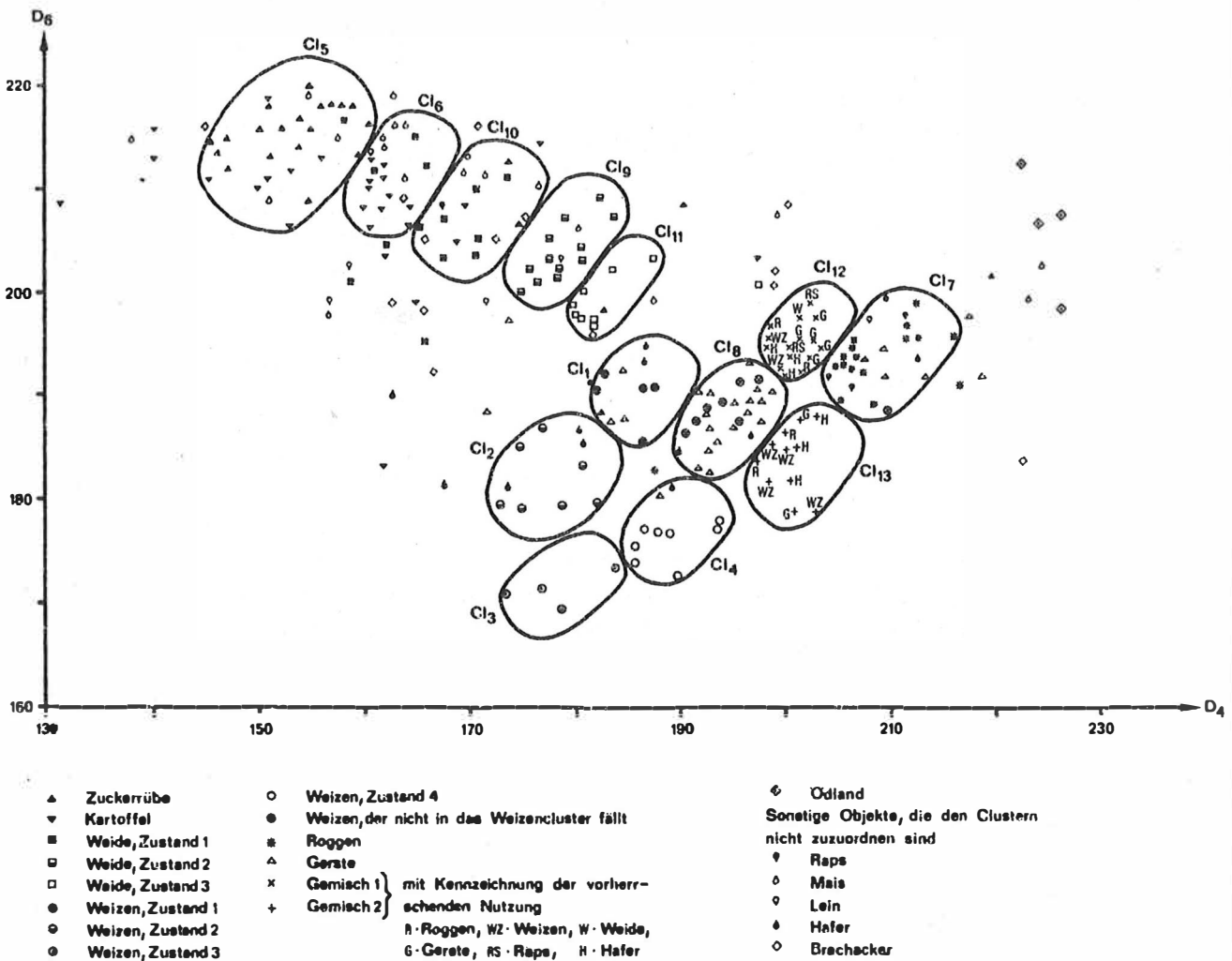


Abb. 5 Clustereinteilung im Testgebiet Kulín

Die gegenseitige Lage der Cluster der landwirtschaftlichen Vegetation im spektralen Merkmalsraum erweist sich während bestimmter phänologischer Phasen als recht stabil, was ermöglicht, den Umfang der Erdbeobachtungen zu reduzieren, um den Grad der Entwicklung der Kulturen einzuschätzen. Diese Eigenschaften der relativen Stabilität können bei der Schaffung von regionalen Katalogen und spektralen Charakteristika der Vegetation genutzt werden.

Die angeführten Beispiele der geographischen Untersuchungen auf quantitativer Ebene zeigen die Effektivität der Meßeigenschaften der Aufnahmen aus dem Weltraum. Der wachsende Fluß von kosmischen Informationen hört auf nützlich zu sein, wenn er nicht in einem Geoinformationssystem organisiert wird. Seine Rolle besteht nicht nur in der Sammlung, sondern auch in der Verarbeitung der Ausgangsdaten zu Kennziffern, die den Zustand der beobachteten territorialen Einheit charakterisieren (darunter auch die kartographische Darstellung). Das ist seinerseits mit der Schaffung von funktionalen Modellen und der Kenntnis der gegenseitigen Beziehungen zwischen den Komponenten verbunden. Eine derartige Entwicklungstendenz der Versorgung der Geographie mit Informationen läßt sich in vielen Ländern beobachten.

Literatur

- /1/ ALEKSANDROVA, T. D.: Analiz vozmožnostej i organičenij primenenija metodov matematičeskoj statistiki v landšaftnyh issledovanijach. - In: Akad. nauk SSR, Ser. geogr. - Moskva (1970)5
- /2/ KUPRIJANOVA, T. P.: Principy i metody fiziko-geografičeskogo rajonirovanija s primeneniem EVM. - Moskva: Nauka, 1977
- /3/ Lenco, U.: Remote Sensing and natural resources. - In: Nature and Resources. 18(1982)2.- S. 2 - 9
- /4/ LENDGRIB, D. A.: Technika analiza dlja distancionnogo zondirovanija Zemli. - In: TJJER, 2.- 69(1981)5.- S. 160 - 176
- /5/ QUIEL, F.: Landnutzungskarte für Baden-Württemberg aus LANDSAT-Daten.- Geogr.Rdsch. Braunschweig(1984)6.- S. 309 - 313
- /6/ SIDORENKO, A. V.: Zadači issledovanija prirodnych resursov Zemli kosmičeskimi metodami.- In: Issled. Zemli iz Kosmosa. - (1980)1. - S. 7 - 11
- /7/ VASIL'EV, L. N.; POLNARŠINOV, A. G.: Metodika dešifrirovanija počvennogo pokrova raspačhannyh polej po spektral'nym jarkostjam, izmerennym po koemičeskim mimkam.- In: Issled. Zemli iz Kosmosa.- (1984)1.- S. 51 - 57
- /8/ VASIL'EV, L. N.; KAČINSKI, R.: Klasterizacija sel'skochosjajstvennyh ugodij po mnogozonal'nym snimkam.- In: Issled. Zemli iz Kosmosa.- (1984)5

Gegenwärtiger Stand und Entwicklungsperspektiven der Fernerkundung der Erde im Geographischen Institut der ČSAV

V. VAHALA

1. Gegenwärtiger Stand und die im Institut zu lösenden Aufgaben der Fernerkundung der Erde (FE)

Das Geographische Institut der ČSAV hat eine intensive Fernerkundung der Erde in moderner Auffassung erst am Anfang des laufenden Fünfjahrplanes praktisch begonnen, als eine selbständige Arbeitsgruppe und später eine FE-Abteilung organisiert wurde. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde bereits zum Studium der Bodenerosion ein funkgesteuertes Flugzeugmodell für Flugaufnahmen aus kleinen Höhen laufend gebraucht, während bei der Lösung sonstiger Aufgaben aus dem

Bereich der physischen Geographie Flugaufnahmen des zentralen gesamtstaatlichen Archivs verwendet wurden.

Für den Zeitraum des 7. Fünfjahrplanes wurde das Institut zum Koordinator der Hauptaufgabe des Staatsplanes für die Grundlagenforschung II-7-2 "Die Erde, Fernerkundung und kartographische Modellierung der Landschaft". In diese Aufgabe wurden auch Arbeitsverpflichtungen eingearbeitet, die sich aus dem Arbeitsplan der Arbeitsgruppe für die Fernerkundung der Erde im Rahmen des INTERKOSMOS-Programms ergaben. Das Geographische Institut selbst wurde mit der Lösung der Teilaufgabe "Ausarbeitung der Methoden zur Erforschung geographischer Objekte und landwirtschaftlicher Kulturen und deren Zustände unter Ausnutzung von FE-Materialien" beauftragt.

Um die Lösung der erwähnten Aufgaben in Angriff nehmen zu können, hat das Institut folgende Vorbedingungen realisiert:

- In Zusammenarbeit mit n.p. Meopta wurde eine kleine multispektrale (sechskanalige) Kamera FLEXARET M-6 konstruiert.
- Es wurde ein RC-Modell für den Träger des Aufnahmeapparates entwickelt und konstruiert,
- Es wurden Methoden für Flugaufnahmen aus kleinen Höhen entwickelt,
- Das Laboratorium der Arbeitsgruppe (Abteilung) für FE wurde mit entsprechender Auswertetechnik ausgerüstet.

Zur Gewinnung von multispektralen Aufnahmen eines größeren Gebietes hat das Institut die Aufnahmen der tschechoslowakischen Forschungspolygone durch ein sowjetisches Fluglabor AN-30 anfertigen lassen. Die FE-Abteilung des Instituts hat bisher die Herausgabe folgender Veröffentlichungen bzw. Berichte vorbereitet:

- Vorläufiger Katalog spektraler Kennwerte ausgewählter Objekte zur Interpretation der FE-Fotomaterialien (1983),
- Methodische Anleitung zur Ausnutzung funkgesteuerter Flugmodelle zwecks Sammlung von Informationen im Prozeß der Fernerkundung der Erde (1984),
- Sammelband aus dem wissenschaftlichen INTERKOSMOS-Seminar "Methodische Fragen der FE im Bereich der Geographie, der Landwirtschaft, der Wasserwirtschaft und des Umweltschutzes" (1984),
- Die Ergebnisse des tschechoslowakisch-sowjetischen komplexen Aufnahmeexperimentes (1985).

2. Charakteristik der Hauptaufgabe des Staatsplanes für die Grundlagenforschung des Geographischen Instituts für den Zeitraum des 8. Fünfjahrplanes (1986-1990)

Auf Ersuchen der Staatlichen Plankommission hat das Präsidium der ČSAV für das Geographische Institut die Hauptaufgabe "Prognose der Entwicklung der Gebiete der ČSSR auf der Grundlage einer rationellen Nutzung ihrer Ressourcen (Potentiale)" gebilligt.

Die gesellschaftliche Zielsetzung der Aufgabe besteht darin, den Planungsorganen für die jeweiligen Gebiete objektiv erarbeitete Unterlagen zur Verfügung zu stellen, anhand derer eine rationelle Steuerung der Weiterentwicklung der jeweiligen Gebietsbereiche der ČSSR möglich wird.

Das wissenschaftliche Ziel der Aufgabe ist u. a.:

- Erarbeitung einer Theorie zur Bewertung des Zustandes und zur Bestimmung der Entwicklungstendenzen für die jeweiligen Gebiete der ČSSR, und zwar für den Natur-, den ökonomischen und sozialen Bereich sowie für die Lebensumwelt.
- Erarbeitung der Methodik zur Nutzung der Fernerkundung der Erde zwecks Bewertung des Zustandes und der Entwicklung der Gebiete.
- Erarbeitung der Auswertemethodik für die Bereiche der Volkswirtschaft und der staatlichen Verwaltung unter dem Gesichtspunkt der Anwendbarkeit für die Steuerung der Gebiete.

- Ausarbeitung von Prognosen der Entwicklung der Gebiete aus komplexer Sicht u. ä.

Außer dem Geographischen Institut der ČSAV werden an der Zusammenarbeit auch einige ausgewählte zweigliche Forschungsinstitute teilnehmen.

Aufgaben und Möglichkeiten der FE bei der Lösung der Hauptaufgabe des Instituts im Laufe des 8. Fünfjahrplanes

Es ist keine einfache Angelegenheit, diesen Problemkreis zu formulieren, da uns bislang nur wenige Erfahrungen und praktisch nutzbare Forschungsergebnisse zur Verfügung stehen, die durch die FE-Methoden gewonnen wurden. Die hauptsächlich positiven Aspekte der Ausnutzung der FE-Methoden für die Zwecke der Gebietsplanung bestehen nach unserer Ansicht in den folgenden Informationseigenschaften, die durch diese Methoden gewonnen wurden, und zwar:

- in der physikalischen Form der Information, wodurch eine operative mathematische Verarbeitung möglich ist;
- in einem wählbaren Maßstab der Information, wodurch eine objektive Generalisierung gewonnener Daten möglich ist;
- in der Zuverlässigkeit und maximaler Vollständigkeit der Information;
- in der Möglichkeit, wiederholt Informationen zu gewinnen;
- die Information ist elastisch, somit in verschiedenen Richtungen ausnutzbar;
- die Information kann in Systemmodelle eingegliedert werden;
- die Informationsgewinnungskosten sind relativ niedrig und die Arbeitsaufwände bei der Beschaffung von Informationen können niedrig gehalten werden.

Trotz einer schnellen Entwicklung der Technologien für die Fernerkundung der Erde in der ČSSR überschreitet bislang eine Reihe von Ansätzen das Niveau eines Experimentes nicht; damit diese Technologien als ein perfektes Mittel zum operativen Einsatz bereitstehen, ist eine nachfolgende Fachbereichsverarbeitung notwendig. In der gegebenen Situation können bis jetzt keine Grenzen der möglichen Nutzung der Fernerkundung der Erde für die Zwecke der Gebietsplanung und -steuerung gezogen werden. Im Zusammenhang mit der Bestimmung solcher Grenzen sind z. B. nachfolgend genannte Probleme zu lösen:

- Die Wahl geeigneter Aufnahmegeräte, ihrer Träger und zusammenhängender technischer Mittel und technologischer Prozesse,
- Auswahl geeigneter Aufzeichnungsmaßstäbe für diverse Planungsebenen,
- Sicherstellung der Raumorientierung für die gewonnenen Daten,
- Präzisierung bestehender Interpretationsschlüssel und Feststellen nachweisbarer Interpretationszeichen,
- Verarbeitung neuer zweckgebundener Methoden zur analogen und digitalen Verarbeitung gewonnener Daten,
- Verarbeitung der Ergebnis-Daten in eine für die Benutzer annehmbare Form.

Es bestehen keine Zweifel darüber, daß die FE für die Praxis der Planung und Steuerung eines Gebietes, wenn auch nicht die entscheidenden, doch mit Sicherheit nutzbare Informationen bieten kann. Solche Angaben können zur Sicherung und vor allem zur Verfolgung des Gleichgewichtes von Natur- und anthropogenen Einwirkungen auf die Entwicklung des Gebietes, beim Zustandekommen von alternativen Plänen, bei der Lösung von Widersprüchen z. B. im Bereich der Lebensumwelt usw. beitragen.

Der bisherige Stand der Methodenforschung zur Nutzung der FE in der Volkswirtschaft erreicht z. Zt. in der ČSSR noch nicht das für die gesellschaftliche Praxis erwünschte Niveau. Eine bestimmte Verzögerung ist eine Folge zahlreicher objektiver und subjektiver Faktoren. Dieser Stand wurde besonders negativ dadurch beeinflusst, daß die FE im Rahmen aller sonstigen kosmischen Arbeitsfelder in der ČSAV als letzte ihre Arbeiten aufgenommen hat. Eine andere Ursache des Zurückbleibens stellt die bisherige Orientierung unserer Industrie, insbesondere der optisch-elektronischen Industrie dar, wo die Bedürfnisse der FE nur schwer durchzusetzen

waren. Und schließlich wer ein Mangel an Finanzmitteln oder besser gesagt, ein hoher Preis der in der FE eingesetzten technischen Mittel eine dritte Ursache unseres Zurückbleibens.

Wesentlich besser steht es in der DDR; zu Recht gehört der DDR daher eine der vordersten Stellen bei der praktischen Nutzung der FE als auch in der Entwicklung der gerätemäßigen und methodischen Basis.

Welche konkreten Aufgaben im Rahmen der FE können nach unserer Meinung zum Nutzen der Gebietsplanung und -steuerung gelöst werden?

1. Erforschung der Nutzung von Naturressourcen, und zwar im Bereich der organischen als auch der anorganischen Natur.
2. Erforschung der Landnutzung; sie stellt eine wesentliche Hilfe bei der Kontrolle der Gebietswirtschaft dar. Diese Aufgabe wird z. Zt. im Rahmen des INTERKOSMOS-Programms von der DDR-Seite koordiniert.
3. Bestimmung der Schadstufen der Waldbestände und der landwirtschaftlichen Kulturen, vor allem unter dem Gesichtspunkt einer möglichen Einwirkung auf die Produktion. In diese Aufgabe können auch die sog. Naturkatastrophen (Baumbrüche, Überschwemmungen u. ä.) einbezogen werden.
4. Erforschung der Bodenerosion und der gleichzeitigen reliefbildenden Prozesse. Die Ergebnisse dieser Forschung können sowohl zur Lösung der Aufgabe nach Pkt. 3, als auch zur Lösung sonstiger praktischer Aufgaben, z. B. bei den Maßnahmen gegen die Erosion, zur Sanierung von Erdrutschen u. ä. dienen.
5. Bestimmung verschiedener Elemente der Umwelt, die in den jeweiligen Gebieten festgestellt werden müssen, ebenso wie weiterer Elemente, die den Zustand der jeweiligen Gebiete unterscheiden lassen (z. B. ökonomisches Potential u. ä.).

Die Planungsarbeiten für die Aufgaben des 8. Fünfjahrplanes sind noch nicht abgeschlossen. Folglich können augenblicklich die mitarbeitenden Organisationen noch nicht genau bestimmt werden. Außerdem wird die durch das Geographische Institut der ČSAV zu koordinierende Aufgabe einen rein interpretatorischen Charakter aufweisen, so daß die Entwicklung von Geräten und mathematischen Methoden in die anderen Hauptaufgaben, Richtungen und Programme eingeschlossen sein wird.

3. Ausrüstung des FE-Labors im Institut

Der Mangel an Ausrüstungen mit Geräten war auch eine der Ursachen des Zurückbleibens der Forschung im Bereich der FE. Stufenweise konnte das FE-Labor des Geographischen Instituts der ČSAV derart mit Geräten ausgerüstet werden, daß das Institut selbständig und im breitesten Umfang eine analoge Auswertung von aerokosmischen Aufnahmen durchführen kann. Zur Zeit verfügt das FE-Labor über folgende Geräte:

- MIKRODENSITOMETER MD 100 aus der DDR,
- DENSITRON mit zusätzlicher Scannereinrichtung aus der DDR.

Das Gerät wurde an den Minirechner ADT 4500 und einen CONSUL-Mosaikdrucker angeschlossen, - Dpto-elektronische Mischstufe aus Japan, Type NAC MULTICOLOR DATASYSTEM Modell 4200 F.

Zur Zeit hat das Institut die Möglichkeit, mit dem Gerät PERICOLOR aus französischer Produktion zu arbeiten. Das Gerät wurde im Institut für Informationstheorie und Automation der ČSAV in Prag installiert. Bei Bedarf können wir dem FE-Zentrum des Tschechischen Geodätischen und Kartographischen Instituts in Prag Aufträge erteilen, das mit dem Gerät Photomation 1700 OBTRONICS ausgestattet ist. Die Zusammenarbeit mit dem genannten FE-Zentrum leidet vor allem an unverhältnismäßig hohen Preisen, die für die auszuführenden Arbeiten zu bezahlen sind. Zukünftig soll das FE-Labor des Geographischen Instituts der ČSAV mit einem Robotron-System ausgerüstet werden.

4. Sonstige zukünftige Aufgaben der FE

Das Geographische Institut der ČSAV wird praktisch auch in die Problemlösungen der FE-Arbeitsgruppe des INTERKOSMOS-Programms einbezogen werden; dabei wird sich das Institut vor allem auf die Erforschung der Geosysteme mit FE-Mitteln und Methoden konzentrieren. Auf dem ČSSR-Staatsgebiet wurden für diese Zwecke folgende Geosysteme ausgewählt:

- Agrotechnisches System im Gebiet von Südmähren und des Donaubeckens sowie des Ostslowakischen Flachlandes,
- Waldsystem im Gebiet von Nordböhmen,
- Anthropogenes System im Gebiet von Nordwestböhmen.

Das Geographische Institut wird Koordinator der Hauptaufgabe des Staatsplanes für die Grundlagenforschung II-7-2 "Erforschung ausgewählter Geosysteme auf dem Staatsgebiet der ČSSR durch Methoden der Fernerkundung der Erde" sein. Hier wird die Lösung nachfolgender Teilaufgaben angestrebt:

- Erforschung optischer Eigenschaften der grundlegenden Komponenten des Wald-Geosystems (mit der Lösung beauftragt: Forschungsinstitut für die Schall- und Bildtechnik in Prag).
- Erforschung von Methoden für die Fernerkundung der anthropogenen Einwirkungen im Wald-Geosystem (mit der Lösung beauftragt: Forstwirtschaftliche Fakultät der Landwirtschaftlichen Hochschule in Brno).
- Fernerkundung des agrotechnischen Geosystems (mit der Lösung beauftragt: Geographisches Institut der ČSAV in Brno).
- Erforschung von Methoden für Fernerkundung der anthropogenen Zustandsänderungen landwirtschaftlicher Kulturen (mit der Lösung beauftragt: Forschungsinstitut für die Entwicklung der landwirtschaftlichen Produktion in Prag).
- Methoden der Fernerkundung für die Dynamik der Veränderungen in den Geosystemen des Donaubeckens und des Ostslowakei-Flachlandes (mit der Lösung beauftragt: Geographisches Institut der SAV in Bratislava).
- Methoden der Fernerkundung des hydrologischen Geosystems mit besonderer Berücksichtigung des Komplexes der exogenen reliefbildenden Prozesse, Bestimmung des Zustandes und der Dynamik von Wasserkörpern, der Schnee- und Eisbedeckung (mit der Lösung beauftragt: Lehrstuhl für Hydraulik und Hydrologie der Baufakultät der Tschechischen Technischen Hochschule in Prag).
- Methoden der Fernerkundung der geologischen Komponente für ausgewählte Geosysteme in der ČSSR (mit der Lösung beauftragt: Zentrales Geologisches Amt in Prag).
- Analoge und analytische Lösungen für Transformationen der Fernerkundungsaufzeichnungen der Geosysteme auf dem ČSSR-Staatsgebiet (mit der Lösung beauftragt: Baufakultät der Technischen Hochschule in Brno).

5. Internationale Zusammenarbeit

Die Tschechoslowakei nimmt an der internationalen Zusammenarbeit im FE-Bereich nur im INTERKOSMOS-Programm teil, und zwar hauptsächlich in der 8. Richtung bei der Lösung von 4 bekannten Themenkreisen:

- 8.1 Nutzung der FE im Bereich der Geographie, der Land- und Forstwirtschaft (Koordinator: UdSSR),
- 8.2 Nutzung der FE bei Bestimmung der Landnutzung (Koordinator: DDR),
- 8.3 Nutzung der FE bei Erforschung von Gewässern (Koordinator: VR Ungarn),
- 8.4 Nutzung der FE im Bereich der Umwelt (Koordinator: ČSSR).

Im 8. Fünfjahrplan wird die ČSSR an der internationalen Zusammenarbeit im INTERKOSMOS-Programm an der Erfüllung der Aufgabe "Erforschung der Geosysteme mittels FE-Methoden" teilnehmen.

Wenn man die bisherige internationale Zusammenarbeit objektiv bewertet, ist nach meiner Auffassung anzunehmen, daß auf diesem Gebiet noch große Reserven zur Verfügung stehen und daß diese Zusammenarbeit noch wesentlich verbessert werden kann. Einer der möglichen Wege dazu wäre sicher eine Vertiefung der bilateralen Zusammenarbeit mit der DDR.

6. Zusammenfassung

Dieser Aufsatz gibt eine grobe Übersicht über die Forschungsrichtungen des Geographischen Instituts der ČSAV bei Berücksichtigung des Platzes, des Standes sowie der Perspektiven der Fernerkundung wieder. Außer der eben gezeigten Problematik könnte auch noch die Frage der Kadervorbereitung im FE-Bereich auf den Hochschulen und im Geographischen Institut der ČSAV selbst behandelt werden. Das Institut verfügte am Anfang des 7. Fünfjahrplanes in diesem Fachbereich praktisch nur über einen wissenschaftlichen Mitarbeiter. Heute hat sich die Lage in diesem Bereich wesentlich verbessert.

Ich darf annehmen, daß dieser Aufsatz - auch wenn er nur richtungsweisend ist - dem Leser hilft, eine entsprechende Vorstellung über die Orientierung der wissenschaftlichen Forschungsarbeiten im Geographischen Institut der ČSAV sowie den Stand und die Perspektiven der Weiterentwicklung von FE-Methoden in der ČSSR zu geben.

Fernerkundung in der tschechoslowakischen Geographie

J. KVITKOVIČ, J. FERANEC

Das Bedürfnis, exakte zeit-räumliche Charakteristika für eine wissenschaftliche Lösung von Problemen der Raumordnung der Landschaft operativ zu gewinnen, ist auch unter den Bedingungen unseres Staates sehr aktuell. Geographisch orientierte Forschungen nehmen bei der Lösung dieser Probleme einen wichtigen Platz ein. Dank bedeutsamer Fortschritte im Flugwesen und in der Kosmonautik bieten sich auch für die Geographie Möglichkeiten, nach Mitteln zu greifen, welche die angedeuteten Probleme auf qualitativ höherem Niveau lösen helfen. Als eines dieser Mittel können Methoden der Fernerkundung betrachtet werden. Obwohl diese Methoden im internationalen Maßstab auf dem Gebiet der geographischen Forschung in den letzten Jahren umfangreich genutzt wurden und auch künftig immer mehr ausgenutzt werden, kommen sie in der tschechoslowakischen Geographie bislang nicht wirkungsvoll zur Geltung. Dieser Zustand hat verschiedene Ursachen. Unter anderem sind vor allem eine ungenügende und wenig operative Gewinnung aerokosmischer Aufnahmen und der Mangel an qualifizierten sachverständigen Kadern zu erwähnen.

Die Problematik der Fernerkundung hat in ihrer Breite einen interdisziplinären Charakter. In geographischer Umsetzung wird unter Fernerkundung ein Komplex von Aufnahmemethoden und die Auswertung der Aufnahmen (optisch-analogue und digitale) verstanden. Im Rahmen einer so verstandenen Fernerkundung kann der Anteil der tschechoslowakischen Geographen an ihrer Ausnutzung, evtl. an ihrer weiteren Entwicklung nach zwei grundlegenden Gebieten gegliedert werden:

- a) Gebiet der wissenschaftlichen Forschung
- b) Gebiet der Bildung

Gebiet der wissenschaftlichen Forschung

Im Vergleich zum Gebiet der Bildung ist es viel umfangreicher und seit Anfang des Jahres 1981 dadurch bestimmt, daß Geographen im Rahmen der Aufgaben des Staatsplanes für Grundlagenforschung die Lösung der Hauptaufgabe "Erde, Fernerkundung und kartographische Modellierung der Landschaft" koordinieren (Geographisches Institut der ČSAV ist die Hauptkoordinierungsstelle und das Geographische Institut der SAV Bratislava kooperierende Einrichtung). Durch die Eingliederung dieser Aufgabe in den Staatsplan für Grundlagenforschung wurde die Bemühung um primäre Integration der Aufgaben der Fernerkundung durchgesetzt. Das wissenschaftliche Ziel dieser Aufgabe ist es, auf der Grundlage der durch Methoden der Fernerkundung gewonnenen Aussagen, Methodiken der Identifikation und Einschätzung einzelner Komponenten der Landschaftssphäre in ihrer statischen und dynamischen Form auszuarbeiten und ihre optimale Darstellung auf Karten, Kartogrammen und in Digital-Modellen vorzuschlagen.

Obwohl die genannte Hauptaufgabe inhaltlich verhältnismäßig umfangreich ist, ist eine direkte Teilnahme der Geographen auf Forschungen zur Ausarbeitung von Methodiken der Interpretation verschiedener Typen aerokosmischer Aufnahmen konzentriert. Verhältnismäßig gute Ergebnisse wurden bei der Gewinnung von signifikanten geographischen und physikalisch-energetischen Charakteristika der Komponenten der Landschaftsstrukturen erreicht, die als Ausgangsangaben für die Erarbeitung von Interpretationsmethodiken multispektraler Luft- und kosmischer Aufnahmen dienen. Die durch Interpretation gewonnenen Aussagen wurden bei der Schaffung von thematischen Landschaftskarten ausgenutzt. (Es wurden Landnutzungskarten der Umgebung von Trebišov, des Westslowakischen Bezirkes, die Karte der Sumpfböden des unteren Ondava-Gebietes im Ostslowakischen Tiefland und weitere erarbeitet).

Die Landnutzungskarte des Westslowakischen Bezirkes (Abb. 1), die auf Grund der durch Interpretation kosmischer Aufnahmen (mit der Kamera KATE-140) gewonnenen Daten erarbeitet wurde, ermöglicht eine detaillierte Analyse der erforschten Landnutzungskategorien. Die Gewinnung aktueller zeit-räumlicher Charakteristika über Landnutzungskategorien mittels Interpretation multispektraler kosmischer Aufnahmen unterstützt unsere Auffassung, sie als formale materielle Äußerung der Aktivität des Menschen in der Landschaft zu verstehen, welche die Art der Befriedigung seiner gesellschaftlichen Bedürfnisse widerspiegelt. Deshalb haben wir uns bei der Erarbeitung der genannten Karte auf die Darstellung eines Raumbildes der materiellen Äußerung aller gesellschaftlich-ökonomischen Aktivitäten orientiert.

Das methodische Gesamtverfahren bei der Schaffung der gegebenen Karte kann in folgende Etappen geteilt werden:

- Analyse der bestehenden thematischen Karten und rekognoszierende Geländeforschung,
- Schaffung additiver Abbildungen am Projektor MSP-4,
- Zusammenstellung eines selektiven Interpretationsschlüssels,
- Interpretation additiver Abbildungen für Bedürfnisse der Identifikation der kartierten Landnutzungskategorien,
- Zusammenstellung von Interpretationsschemata der Landnutzung und ihre Transformation in eine topographische Grundkarte mit Hilfe von Paßpunkten,
- Kartographisch-polygraphische Verarbeitung des Autorenoriginals /1, 2/.

Der Prozeß der Schaffung der angeführten Karten bestätigte die Nutzungseignung der durch Interpretation aerokosmischer Aufnahmen gewonnenen Angaben in der thematischen Kartographie. Die Methodiken wurden ferner auch bei der Forschung der Bodenerosion, der anthropogenen Reliefformen, der geomorphologischen-neotektonischen Verhältnisse des Ondava-Berglandes, der Štiavnické vrchy (Berge) und des westlichen Teiles der Niederen Tetra ausgenutzt. Die erwähnten Interpretationsmethodiken können auch als ein Instrument der Landschaftsanalyse betrachtet werden, das ein aktuelles zeit-räumliches Bild der Landschaftsobjekte bietet. Sie können auch für Bedürfnisse der Territorialplanung sehr gut ausgenutzt werden.

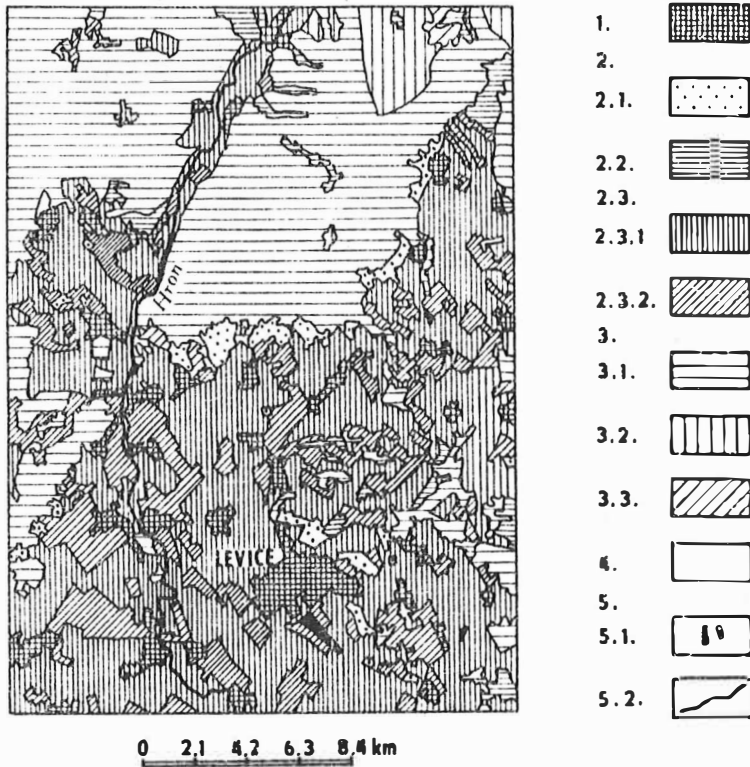


Abb. 1 Ausschnitt aus der Landnutzungskarte /Physiognomie der Landschaft/ der Slowakischen Sozialistischen Republik; erarbeitet auf Grund der Interpretation von multispektralen kosmischen Aufnahmen

Legende

1. Urbanisierte und technisierte Landschaft
2. Agrarlandschaft
 - 2.1. Mit Gärten und Weinbergen
 - 2.2. Mit Wiesen und Weiden
 - 2.3. Mit Ackerboden
 - 2.3.1. Mit Vegetation
 - 2.3.2. Ohne Vegetation
3. Waldlandschaft
 - 3.1. Mit Laubwäldern
 - 3.2. Mit Nadelwäldern
 - 3.3. Mit Mischwäldern
4. Unfruchtbare Landschaft
5. Gewässer
 - 5.1. Wasserflächen
 - 5.2. Wasserläufe

Im Rahmen der angeführten Hauptaufgabe nehmen Geographen auch an der Vorbereitung von komplexen Aufnahmeexperimenten der Fernerkundung teil. Eine Grundbedingung dieser Arbeiten ist die Tatsache, daß bei der Aufnahme der Erdoberfläche die erforschten Objekte und Erscheinungen in Wechselbeziehung mit jenem geographischen Milieu stehen, in dem sie sich befinden bzw. dessen Teil sie bilden. Deshalb ist bei der Vorbereitung eines Aufnahmeexperimentes die Kenntnis objektiv existierender Gesetzmäßigkeiten in Form von raum-zeitlichen Wechselbeziehungen einzelner Objekte und Erscheinungen im Rahmen des betreffenden Landschaftssystems äußerst wichtig. Die Kenntnis dieser Wechselbeziehungen ermöglicht z. B. den optimalen Zustand der Objekte und die Zeit zu bestimmen, zu der die spektrale Äußerung der verfolgten Phänomene am meisten signifikant ist, was sowohl praktische Bedeutung für die Wahl eines optimalen Aufnahmezeitpunktes hat, als auch wichtige Informationen für die Interpretation liefert.

Nicht unbeachtlich ist auch der Anteil der Geographen an der Sicherung von synchronen Geländekartierungsarbeiten. Diese werden durch einen Vergleich der interessierenden Objekte und Erscheinungen, die auf vorhandenen Karten abgebildet sind, mit ihrem realen Zustand in der Landschaft (zur Zeit der Aufnahme) realisiert, wobei gegebenenfalls einige der sich dynamisch ändernden Zustände kartiert werden (z. B. rezente geomorphologische Prozesse, anthropogene Einflüsse auf die Landschaftselemente, die Landnutzung u. ä.). Sie werden synchron mit der Aufnahme an kleinen repräsentativen Testflächen durchgeführt, die so gewählt werden, daß sie die wesentlichen zu erforschenden Objekte und Erscheinungen umfassen. Gewonnene Charakteristika werden bei der Identifikation der Objekte nicht nur für die Testfläche, sondern auch für genetisch analoge Gebiete genutzt.

Man kann sagen, daß die Teilnahme der Geographen an der Entwicklung neuer Aufnahmegeräte bei uns eine Tradition hat. Vielen von Ihnen ist bestimmt die Aufnahme aus kleiner Höhe mit Hilfe von Flugzeugmodellen, die durch Funksender gesteuert sind, bekannt. Auf Grund bestimmter Erfahrungen wurden spezifische Flugzeugmodelltypen entwickelt, die als Träger von einfachen kommerziell erzeugten Aufnahmeapparaten dienen. Die Entwicklung auf diesem Gebiet geht voran. Die Initiatoren sind Mitarbeiter des Geographischen Instituts der ČSAV in Brno, die auch die Entwicklung einer miniaturierten Multispektralkamera FLEXARET M 6 gesichert haben. Der spektrale Bereich der Kamera stimmt im wesentlichen mit dem Umfang der Kamera MKF-6 überein. Ein grundsätzlicher Vorteil der Aufnahme aus kleinen Höhen ist, daß sie operativ gewonnen werden und der Betrieb keinen großen finanziellen Aufwand erfordert. Sie wird gewöhnlich bei der Beobachtung der Dynamik sich schnell ändernder qualitativer Zustände der Landschaftselemente auf kleinen Gebieten verwendet. Es ist äußerst günstig, Aufnahmen aus kleinen Höhen im Zusammenhang mit methodischen Arbeiten durchzuführen.

Gebiet der Bildung

Die Ausbildung der Geographen für die Fernerkundung hat an unseren Universitäten eine sehr kurze Tradition. Die Zahl der Unterrichtsstunden ist gering. Interessehalber möchten wir erwähnen, daß die Problematik der Fernerkundung an der Komenius-Universität in Bratislava im 2. Jahrgang 1 Semester und im 3. Jahrgang 1 Semester mit dem Stundenumfang 1/1 und 1/2 vorgetragen wird. Die Vorträge und Übungen der Karls-Universität in Prag sind im 3. Jahrgang 1 Semester und im 5. Jahrgang 1 Semester mit dem Stundenumfang 2/1 eingeordnet. Geographiestudenten der Naturwissenschaftlichen Fakultät der JEP-Universität in Brno besuchen Wahlvorlesungen im Fach Fernerkundung. Es ist zu bemerken, daß der Unterricht nicht auf dem erforderlichen Niveau gesichert werden kann, da die Hochschulen keine Labors für die Interpretation von aerokosmischen Aufnahmen haben und ein Mangel an geeigneten offenen Aufnahmen besteht. Eine ähnliche Situation ist auch an den technischen Hochschulen vorhanden.

Ein weiterer Hinweis auf eine nicht gerade günstige Situation auf dem gegebenen Gebiet ist die Tatsache, daß seit 1975 bisher nur 4 Kandidaten-Dissertationsarbeiten zur Proble-

matik der Fernerkundung ausgearbeitet und mit Erfolg verteidigt wurden (2 am Geographischen Institut der ČSAV in Brno, 1 am Geographischen Institut der SAV in Bratislava und 1 am Lehrstuhl für Kartographie und Physische Geographie der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Karls-Universität in Prag).

Sehr nahe zur pädagogischen Tätigkeit steht die Popularisierung der Fernerkundung, bei der Geographen eine verhältnismäßig entscheidende Rolle spielten und auch weiterhin spielen. Es ist festzustellen, daß bei uns gerade Geographen zu den ersten gehörten, die einen breiten Leserkreis durch populärwissenschaftliche Aufsätze darüber informierten, was Fernerkundung ist und wo sie überall in der Wissenschaft und Volkswirtschaft genutzt wird. Es handelte sich um die Popularisierung vorhandener Erkenntnisse für wissenschaftliche Kreise, die in verschiedenen Fachzeitschriften bzw. Monographien veröffentlicht wurden, die für einen breiten Interessentenkreis nur teilweise erschwinglich sind. Gegenwärtig beschränken sich Geographen nicht mehr nur auf die Popularisierung vorhandenen Wissens, sondern popularisieren auch eigene Erkenntnisse und Ergebnisse, die auf dem Gebiet der Landschaftsforschung mittels Fernerkundung gewonnen wurden.

Schlußbemerkung

Aus dem Angeführten ist es genügend deutlich geworden, daß in der tschechoslowakischen Geographie die Methoden der Fernerkundung einen dauerhaften Platz erst in letzter Zeit gefunden haben. In einem relativ kurzen Zeitabschnitt hatten unsere Geographen die Möglichkeit, sich davon zu überzeugen, daß die angeführten Methoden Aussagen bieten, deren Vorteile (vertikaler, horizontaler und dynamischer Zusammenhang) in wesentlichem Maße die Forderungen und Kriterien erfüllen, welche die analytische und synthetische Landschaftsforschung stellt. Es ist erforderlich, den erkennbaren Trend fortzusetzen und alle Formen und Mittel zu nutzen, damit diese progressiven Methoden, aber vor allem die durch ihre Vermittlung gewonnenen Aussagen, auch in unserer Geographie ihre Heimstatt finden. Das wird eine erhöhte Qualität der praktischen Ausbildung künftiger Geographen an Hochschulen, eine Vervollständigung der vorhandenen Interpretationseinrichtungen durch neue progressive Verarbeitungssysteme und nicht zuletzt eine größere Initiative von seiten der Geographen, neue unkonventionelle Quellen der Informationen über Objekte und Erscheinungen der Erdoberfläche zu nutzen, erfordern.

Literatur

- /1/ FERANEC, J.: Tvoba tematických máp s využitím údajov dial'kového prieskumu. - In: Geodetický a kartografický obzor.-30/72(1984)7.- S. 166 - 168
- /2/ FERANEC, J.; OTAHEL', J.; SLOBODA, Š.: Niektoré možnosti aplikácie údajov získaných interpretáciou multispektrálnych leteckých snímok pri mapovaní využitia zeme.- In: Matické modelovanie v kartografii.- Bratislava 1983.- S. 87 - 95

Überblick über die Fernerkundungstätigkeit im Institut für Geodäsie und Kartographie Budapest

K. TÓTH

Im Namen des ungarischen Instituts für Geodäsie und Kartographie begrüße ich Sie herzlich. Vielen Dank den Veranstaltern der 3. Fernerkundungskonferenz für die Einladung und die Möglichkeit, an dieser Konferenz teilnehmen zu können.

Im folgenden möchte ich einen kurzen Überblick über die Arbeiten zur Fernerkundung geben, die im Institut für Geodäsie und Kartographie in der UVR durchgeführt werden.

Die Forschungen zur Methodik, die Applikationsentwicklung und die Dienstleistungstätigkeit der Analog- und Digitalabteilung laufen seit drei Jahren in unserem Institut unter der Leitung des Hauptamtes im Landwirtschaftsministerium mit Unterstützung des Regierungsamtes für technische Entwicklung und INTERKOSMOS.

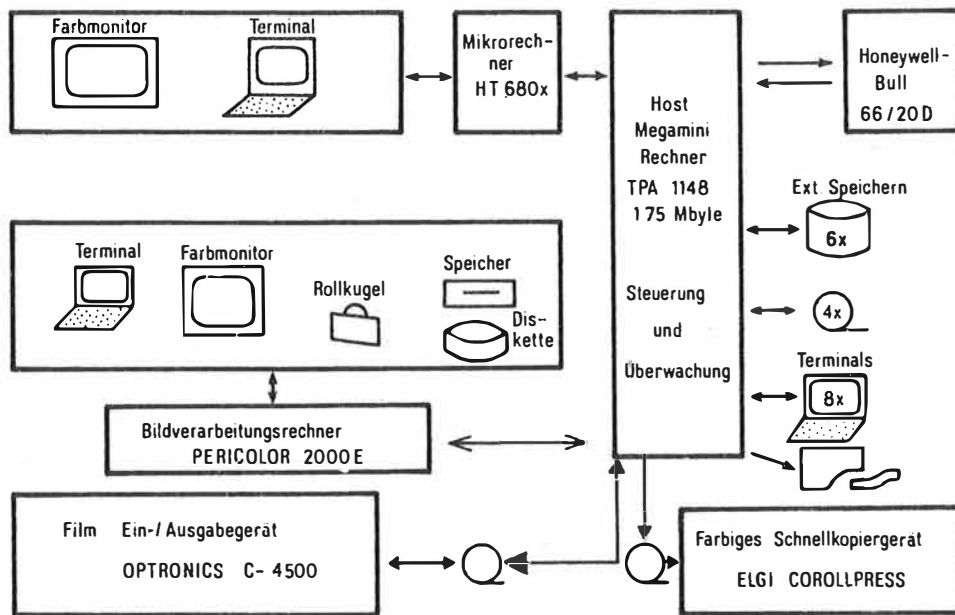
Die Zielsetzung der Tätigkeiten der Hauptabteilung Fernerkundung mit ihren 22 Mitarbeitern ist folgende:

- Datensammlung (Satellitenaufnahmen, Luftbilder usw.),
- Entwicklung von Geräten und Methoden,
- Nutzung der Fernerkundungsdaten für die Volkswirtschaftszweige und Applikationsforschung,
- Pflege der internationalen Verbindlichkeiten (GDSL, INTERKOSMOS, Institut PRIRODA Moskau, IGIKOPOLIS Warschau usw.).

Im Rahmen der Beschaffung, Registrierung und Archivierung von Daten und in Form von Dienstleistungen haben wir die folgenden Resultate erreicht:

1. Wir haben die kontinuierliche Beschaffung von LANDSAT-Daten **organisiert** und nutzen sie auf operativem Niveau. Diese Daten sind jedem Nutzer frei **zugänglich**. KOSMOS-Satellitenaufnahmen werden ebenfalls regelmäßig besorgt.
2. Seit 1982 sind wir aktiv am EARTHNET-Programm beteiligt. Als nationale Kontaktstelle können wir unseren Anwendern die Beschaffung von herkömmlichen (MSS) und von Aufnahmen der neuen Generation von digitalen Registrierungen (TM, CZCS) mit bedeutender Ermäßigung gewährleisten.
Dabei handelt es sich um folgende Dienstleistungen für unsere Nutzer:
 - Beratung bei der Verwendung und Auswertung von Fernerkundungsdaten,
 - Verkauf von Standardprodukten in folgenden Formen:
 - . Magnetbänder mit digital aufgezeichneten Daten,
 - . Photographische Produkte (Schwarz-Weiß- und Farbmischbilder in verschiedenen Meßstäben),
 - . thematische Karten aus Satellitenbildern.
3. In ähnlicher Weise wird die regelmäßige Beschaffung der französischen SPOT-Aufnahmen vorbereitet.
4. Luftbilddaufnahmen stehen unseren Nutzern ebenfalls zur Verfügung. Für Bildflüge verwenden wir die Flugzeuge des Wasserschutzdienstes und des Flugdienstes des Landwirtschaftsministeriums. Bereits mehrmals wurden Experimente mit sowjetischer und polnischer Beteiligung organisiert. Dabei wurden Aufnahmen im sichtbaren Spektralbereich, im nahen Infrarot und im thermischen Infrarotbereich angefertigt. Im Jahre 1984 nahmen wir an einem ungarischen Mikrowellenexperiment teil, bei dem die natürliche Strahlung der überflogenen Landschaften gemessen wurde.
5. In Zusammenarbeit mit Fachkollegen von fünf Agraruniversitäten und Forschungsinstituten werden ständig Referenzdaten von ausgewählten Testgebieten gesammelt.
6. Es wurden mehrere Experimente organisiert, wobei Luftbilddaufnahmen von Bord eines Heißluftballons, von Modellflugzeugen und von motorisierten Drachen aus angefertigt wurden.
7. Durch Dienstleistungen werden jährlich Einnahmen von etwa 200 000 Forint erzielt. Dieser Betrag ist ca. der sechste Teil der Kosten für 50 digitale und 600 Satellitenaufnahmen. Etwa 50 Institutionen nutzen auf der Basis einer Preisliste die Fernerkundungsdaten und vorverarbeitete Produkte.
8. Für die analoge Bildverarbeitung erfolgte der Aufbau eines Fotolabors mit kleiner Kapazität für Schwarz-Weiß- und auch für Farbverarbeitungen. Wenn großmaßstäbige Farbfotoarbeiten erforderlich sind, wenden wir uns an die Nachrichtenagentur MTI, die ein gut ausgerüstetes Zentrallabor hat.

9. Für die Dienstleistungen und die digitale Bildverarbeitung werden verschiedene Programmsysteme und Gerätekomplexe genutzt: Unser anwenderorientiertes Programmsystem für die digitale Bildverarbeitung besteht aus 180 Modulen und ist ausgelegt für den leistungsfähigen Großrechner HONEYWELL-BULL. Seit kurzem haben wir einen eigenen ungarischen Megamini-Rechner vom Typ TPA 1148 installiert, wobei zusätzlich eine Film-Ein-/Ausgabeeinheit, interaktive Bildverarbeitungsplätze und verschiedene sonstige periphere Geräte zur Verfügung stehen (Abb. 1). Für die Zukunft sind ein hardware-implémentierter Gleitkomma-Prozessor, ein CCD-Videoleser, Magnetbandgeräte mit größerer Schreibdichte (für HDT-Bänder), Zentraleinheitsaustausch und eine Kopplung mit dem HONEYWELL-System geplant. Die einzelnen Programme der Bildverarbeitungs-Software für unsere Megamini-Konfiguration werden in unserem Institut konzipiert und im Laufe der nächsten zwei Jahre fertiggestellt.



Digitales Bildverarbeitungssystem im Institut für Geodäsie und Kartographie

10. Über die zur Verfügung stehenden Fernerkundungsdaten und neue Produkte informieren wir unsere Nutzer regelmäßig durch Rundschreiben. Diese Rundschreiben werden an 120 Fachleute in 70 Institutionen verschickt. Die Veröffentlichungen beinhalten Preislisten, Satellitendurchgangstermine, Berichte von Fernerkundungsexperimenten und Hinweise zur Handhabung der FE-Daten.
11. Zur weiteren Qualifizierung der Institutionen, die sich mit Fernerkundung befassen, organisieren wir regelmäßig:
- thematische Tagungen zum Teil mit ausländischen Vortragenden,
 - Lichtbildervorträge für Vertreter von Partnerinstitutionen usw.
12. Seit 1982 empfangen wir zum Erfahrungsaustausch Gastfachleute bei uns.

13. Wir etehen den Benutzern mit einer Archivfilm-Sammlung, einem Schnellbildkatalog der LANDSAT- und METEOSAT-Aufnahmen und einem Fachliteraturkatalog zur Verfügung. Die Beschaffung der Bilder bzw. Magnetbänder erfolgt nach einem Referenzsystem unter Angabe der gewünschten Jahreszeit/Zeitpunkt.

Außer den oben aufgeführten Aktivitäten spielen Forschungsthemen zur Weiterentwicklung von Geräten und Methoden für die analoge und digitale Bildbearbeitung eine bedeutende Rolle. Das Ziel dieser Entwicklungsarbeiten ist der Aufbau eines hochauflösenden Systems zur Verarbeitung und quantitativen Analyse von Satelliten- und Luftbildaufnahmen. Ich möchte einige der wichtigsten Punkte aus der Reihe dieser Aufgaben hervorheben:

- a) Betriebsaufgaben der Interpretationsgeräte, Inbetriebnahme des Rechenzentrums für digitale Bildverarbeitung.
- b) Entwicklung neuer Technologien, Anwendungsmethoden und Algorithmen.
- c) Untersuchungen zur quantitativen Bildverarbeitung (Mustererkennung und Bildanalyse) für landwirtschaftliche Anwendungen.
- d) Schaffung einer anwenderorientierten Bildverarbeitungssoftware für HONEYWELL-BULL, PERICOLOR und TPA. Technologische Forschungen am Film-Ein-/Ausgabegerät COLORMATION.
- e) Verknüpfung des Großrechners HONEYWELL und der TPA-Konfiguration.

Auf folgenden Gebieten setzen wir die Anwendungsentwicklungen für die wirtschaftliche Nutzung von Fernerkundungsdaten an unserem Institut fort:

- a) Untersuchungen großflächiger landwirtschaftlich genutzter Territorien mit Hilfe von Luft- und Satellitenbildern. Auf dem Gebiet der Entwicklung von rechnergestützten Methoden der Bildverarbeitung hat unser Institut international bedeutende Resultate auf folgenden Gebieten erreicht:
 - Abgrenzung der in landwirtschaftlichen Großbetrieben produzierten Kulturpflanzen,
 - multitemporale Beobachtung der pflanzlichen Kulturen,
 - Ermittlung der Phänophasen und des Reifegrades,
 - Erkennung von Pflanzenschäden
(im Bezirk Nadudvar, seit 1982).
- b) Im Testgebiet Kartal-Gödöllő wurde eine Forschungsarbeit zur Erkennung von Pflanzenerkrankungen und zur Abgrenzung der Kulturpflanzen unter Verwendung von Infrarot-Falschfarbenfilm durchgeführt.
- c) Bodenkundliche Forschungen laufen seit 1981 mit Multispektral-Infrarot- und Mikrowellenaufnahmen von Flugzeugen aus.
- d) Flüsse, Seen und Hochwassererscheinungen werden durch Luftbilder und Satellitenaufnahmen kontrolliert.
- e) Für die Kontrolle und Planung von Meliorationsarbeiten setzen wir Farbinfrarotmaterial ein (in Kooperation mit der Agraruniversität Gödöllő).
- f) Unter Nutzung von Farbinfrarot-Meßkammerregistrierungen erfolgt z. Zt. eine Bestandsaufnahme der Schilf- und Wasserpflanzenbestände entlang des Balatonufers. Diese Arbeiten werden in Kooperation mit der Agraruniversität Keszthely durchgeführt.
- g) Unterstützung der Programme für die Territorialplanung und die Entwicklung von Erholungsgebieten durch Auswertung von Luftbild- und Satellitenaufnahmen.
- h) Waaeerqualitäts-Untereuchungen im Balaton mit rechnergestützten Bildverarbeitungsmethoden.
- i) Geologische Auswertung von digital verarbeiteten Satellitenaufnahmen.

j) Im Rahmen einer Studie geben wir einen Überblick über methodische Möglichkeiten zur Erkundung von Primärenergieträgern und Rohstoffen in Ungarn.

k) Anfertigung thematischer Karten der Flächennutzung mit Hilfe von digitalen Verfahren.

Die Hauptabteilung Fernerkundung möchte das zur Verfügung stehende ideelle und materielle Potential in erster Linie auf Themen, die eng mit der Landwirtschaftsentwicklung verknüpft sind, konzentrieren, nämlich:

- Verarbeitung von schnellen und zuverlässigen Methoden zur Feststellung von Änderungen der Bodennutzung,
- Prüfung der Pflanzenzustände und ihrer Entwicklungstendenzen, Ernteprognose und Ertragsabschätzung,
- Feststellung von Pflanzenachädigungen,
- Weiterentwicklung der Anwendungen für Meliorationseufgaben.

Das sind einige der Hauptziele, die wir in der nächsten Zeit realisieren möchten.

Ich denke nochmals für die Einladung und hoffe sehr, daß diese Konferenz zur weiteren Vertiefung der fachlichen und persönlichen Kontakte zwischen den Teilnehmern beitragen wird.

Einsatz der Geofernerkundung in der Atlaskartographie

W. STAMS, G. ZIMMERMANN

Ein Ziel der Kartographie war und ist es, die gesamte Erdoberfläche nach einheitlichen Grundsätzen in Karten darzustellen. Bisher war das mit heterogenem Ausgangsmaterial nur bedingt möglich. Seit mehr als einem Vierteljahrhundert stehen kosmische Aufnahmen der verschiedensten Art als neuartige flächendeckende Dokumentationsform von Daten der Geosphäre zur Verfügung. Für die Atlaskartographie werden damit völlig neue Aspekte eröffnet, die es umfassend zu nutzen gilt. Kosmische Bilder der Erdoberfläche bilden ein neues Darstellungsmittel terrestrischer Strukturen, das in der Lage ist, bei zielgerichtetem Einsatz zur Verbreitung eines modernen, dem gegenwärtigen Erkenntnisstand entsprechenden geographischen Weltbildes maßgeblich beizutragen. Erst mit Fernerkundungsaufzeichnungen wird es möglich, die Erde und die Vorgänge auf ihrer Oberfläche in globalen Zusammenhängen zu erfassen. Die kosmische Sicht ermöglicht dabei erstmalig wirklichkeitsnahe Abbildungen großräumiger Strukturen der Erdoberfläche, die es in geeigneter Form für die Allgemeinbildung zu nutzen gilt.

Aus der Fülle der bisher entwickelten Verfahren der Bildaufzeichnung und -wiedergabe sind jeweils besonders aussagefähige Bilder auszuwählen und zu erläutern. Eine geeignete Form zur Verbreitung von solchen kosmischen Aufnahmen und der aus ihnen zu gewinnenden Einblicke in geosphärische Strukturen ist ihre Einbeziehung in Welt- und Regionalatlanten.

In ausländischen Weltatlanten finden sich z. T. seit zwei Jahrzehnten in unterschiedlichem Umfang Satellitenbilder. Ihre Analyse und grundsätzliche Überlegungen zum Einsatz von Fernerkundungsaufzeichnungen in Atlanten lassen folgende Formen (Kombinationsstufen) als besonders aussagefähig erscheinen.

1. Kosmische Schrägaufnahmen von Ausschnitten der Erdoberfläche mit sphärischer Bildwirkung;
2. Kosmische Steilaufnahmen als Farbphoto, Falsefarbenphoto, Multispektralbild und Farbsynthesebild allein und in Gegenüberstellung mit Karten des gleichen Maßstabes;
3. Kosmische Aufnahmen vom gleichen Gebiet zu unterschiedlichen Zeiten zur Veranschaulichung dynamischer Prozesse der Geosphäre;
4. Graphische Kombinationen von Bild und Karte in Form von Satellitenbildkarten;
5. Bearbeitung von wirklichkeitsnahen Landschaftskarten und thematischen Karten auf der Grundlage von kosmischen Aufnahmen.

In den folgenden Ausführungen soll auf die einzelnen Formen (Kombinationstufen), die für die Atlaskartographie von besonderem Interesse sind, eingegangen werden.

Satellitenschrägbilder stellen heute ein sehr wertvolles Hilfsmittel zur Veranschaulichung der Struktur der Erdoberfläche dar. Durch die Abbildung von besonders markanten Landschaftsformen und -typen wird das Erlernen des Kartenlesens erleichtert und die Abstraktion der Karte mit ihrer Signaturfülle schneller verstanden. Karten und Satelliten-senkrechtbilder sind immer nur zweidimensional, durch sie lassen sich keine Raumvorstellungen vermitteln. Mit geeigneten Satellitenschrägbildern wird es möglich, Landschaftsformen räumlich wiederzugeben. Damit wird dem Schüler die Transformation vom räumlichen Bild auf die zweidimensionale Karte erleichtert. Die Rücktransformation von thematischen Kartenzeichen der Karte in die dreidimensionale Wirklichkeit kann nun durch bereits erworbene Raumvorstellungen leichter vollzogen werden.

Schrägbilder werden wesentlich besser als Senkrechtbilder aufgefaßt und sind für die Veranschaulichung besonders wichtig. Mit ihnen lassen sich ausgezeichnet die Krümmung, Größe und Schönheit der Erde eindrucksvoll wiedergeben und beweisen. Denkbar wäre, anhand von vorhandenen Satellitenbildern die Entstehung eines Wirbelsturms oder anderer markanter Erscheinungen dem Betrachter vor Augen zu führen.

Bereits in den 60er Jahren malte HÜTZEL sogenannte Vogelschaubilder aus der Astronauten-sicht. Sie geben die Landschaft in ihrer realen Struktur der Erdoberfläche und Farbgebung des Pflanzenkleides wieder, und zeigen, daß die Problematik bereits vor den ersten Satellitenbildern aktuell war. Diese Abbildungen besitzen den Vorteil, daß sie gegenüber wirklichen Satellitenschrägbildern unbeeinflusst von atmosphärischen Trübungen, Wolken und Beleuchtungsverhältnissen sind. Die optische Generalisierung im Satellitenbild, welche zum "Verschwinden" von konkreten Objekten führt, wird durch die graphische Überarbeitung sehr charakteristischer Objekte im handcolorierten Bild zu einer Umkehrung und Betonung wichtiger Objekte. Ein Umstand, der auch für die Bearbeitung farbvereinter wirklichkeitsnaher Landschaftskarten zu berücksichtigen ist.

Der Einsatz von kosmischen Steilaufnahmen und ihre Gegenüberstellung mit Karten, als zweite Kombinationstufe, bilden eine sich ergänzende Einheit. Für die Bearbeitung künftiger Atlanten werden zunehmend Beispiele von typischen Landschaften auf Satellitenbildern, die in dieser Form verständlich sind, nützlich sein. Andernfalls kann der Bildinhalt durch eine textliche Interpretation dem Nutzer erschlossen werden. Für die Gegenüberstellung von Satellitenbild und Karte erscheinen besonders solche Themen wie Vegetationstufen und Klimazonen, Landnutzung, Agrarwirtschaft, Geologie, Vulkanismus, Naturkatastrophen, Küstenformen, Deltabildung, Neulandgewinnung, Bewässerungsregionen, Trockenräume, arktische Räume als besonders geeignet. Die Gegenüberstellung von Satellitenbild und Karte erlaubt es dem Betrachter, wesentliche Unterschiede zwischen der konkreten Wirklichkeit im Satellitenbild und der in bestimmtem Maße generalisierten Karte deutlich zu erkennen. Der Schüler erfaßt dadurch z. B. eher, daß die allgemein-geographische Karte eine verebnete, verkleinerte, vereinfachte und erläuternde Darstellung der Erdoberfläche ist. Während die bewährte Gegenüberstellung von Luftbild und Karte geeignet ist, dem Leser die Struktur der topischen Dimension zu erschließen, wird mit der Gegenüberstellung von Satellitenbild und Karte unmittelbar die chorische Dimension ins Blickfeld gerückt.

Die Gegenüberstellung von Satellitenbildern des gleichen Gebietes zu unterschiedlichen Jahreszeiten ermöglicht es, Aussagen zu Vegetation, Bodennutzung und den periodischen Schwankungen der Schnee- und Eisedeckung im Rhythmus der Jahreszeiten im globalen Bereich zu gewinnen.

Durch Satellitenbilder in naturnahen Farben (sog. Grünversion) können beim Betrachter relativ leicht Assoziationen zwischen Natur und Bild geweckt werden. Aus diesem Grunde er-

scheinen Satellitenbilder in naturnahen Farben für Schulatlanten besser geeignet als Falachfarbenbilder. Änderungen von Landnutzung und natürlicher Vegetation lassen sich auf mehreren Satellitenbildern in der Grünversion, die zu verschiedenen Jahreszeiten aufgenommen wurden, sehr einfach veranschaulichen. Die entsprechende Karte kann im Vergleich dazu nur eine einzige dominante Farbassoziation darstellen.

Als eine weitere Kombinationsestufe von Satellitenbild und Karte kann die Satellitenbildkarte aufgefaßt werden. Es ist durchaus denkbar, daß Satellitenbildkarten in absehbarer Zeit herkömmliche Karten nicht nur ergänzen, sondern bestimmte Klassen auch ablösen werden. Satellitenbildkarten sind anschaulicher und graphisch attraktiver, in bestimmter Weise informativer und vor allem auch billiger sowie schneller herzustellen und damit aktueller. Das sind Vorteile, die man künftig beachten sollte. Unerlässlich ist es, neben geeigneten Gestaltungsvarianten für Satellitenbildkarten in Atlanten eine kostengünstige Technologie zu finden. Die Anwendung der Scannertechnologie stellt dabei eine sehr effektive Lösung dar. Wie weit hier der Einsatz rechnergestützter Konstruktionsverfahren für topographische Elemente möglich ist, wird die Zukunft zeigen.

Für die Gestaltung von Satellitenbildkarten erscheint vor allem die betonte und ergänzende Darstellung der Elemente Gewässernetz, Verkehrsnetz sowie der für den Kartengegenstand wichtigen Grenzen sinnvoll, um die Orientierung bzw. Einordnung der Erscheinungen auf der Karte zu erleichtern. Als unerlässlich ist die Hervorhebung bzw. Verdeutlichung der Siedlungsfläche mit einer weißen oder schwarzen Umrißlinie anzusehen. Das Relief und die Bodenbedeckung bedürfen zumeist keiner weiteren Ergänzungen, da sie den Landschaftscharakter, dessen Darstellung auf keiner herkömmlichen Karte bisher gelungen ist, sehr oft anschaulich widerspiegeln. Charakteristisch für Satellitenbildkarten ist, daß sie mit wenig Schrift auskommen müssen. Eine große Namensdichte würde die Lesbarkeit merklich einschränken und diese Kartenklasse in ihren typischen Zügen, der Wiedergabe von Relief und Bodenbedeckung, zerstören.

In Atlanten der Zukunft wird die Satellitenbildkarte sicherlich ihren festen Platz haben. Die breite Nutzung von Satellitenbildkarten als Lehrmittel wird ganz wesentlich zur Herausbildung eines dem gegenwärtigen geowissenschaftlichen Erkenntnisstand entsprechenden geographischen Erdbildes beitragen.

Ein bisher noch wenig untersuchtes Gebiet ist die Herstellung von naturnahen Landschaftskarten auf der Grundlage von Satellitenbildern. Empfehlenswert erscheint es, Karten von besonders markanten geographisch strukturierten Gebieten zu bearbeiten. Durch diese Karten kann eine Vielzahl der Informationen, die für das Gebiet charakteristisch sind, graphisch hervorgehoben werden. Mit der Wiedergabe der Bodenbedeckung in naturnahen Farben, ähnlich wie im Satellitenbild, ist es möglich, die veraltete und für die Widerspiegelung der geographischen Wirklichkeit wenig geeignete Höhenschichtendarstellung in unseren Atlanten durch neue, über das farbverteilte Original hergestellte Landschaftskarten zu ersetzen. Gegenüber der Höhenschichten- und Schraffendarstellung müßte durch die kombinierte Darstellung von Reliefchumierung und Bodenbedeckung eine neue Qualitätsestufe zu erreichen sein.

Die Gestaltung von naturnahen chorographischen Karten wird vor allem durch die Verbindung von Reliefchumierung und Bodenbedeckung als die Hauptkomponenten einer Landschaft bestimmt, wobei dies durch Modulierung der Bodenbedeckungsfarben mit dem Schumierungston möglich sein müßte. Zweckmäßig erscheint dabei, charakteristische Formen betont darzustellen. Hier bieten neben Falschferbenaufnahmen besondere Satellitenbilder im Winteraspekt ein gutes Ausgangsmaterial. Für die Wiedergabe der Vegetation und Bodennutzung erweisen sich Satellitenbilder in Falchfarben und Naturfarben als besonders aufschlußreich. Die Farbgebung muß unter Berücksichtigung der Reliefeigenschaften der Landschaft vorgenommen werden und dabei den Seherfahrungen des Kartennutzers entsprechen. Fließende Grenzen der Vegetation und scharf begrenzte Flächen der Bodennutzung sind klar herauszuarbeiten. Zur weiteren Typisie-

rung der Landschaft ist die differenzierte Darstellung des Gewässerernetzes notwendig. Das führt zur Betonung und Ergänzung der im Satellitenbild nicht erkennbaren mittelgroßen und kleinen Flüsse. Für die Gestaltung von Verkehrsnetz und Siedlungen erscheint es notwendig, eine den Landschaftscharakter wahrende Auswahl zu treffen. Das Satellitenbild kann auch hier mit seiner optischen Generalisierung sehr wertvolle Informationen geben.

Ländliche Siedlungen werden in ihrer Verbindung mittelbar durch den Charakter der Bodennutzung ausreichend gekennzeichnet. Städtische Siedlungen sind, wenn notwendig, größer und in Auswahl wiederzugeben. Neben dem Gewässernetz und den Siedlungen dienen vor allem die Hauptverkehrslinien (Autobahnen, Fernverkehrsstraßen u. Eisenbahnlinien) der topographischen Orientierung auf der Karte und müssen dargestellt werden. Für Kartennetz und Grenzen werden sehr feine Linien verwendet, die das Kartenbild kaum beeinflussen. Um eine gut lesbare, übersichtliche und anschauliche Darstellung der Landschaft zu gewährleisten, muß die Namensdichte möglichst gering gehalten werden. Es kann nur eine Auswahl geographischer Namen und zusätzlich Höhenzahlen zur besseren Charakteristik der Physiognomie der Landschaft zur Darstellung kommen. Um die Bearbeitung von naturnahen chorographischen Karten auf der Grundlage von Satellitenbildern zu realisieren, bedarf es neben entsprechend graphisch und fachspezifisch ausgebildeten Bearbeitern auch des Interesses der Verlage, damit solche Karten, die dem neuesten Erkenntnisstand entsprechen und ihn widerspiegeln, herausgegeben werden können.

War die Herstellung von naturnahen Landschaftskarten einst nur für sehr wenige und relativ kleine Teile der Erdoberfläche möglich, so eröffnet das Satellitenbild dem Kartographen eine unschätzbare Informationsquelle, die sich günstig kartographisch verwenden läßt. Aufgabe des Kartographen muß es sein, neue gestalterische Wege und effektive Technologien zu finden, um dem neuen Strukturelement "Satellitenbild" im Bereich der Atlaskartographie den ihm gebührenden hervorragenden Platz zu gewähren.

Leider findet die Anwendung des Satellitenbildes in der Atlaskartographie der DDR, sieht man vom Interpretationsatlas einmal ab, noch nicht die gebührende Beachtung, obwohl der wachsende Einfluß dieses neuen Strukturelementes in Wissenschaft und Allgemeinbildung außer Zweifel steht. Das Satellitenbild, welches für den überwiegenden Teil der Erdoberfläche in guter Qualität vorliegt, wird neue Dimensionen in der Aneignung von Wissen durch den Menschen eröffnen, die es zu nutzen gilt. Noch ist die Anzahl von Spezialisten, die Satellitenbilddaten nutzen, relativ gering. Eine Ursache dafür ist vor allem darin zu suchen, daß die künftigen Nutzer mit ihnen noch zu wenig vertraut sind. Hier wird in der Zukunft eine Aufgabe der Atlaskartographie liegen, die nur durch die Zusammenarbeit von Spezialisten, Kartographen und Lehrern effektiv gelöst werden kann.

Nutzungsmöglichkeiten multiepektraler Luftbilder für die Generalbebauungsplanung an den Beispielen Wohnbebauung und Freiflächen

I. SCHMIDT, S. HILLMANN, B. USBECK

Zielstellung

Im Rahmen der Arbeiten zur Flächennutzung am Institut für Geographie und Geoökologie der AdW der DDR wurden die Anwendungsmöglichkeiten der Luftbildinterpretation in der Stadtplanung geprüft. Die Interpretationsergebnisse ordnen sich als angewandte Untersezungen in die Flächennutzungskartierungen 1 : 50 000 und 1 : 10 000 der Stadtregion Leipzig ein. Aus dem Anliegen der Generalbebauungs- und Teilgebietsplanung, für die zielgerichtete Flächennutzungsanalysen erforderlich sind, die in den gesamten Vorbereitungskomplex für die Intensivierung der Flächennutzung im Stadtgebiet im Zusammenhang mit der Umgestaltung von Teilgebieten eingehen, ergab sich die Zusammenarbeit mit dem Büro des Chefarchitekten der Stadt Leipzig. Die von dort aufgestellten Parameter erfordern sowohl Aussagen zur Gesamtstadt als auch zu städtischen Teilgebieten.

In diesem gemeinsamen Beitrag werden die Ergebnisse der visuellen Luftbildinterpretation für die Flächennutzungsanalyse, insbesondere für die Analyse der Wohnbebauungs- und Freiflächenstrukturen, in begrenztem Maße der produktiven Bereiche, vorgestellt und gewertet. Ergänzt werden die Aussagen durch Untersuchungen der Bauungsstrukturen der in der Nähe von Leipzig gelegenen Kleinstadt Pegau /1/ und einiger ländlicher Siedlungen /2/.

Material und Methode

Der Auswertung liegt multiepektrales Luftbildmaterial mit 4 bis 6 Kanälen von Befliegungen im Bezirk Leipzig in den Maßstäben ca. 1 : 25 000 und 1 : 50 000 während der vollen Vegetationsentwicklung im Mai/Juni zugrunde. Die visuelle Interpretation wurde an Geräten des VEB Carl Zeiß, JENA, dem MULTISPEKTRAL-PROJEKTOR MSP-4, dem INTERPRETOSKOP mit stereoskopischer Darstellung und dem MIKROFICHE-LESEGERÄT DL-4 durchgeführt.

Generell erfolgt die visuelle thematische Auswertung in zwei Schritten /7/: der Dechiffrierung, d. h. der Erkennung direkter Objekteigenschaften und der zielabhängigen Ableitung indirekter Parameter - der eigentlichen Interpretation. Das sei am Beispiel der Bau- und Freiflächen in Siedlungen erläutert (Tab. 1).

Als direkte Merkmale - Dechiffrierungseigenschaften oder Indikatoren - wurden für die Bauflächen Gebäudegrundriß, Gebäudeform, Dachformen, Dachaufbauten, die Geschossigkeit aus der Schattenlänge, die Flächenverhältnisse begrünter, versiegelter, bebauter Flächen in Straßengevierten ermittelt. Indikationsmerkmale für Freiflächen sind Vegetationszusammensetzung mit Anteilen an Bäumen, Sträuchern, Grasflächen, die gärtnerische Gestaltung und die Parzellierung der Flächen. Ergebnis dieses Schrittes ist die Erkennung einzelner Nutzungsarten aus Objektunterschieden, also bereits eine erste Interpretation. Die im Luftbild deutliche räumliche Kombination von Objekten führt jedoch erst zur eigentlichen Interpretation von Funktionen sowohl einzelner Nutzungsarten als auch deren räumlicher Vergesellschaftung in einfachen Nutzflächengefügen.

Beispielsweise sind aus dem Inventar an Nutzflächenarten innerhalb eines Nutzflächengefüges - wie es Straßengevierte im einfachsten Falle darstellen können - und der Anordnung des Inventars (Struktur) Beurteilungen der Funktion des Gefüges, Einschätzungen der Wohnqualität in Mischgebieten aus der Durchgrünung, der Verflechtung mit Produktionsstätten, stadtoökologische Wertungen möglich.

Tab. 1 Dechiffrierung und Interpretation von Bau- und Freiflächen in Siedlungen

	Dechiffrierungsmerkmale für Einzelflächen	Dechiffrierungsmerkmale für Flächengefüge	Interpretation für Einzelflächen und Flächengefüge
BAUFLÄCHEN	Gebäudegrundriß, Geschosigkeit, Dachform, Dachmaterial;	Bebauungsdichte (Bauflächen-Freiflächenverhältnis), räumliches Anordnungsmuster der Einzelflächen, Lagebeziehungen zu Freiflächen;	Unterecheidung von Funktionen, funktionale bzw. Lagebeziehungen der Einzelflächen innerhalb eines Gefüges; funktionale Beziehungen eines Gefüges zu anderen Nutzflächengefügen; Ausgliederung von Wohn-, Misch- und Produktionsgebieten; Unterscheidung von Mehrfamilienhaus- u. Einzelhaubebebauung sowie von Gehöftbebauung; Kennzeichnung nach Baualtergruppen; Bewertung für innerstädtliche Intensivierung;
FREIFLÄCHEN	Oberflächenzustand (versiegelt, unbedeckter Boden, begrünt), geometrische Form, Vegetationszusammensetzung, Vegetationszustand, Zustand des Oberbodens, Relief;	Versiegelungsgrad, Vegetationsbedeckungsgrad, räumliches Anordnungsmuster der Einzelflächen (Parzellierung, Schlaggliederung usw.), Lagebeziehungen zu Bauflächen;	Freiflächenfunktionen, funktionale Beziehungen der Einzelflächen innerhalb eines Gefüges, funktionale Beziehungen eines Gefüges zu anderen Gefügen; Versorgungsgrad der Bevölkerung mit Freiflächen, stadtoökologische Bewertung.

Als dritter Schritt und Voraussetzung für die flächenhafte Erfassung von Nutzflächengefügen ist es erforderlich, charakteristische Nutzflächenstrukturen in einem Interpretationsschlüssel darzustellen (Abb. 1). Die sich daran anschließende Kartierung einfacher Nutzflächengefüge, wie sie in zusammengefaßter Form in der Generalbebauungsplanung in den Maßstäben 1 : 50 000, 1 : 10 000, für Kleinstädte 1 : 5000 üblich ist, kann damit aus Luftbildern auf Grund der Wechselbeziehungen zwischen Struktur und Funktion in rationeller Weise durchgeführt werden.

Interpretationsergebnisse und deren Wertung

1. Bebauung

Aus den multiepektralen Luftbildern wurden nach der angeführten Methodik für die Großstadt Leipzig typische Bauflächengefüge nach den wesentlichen Indikatoren Gebäudeform und Grundriß, Bebauungsdichte (Anteil der Gebäudegrundfläche innerhalb einer Kartierungseinheit), sonstige Flächenverhältnisse mit Anteilen an bebauten, unbebauten, versiegelten und begrüntem Flächen und den daraus abgeleiteten Funktionen, auch der für städtebauliche Fragen wichtigen Zuordnung zu Baualtergruppen, beschrieben.

WOHNBEBAUUNG (STRUKTUREN)
=====

1. Objektbezeichnung

Gering durchmischte geschlossene Wohngebiete der Baualtersgruppe 1871 bis 1918 mit versiegelten Innenhöfen

2. Lage

Leipzig - Volkmarisdorf

3. Form

rechteckig

4. Maßverhältnisse

2,4 x 1,7 bzw.
1,6 x 1,6

5. Geschoßanzahl

vier- bis fünfgeschossig

6. Dachformen

95 % Satteldächer, 5 % Flachdächer

7. Dacheindeckung

teilweise erneuert und ausgebessert

8. Dachausbauten

vereinzelt zum Innenhof

9. Flächenanteile (%)

Wohnbebauung	Innenhofbebauung	Grünfläche	versiegelte Fläche	unbedeckter Boden
ca. 65 - 70	ca. 25	ca. 2	ca. 3 - 5	-

10. Vegetation der Grünfläche

Doppelbaumreihe

11. Lage der Grünfläche

Straßenfront

12. Art der Innenhofbebauung

Flachbauten, alt
1 mehrgeschossiges Gebäude

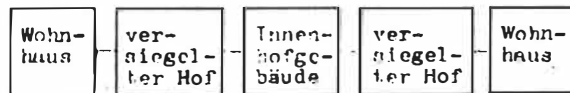
13. Anordnung der Innenhofbebauung

kompakt

14. Anordnung der Wohngebäude

geschlossenes Geviert

15. Strukturschema



16. Bildbeispiele

M.: ca. 1:5000

versiegelte Innenhofbebauung
Hofffläche

Flachdach

Satteldach



erneuertes Dach

Straßenbäume

640 - 680 mm

700 - 740 mm

17. Durchlässigkeitsmittelwerte

	Dach		versiegelter Hof		Innenhofgeb.	Straße	
	So	Sch	So	Sch	So	Sch	Sch
K4 +	118	54	116	35	87		39
K5 +	230,333	128	331	88	181,288		122

18. Durchlässigkeitsprofile

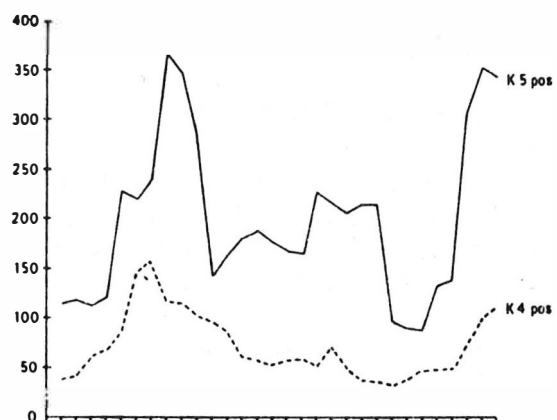


Abb. 1 Interpretationsschlüssel
LFB-Nr. 39/83

Die interpretierten Nutzflächengefüge werden zusammengefaßt zu

- reinen Wohngebieten (Tab. 2, Nr. 2-5),
- Wohnmischgebieten mit Anteilen produktiver Bereiche bis zu 20 bzw. 40 % (Tab. 2, Nr. 1),
- Produktionsmischgebieten mit Wohnanteil bis zu 60 %,
- reinen Produktionsgebieten mit > 60 % produktiven Bereichen.

Tab. 2 Beziehungen der Freiflächen in Wohngebieten zum Baualter und Versiegelungsgrad im nordöstlichen Stadtgebiet von Leipzig

Kennzeichnung der Nutzflächengefüge	Versiegelungsgrad	Baualtergruppe
1. Regelmäßige, geschlossene Wohngebiete mit versiegelten Innenhöfen, industrieller bzw. gewerblicher Innenhofbebauung, ohne Grünanlagen, Bebauungsdichte 50 - 75 %	90 - 100 %	vor 1918 (rekonstruktionsbedürftig)
2. Regelmäßige, geschlossene Wohngebiete mit be-räumten, gestalteten Innenhöfen, neue Grün- und Spielanlagen, Bebauungsdichte ca. 50 %	60 - 70 %	vor 1918, rekonstruiert mit Innenhofge- staltung
3. Regelmäßige, geschlossene und halboffene Wohngevierte mit architektonisch gleichmäßig gestalteten Gebäuden, gestaltete Innenhöfe mit Grünanlagen (Bäume, Sträucher, Rasen, Beete), Bebauungsdichte 25 - 50 %, z. T. > 50 %	50 - 60 %	1919 - 1945, nicht rekonstruk- tionsbedürftig
4. Einzelblöcke, ± regelmäßig angeordnet, Frei-flächen gestaltet mit Grünanlagen (Bäume, Sträucher, Rasen), Spiel- und Trockenplätzen, Bebauungsdichte 25 - 30 %		
5. Typenbauten (Neubauten) mit gestalteten Freiflächen (ohne Bäume, überwiegend Rasen, Spiel- und Trockenflächen), halboffene Bebauung, Bebauungsdichte 25 - 50 %	40 - 50 %	nach 1970

Die Sicherheit der Ableitung von Gebäudefunktionen aus Luftbildern ist unterschiedlich: Räumlich nebeneinander liegende Wohn- und Produktionsstandorte lassen sich auf Grund deutlicher Dach-, Gebäude- und Freiflächenunterschiede trennen. Kleinteilige Produktionsstätten in Wohnmischgebieten (Hinterhofindustrien) sind von der Bauflächenstruktur her ebenfalls zu bestimmen. Hier kann aber bereits ein systematischer Fehler auftreten, wie beispielsweise in einigen Altbaugebieten Leipzigs, in denen Funktionswandel oder das Erlöschen jeglicher Produktionsfunktion zu einer Nutzung dieser Gebäude als Garagen usw. oder zum Leerstehen führten. Das trifft auch für den alten Kern der Kleinstadt Pegau zu. Hier sind die vorhandenen Strukturen der Nutzflächengefüge nicht mehr mit der heutigen Funktion identisch.

Ein weiterer Fehler tritt bei Überlagerungen der Wohn- mit anderen Funktionen auf. Hier wird die Wohnfunktion als dominierend angesehen, wenn die sonstigen Funktionen, meist sind es gesellschaftliche oder Produktionsfunktionen, in Wohngebäuden mit untergebracht sind. Gesellschaftliche Funktionen sind in städtischen Neubaugebieten wegen der standörtlichen Trennung deutlicher zu identifizieren als in Altbaugebieten mit Gebäudemehrfachnutzung.

Aussagen zu speziellen städtebaulichen Fragen, wie dem Bauzustand, können nur durch Ortsbegehungen getroffen werden, obwohl die Möglichkeiten der Multispektraltechnik zur Differenzierung von Dachmaterialien bisher nicht ausgeschöpft wurden, da diese über geographische Fragestellungen der Flächennutzung hinausgeht und vermutlich größere Befliegungsmaßstäbe erfordert.

2. Freiflächen

Im Siedlungs- und Siedlungsrandgebiet werden Freiflächen als Bestandteile von Bebauungsstrukturen und selbständige Freiflächen /5/ unterschieden. Innerhalb von Bauflächengefügen wird daher die Funktion der Freiflächen von der Funktion der dazugehörigen Gebäude bestimmt.

Selbständige Freiflächen stellen einfache Nutzflächengefüge dar, wie z. B. die Einheit "Sportplatz" als räumliche und funktionale Kombination von Grünplätzen, Hartplätzen, Wirtschaftsflächen, Wegenetz /8/ anzusehen ist. Als Interpretationsergebnis der Freiflächen in Siedlungen entstand eine spezielle Freiflächenlegende für den Maßstabsbereich 1 : 5000/ 1 : 10 000 (Ausschnittskartierungen für Leipzig liegen vor /9/).

Mit Hilfe multispektraler Luftbildmaterialien ist einmal die eindeutige Bestimmung der Struktur der Freiflächen möglich, aber auch die Funktionsbestimmung erfolgt mit hoher Sicherheit im Vergleich zu Bauflächen mit Funktionsüberlagerungen. Die ermittelten Struktur- bzw. Zustandsmerkmale sind in Tab. 1 genannt. Ergänzend dazu lassen sich Grasflächen in vier Zustandestufen unterscheiden: vitaler, gleichmäßiger Rasen; weniger vitaler, gleichmäßiger Rasen, geschnitten; vitale, ungleichmäßig-fleckige Grasdecke; ungleichmäßig-fleckige Grasdecke mit unbedecktem Boden.

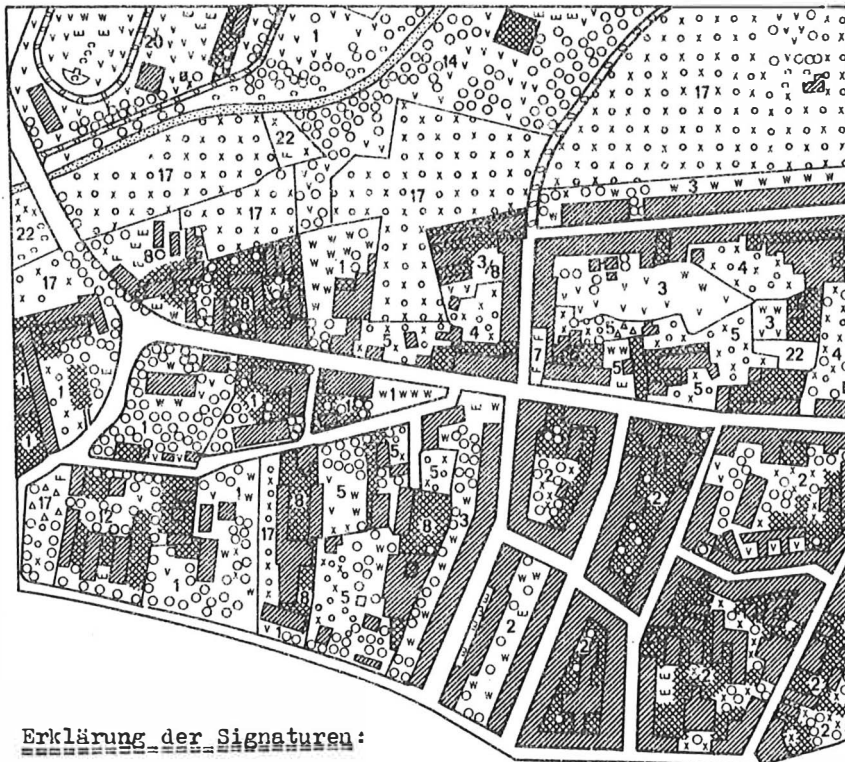
Für spezielle Fragen sind auf Grund des vorhandenen Bildmaterials beispielsweise Straßenbauminventuren (Anzahl, Baumart, Zustand der Bäume, Fehlstellen), Zustand und Lage von Depots u. a. möglich.

In Bauflächengefügen ist die Erfassung des "Wohngrüne" zur Beurteilung der Wohnqualität und ökologischer Verhältnisse von Bedeutung, das außerhalb der Verschattungsbereiche im Luftbild nach Flächenanteilen, Art und Zustand eindeutig zu ermitteln ist (Abb. 2). Lediglich in Neubaugebieten sind die Schattenbereiche der großen Blöcke infolge eines höheren Anteils an diffuser Himmelsstrahlung im Bereich offener Bebauung soweit transparent, daß versiegelte von begrünten Freiflächen eindeutig zu trennen sind. Andererseits ist die Verschattung dicht bebauter Altbaugelände u. a. ein Parameter zur Ableitung von Maßnahmen der Entkernung.

Die Effektivität der Erfassung und Kennzeichnung von Freiflächen für die Grünplanung ist mit Hilfe multispektraler Luftbilder im Vergleich zu sonst üblichen Ortsbegehungen eechmal größer. Es ist möglich, alle Flächen einer Kategorie zu erfassen. Das geht häufig über die in den Planungseinrichtungen vorhandenen Materialien hinaus, in denen beispielsweise nur die organisierten Kleingartenanlagen angeführt sind, alle anderen Kleingärten aber fehlen.

Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Insgesamt wird eingeschätzt, daß von den verwendeten Luftbildmaterialien für die Grobplanung (vereinfachte Generalbebauungspläne) Hochbefliegungsaufnahmen mit dem Originalmaßstab von etwa 1 : 50 000 ausreichen (Beispiel: Flächennutzungskartierung der Kleinstadt Pegau /1/). Die Erstellung detaillierterer Flächennutzungskarten für die Generalbebauung, aber auch bereite für Aspekte der Teilgebietsplanung, erfordert Bildmaßstäbe von etwa 1 : 25 000, die hier vorwiegend zur Kennzeichnung einfacher Nutzflächengefüge verwendet wurden, während die Flächennutzung für Projektierungszwecke und Ortegestaltungskonzeptionen ländlicher Siedlungen in noch größeren Bildmaßstäben ermittelt werden müßte.



Erklärung der Signaturen:

- | | |
|--|--|
| | Laubbäume |
| | Obstbäume |
| | Sträucher |
| | Beete |
| | unbedeckter Boden |
| | Grasfläche gleichmäßig vital |
| | Grasfläche gleichmäßig, geschnitten |
| | Grasfläche ungleichmäßig, fleckig, vital |
| | Grasfläche ungleichmäßig, fleckenhaft
unbedeckter Boden |
| | bebaute Fläche |
| | versiegelte Freifläche in Siedlungen
(ohne Verkehrstrassen) |
| | landwirtschaftliche Kultur |
| | Asphaltstraßen |
| | befestigte Wege |
| | unbefestigte Wege |
| | Gewässerflächen |

0 100 200m

Abb. 2 Interpretationskizze
Übergang Stadt - Stadtrand
LFB-Nr. 39/83

Legende der im Luftbild ermittelten Freiflächentypen für den Maßstab 1 : 5000/
1 : 10 000 (zu Abb. 2)

1. Freiflächen im Bereich von bebauten Flächen
 - 1.1. Freiflächen an Gebäuden mit zentraler Funktion (1)
 - 1.2. Freiflächen in Innenhöfen von Wohngebäuden (2)
 - 1.3. Sonstige Freiflächen an Wohngebäuden (3)
 - 1.4. Hausgärten an Wohnblöcken (4)
 - 1.5. Hausgärten an Einzel- und Reihenhäusern (5)
 - 1.6. Freiflächen in Gehöften (6)
 - 1.7. Freiflächen in Baulücken (7)
 - 1.8. Freiflächen im Bereich von Produktionsflächen der Industrie und Landwirtschaft (außer Lagerflächen) (8)
 - 1.9. Freiflächen im Bereich der technischen Ver- und Entsorgung (außer Lagerflächen) (9)
2. Freiflächen im Bereich von Verkehrsanlagen
 - 2.1. Restgrünflächen zwischen Verkehrsstrassen (10)
 - 2.2. Parkplätze (11)
 - 2.3. Sonstige Freiflächen (12)
 - 2.4. Böschungen, sonstige Rand- und Mittelstreifen an Trassen (13)
3. Selbständige Freiflächen in Siedlungsgebieten
 - 3.1. Parks (Baum-, Rasenflächen; Spielplätze; Freizeitanlagen) (14)
 - 3.2. Sonstige gestaltete Freiflächen und Grünzüge (15)
 - 3.3. Stadtwald (16)
 - 3.4. ältere Kleingärten (17)
 - 3.5. neuere Kleingärten (18)
 - 3.6. Friedhöfe (19)
 - 3.7. Sportplätze (Grünplätze, Hartplätze) (20)
 - 3.8. Freibäder (Liegewiese; Spielplatz; Freizeitanlage) (21)
 - 3.9. ungenutzte Freiflächen (22)
4. Freiflächen des Offenlandes
 - 4.1. Landwirtschaftliche Nutzflächen
 - 4.1.1. Ackerland (23)
 - 4.1.2. Grasland (Wiesen; Weiden) (24)
 - 4.1.3. Obst- und Rebanlagen (25)
 - 4.1.4. Gartenland (Freilandkulturen, Untergläskulturen) (26)
 - 4.1.5. Flächen extensiver landwirtschaftlicher Nutzung (27)
 - 4.2. Forstwirtschaftliche Nutzflächen (28)
5. Flur- und Ufergehölze
 - 5.1. Flächenhafte Flurgehölze (29)
 - 5.2. Hecken, Baum-, Gebüchreihen (mit teilw. forstwirtschaftlicher Nutzung) (30)
6. Deponieflächen (31)
7. Sonstige Freiflächen
 - 7.1. Einzelgrundstücke (am Stadtrand) (32)
 - 7.2. Baustellen (33)

Als Befliegungszeitpunkt ist die Phase der voll entwickelten Vegetation gut geeignet, weil hier die Trennung begrünter von nicht begrüntem versiegelten und bebauten Flächen sowie von unbedecktem Boden am sichersten ist.

Synthesen der Kanäle 2, 4 und 6 erwiesen sich als aussagekräftig.

Von seiten der Generalplanung der Stadt Leipzig wird eingeschätzt, daß die Verwendung von multispektralen Luftbildern zur Analyse und Kartierung der Siedlungsstruktur ein zeit-effektives Verfahren darstellt. Die wesentlichen Vorteile des Luftbildmaterials bestehen in der Aktualität und hohen Informationsdichte sowie den relativ unkomplizierten Fortschreibungsmöglichkeiten im Vergleich zur konventionellen Flächennutzungserfassung. Dies kommt auch in einigen Untersuchungen für städtebauliche Zwecke in der internationalen Literatur zum Ausdruck /3, 6, 10 u. a./, die mit panchromatischem Bildmaterial diese Vorteile trotz geringerer Informationsmenge im Vergleich zu multispektralen Luftbildern, wie sie hier verwendet werden, zum Ausdruck brachten.

Allerdings werden die hohen Befliegungskosten und die teuren Geräte erst dann gerechtfertigt, wenn die Bilder in einer Nutzergemeinschaft territorialer Planungsorgane für die verschiedensten Zielstellungen ausgewertet werden, wie es im Bezirk Leipzig bereits begonnen wurde.

Literatur

- /1/ ANDERS, TH.: Test der Einsatzmöglichkeiten der Luftbildinterpretation zur Kartierung von kleinstädtischen Flächennutzungsstrukturen am Beispiel der Stadt Pegau/Kreis Borna.- 1985.- Weimar, Prakt.arb., Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar
- /2/ CIESLUK, P.: Möglichkeiten und Probleme der Erarbeitung von Grundlagenmaterial für Ortsentwicklungskonzeptionen unter besonderer Berücksichtigung von Luftbildern.- 1984.- Weimar, Dipl.arb., Hochschule für Architektur und Bauwesen
- /3/ DODT, J.: Luftbilddauswertung durch "Indikatoren", Möglichkeiten und Grenzen für die Raumplanung.- In: Vermessungswesen und Raumordnung,-36 (1974)12.-S. 433 - 444
- /4/ DUVINAGE, P.: Zur Erfassung von Flächennutzungselementen und -arten in Siedlungsgebieten und deren Umland aus multispektralen Hochbefliegungsaufnahmen und Ableitung von stadtplanerischen und stadökologischen Aussagen.- 1984.- Potsdam, Pädagogische Hochschule, Diss. A
- /5/ GREINER, J.: Freiflächen-Kennwerte, Bestand - Entwicklung (Beiträge zur Generalbebauungsplanung der Städte), Deutsche Bauinformation,-Berlin, 1969
- /6/ KELLERSMANN, H.: Flächennutzungskartierungen aus Luftaufnahmen als Grundlagenmaterial für stadt- und regionalplanerische Arbeiten.- In: Vermessungswesen und Raumplanung.- 37(1975)2.- S. 65 - 74
- /7/ KRÜNERT, R. u. a.: Geographisch-kartographische Analyse der Flächennutzung nach multispektralen Luftbildern und Satellitenaufnahmen.- In: Petermanns Geogr. Mitt. (1983)3.- S. 181 - 190
- /8/ LAMMERT, U.: Städtebau, Grundsätze, Methoden, Beispiele, Richtwerte. Berlin: 1979
- /9/ SCHMIDT, I.: Zur Baustandaufnahme von Freiflächen in Siedlungen mit Hilfe visueller Luftbildinterpretation.- In: Landschaftsarchitektur,- Berlin 13 (1984)3.- S. 75 - 78
- /10/ SIEBERT, W.: Das Luftbild als unterstützendes Informationsmittel bei der Herstellung und Verwendung der Kartenwerke der Stadt Frankfurt.- In: Kartogr.Nachr.- Bonn - Bad Godesberg.- (1980)2.- S. 48 - 54

Nutzungsmöglichkeiten multispektraler Flugzeugaufnahmen für die territoriale Rationalisierung der Produktion

G. GOLZSCH, H. STOYE

Im folgenden Vortrag sollen die Möglichkeiten der Verwendung von Luftbildmaterial bei der Lösung von Aufgaben im Rahmen der territorialen Rationalisierung der Produktion erörtert werden. In den Vordergrund wird dabei speziell die Analyse der innerstandörtlichen Nutzflächengefüge mit dem Ziel einer Nutzflächenbilanzierung gestellt. Diese unterste Dimension der Nutzflächenanalyse erfordert Betrachtungsmaßstäbe von 1 : 1000 - 1 : 5000.

Da an dieser Stelle auf den Gesamtkomplex der territorialen Rationalisierung (TR) nicht eingegangen werden kann, sollen stellvertretend einige wichtige Aspekte herausgestellt werden, die die volkswirtschaftliche Notwendigkeit der TR, speziell des Aspektes der Flächennutzungsintensivierung, dokumentieren:

- TR wird umfassend als Komplex zur Förderung von Leistung und Effektivität der Produktion im Territorium durch gezielte Nutzung der territorialen Reproduktionsbedingungen verstanden. Dabei hat die Bewertung der Flächennutzung und die Erarbeitung von Vorschlägen zur gezielten Flächennutzungsveränderung mit dem Ziel der Verbesserung von Flächennutzungsstrukturen künftig einen hohen Stellenwert.
- Besondere in Ballungsräumen wird die TR zu einer Hauptquelle des Leistungswachstums der Produktion, da für extensive Produktionserweiterungen i.d.R. keine freien Flächenkapazitäten zur Verfügung stehen; hieraus leitet sich u. a. das Erfordernis der Intensivierung der Produktion ab.
- Ballungsräume sind gekennzeichnet durch starke räumliche Zersplitterung der Betriebsstandorte, durch räumliche Einengung, durch enge Verzahnung der Standorte mit anderen Funktionalstandorten (z. B. auch durch Mehrfachnutzung), durch beschränkte Erweiterungsmöglichkeiten der technischen Infrastruktur usw.
- Maßnahmen der TR müssen daher darauf abzielen, neue Formen der inner- und zwischenbetrieblichen Kooperation, der Koordinierung der territorialen Ressourcennutzung sowie sinnvolle Mehrfachnutzungen der Fläche und der baulichen Grundfonds über die verschiedenen Wege der Intensivierung, Konzentration, Umverteilung zu realisieren. Dabei müssen Prinzipien der gegenseitigen Störfreiheit der Standorte und ökologische Kriterien, die sich u. a. aus Nachbarschaftslagen ergeben, berücksichtigt werden.

Die Planung und Realisierung der TR-Maßnahmen, die ohne wesentliche Störungen des Produktionsprozesses der beteiligten Wirtschaftseinheiten durchgeführt werden muß, setzt eine enge Abstimmung zwischen zweiglichen und territorialen Planungsorganen voraus und kann nur auf Grundlage einer exakten, aktuellen Analyse der Produktionsstandorte und ihrer räumlichen Organisation erfolgen. Aus diesem Grunde wurde eine staatliche Richtlinie zur Analyse der Standortverteilung der Produktion an die Bezirkeplankommissionen übergeben, die folgende Teilanalysen vorsieht:

1. Analyse der Funktion und Eignung der Produktionsstandorte bei der perspektivischen Entwicklung der Erzeugnisstruktur der Betriebe;
2. Analyse der Eignung der Standorte für die Realisierung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts bei den Technologien;
3. Analyse der Eignung der Standorte vom Standpunkt rationeller innerbetrieblicher Kooperationsbeziehungen und einer rationellen räumlichen Gestaltung des Produktionsdurchlaufes;
4. Analyse des Zustandes der Grundfonds der Produktionsstandorte (Umfang, Verschleiß, Eignung), darunter insbesondere auch der baulichen Grundfonds;

5. Analyse des standort- und produktionsstättengrößebedingten Personal- und Kostenaufwandes für Hilfe- und Nebenprozesse;
6. Analyse der Versorgungslage mit technischer Infrastruktur und Verkehrsanbindung;
7. Analyse der Flächensituation der Standorte (Flächennutzungsintensität, Reserveflächen, Flächendefizite, Einengung);
8. Analyse der Umwelteinflüsse der Produktion

(= ——— mit Methoden der LB-Interpretation lösbare Aufgaben;
 ----- mit Methoden der LB-Interpretation bedingt lösbare Aufgaben).

Besondere die Teilanalyse "Flächensituation" sowie Verkehrsanbindung, Zustand der baulichen Grundfonds wie auch Aspekte der Umwelteinflüsse können effektiv mit Hilfe von Luftbildinterpretationen durchgeführt werden. Am Beispiel der Analyse der Flächensituation soll dies erläutert werden. Tabelle 1 zeigt eine Zusammenstellung der interessierenden Flächenmerkmale und vergleicht bisherige Analysemethoden mit denen der Luftbildinterpretation, wobei die vom Zeitaufwand rationellste Methode hervorgehoben wurde.

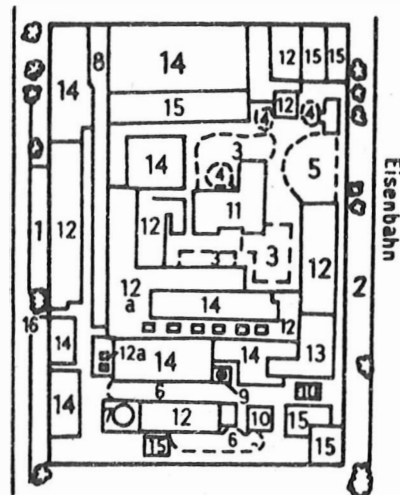
Die Tabelle zeigt, daß das rationellste Verfahren eine kombinierte Herangehensweise aus Luftbildinterpretation und Verwendung vorhandenen Referenzmaterials ist. Dabei muß bei der Auswertung topographischer bzw. Stadtkarten berücksichtigt werden, daß diese i.d.R. mindestens 3 Jahre vom aktuellen Stand abweichen, so daß bei einer Vielzahl von Standorten keine vollgültigen Aussagen gewonnen werden können. Bei der Auswertung einer Reihe von betrieblichen Standortanalysen stellte sich heraus, daß Flächenangaben teilweise nicht den realen Sachverhalt wiedergeben, so lagen z. B. die Bebauungsdichtewerte durchschnittlich um 10 % zu hoch. Daraus leitet sich ein weiteres wichtiges Anwendungsfeld von Luftbildern ab, die Kontrolle der Durchführung von Investitionsvorhaben.

Ein wichtiges Gegenargument gegen die Luftbildnutzung sind die gegenwärtig sehr hohen Preise für Luftbilderzeugnisse. Diese Kosten können allerdings auf ein vertretbares Maß reduziert werden, wenn es gelingt, eine Vielzahl von potentiellen Luftbildnutzern innerhalb eines Territoriums an der Mitfinanzierung und multivalenten Interpretation zu beteiligen. Also auch auf diesem Gebiet ist eine enge Zusammenarbeit faktisch als neue Aufgabe der TR zwischen Wissenschaft und Praxis über entsprechende Kooperationsbeziehungen effektiv und somit dringend erforderlich. Abschließend sei ein Beispiel der Luftbildinterpretation und Flächenbilanzierung eines Betriebsstandortes vorgestellt (vgl. Abb. 1).

Tab. 1 Analyse der Flächensituation

<u>Merkmal</u>	<u>Konventionelle Analysemethoden</u>	<u>Methoden der Luftbildinterpretation</u>
Standortfläche (ha)	<ul style="list-style-type: none"> - Auswertung vorhandener Standortanalyse oder betrieblicher statistischer Erhebungen (m²-Genauigkeit) - Ausmessung auf großmaßstäbigen Karten (er-Genauigkeit) - Auswertung der Grundbücher des Liegenschaftsdienstes (m²-Genauigkeit) 	<ul style="list-style-type: none"> - Übertragung des Standortes vom LB auf großmaßstäbige Karten und Flächenausmessung (er-Genauigkeit) - Ausmessung auf entzerrten LB (er-Genauigkeit); panchromatisches Bildmaterial ist ausreichend
bebaute Fläche (ha) und Bebauungsdichte	<ul style="list-style-type: none"> - Auswertung vorhandener Standortanalysen oder von Betriebsstatistiken (m²-Genauigkeit) - Ausmessung auf großmaßstäbigen Karten (er-Genauigkeit) <ul style="list-style-type: none"> - Berechnung der Bebauungsdichte (in %) = $\frac{\text{bebaute Fläche}}{\text{Standortfläche}}$ 	<ul style="list-style-type: none"> - gleiche Methodik wie für Standortfläche; panchromatisches Bildmaterial ist ausreichend
Gebäudefunktion (Produktion, Verwaltung, Lager, Versorgung)	<ul style="list-style-type: none"> - Geländebegehung und Kartierung (100 %ige Sicherheit) 	<ul style="list-style-type: none"> - die Interpretation von Gebäudegröße, Grundriß, Dachkonstruktion und Höhe erlaubt mit ca. 75 %iger Sicherheit Rückschlüsse auf Gebäudefunktion bei Kenntnis des Produktionsprofile des Standortes; panchromatisches Bildmaterial ist ausreichend
Gebäudehöhe und Geschoßzahl	<ul style="list-style-type: none"> - Geländebegehung und Kartierung (100 %ige Sicherheit) - in sehr geringem Umfang auch Auswertung betrieblicher Unterlagen 	<ul style="list-style-type: none"> - stereoskopische Interpretation von LB-Paaren bringt hinreichend genaue Ergebnisse der Gebäudehöhe, Geschoßzahl muß daraufhin geschätzt werden; panchromatisches Bildmaterial ist ausreichend
innerbetriebliches Wegenetz und Parkplätze	<ul style="list-style-type: none"> - Geländebegehung und Kartierung (ungenau) 	<ul style="list-style-type: none"> - Luftbilddauswertung und Kartierung (100 %ige Sicherheit); panchromatisches Bildmaterial ist ausreichend
Grünflächen (ha)	<ul style="list-style-type: none"> - Auswertung von Stadtkarten (er-Genauigkeit) - Geländebegehung, Kartierung und Ausmessung (ungenau) 	<ul style="list-style-type: none"> - Übertragung der Grünflächen auf großmaßstäbige Karten und Ausmessung (er-Genauigkeit) Zusatzinformationen: Zusammensetzung und Zustand der Grünflächen; Farbmischbilder (multispektral) <u>sehr günstig</u>
Freilagerflächen (ha)	<ul style="list-style-type: none"> - Geländebegehung, Kartierung und Ausmessung (ungenau) 	<ul style="list-style-type: none"> - wie bei Grünflächen Zusatzinformationen: Größenverhältnisse der gelagerten Güter, geordnete bzw. ungeordnete Lagerung; Farbmischbilder <u>besonders günstig</u>

Üd- und Unland, Reserveflächen bzw. Bauflächen (hø)	- Geländebegehung, Kartierung und Ausmessung (ungenau)	- wie bei Grünflächen Zusatzinformationen: Zustand und Lage der Flächen; Farbmischbilder besonders günstig
Schornsteine, Essen	- topographische Karten und Stadtkarten (unvollständig)	- Luftbildauswertung, stereoskopisch oder Schattenwurf identifizierbar Zusatzinformation: Höhe der Esse; panchromatisches Bildmaterial ist ausreichend



Interpretationsskizze
Maßstab 1 : 5000

Abb. 1 Interpretation eines Betriebes

Interpretationslegende:

- ☺ Bäume
(ohne Bez.) innerbetriebliches Wegenetz und versiegelte Freiflächen
- 1 LKW-Parkfläche an Straße, außerhalb des Betriebsgeländes
 - 2 Üdlandflächen an der Eisenbahn (Ruderalvegetation, Büsche)
 - 3 innerbetriebliche Parkplätze und Fahrzeugabstellflächen
 - 4 Üdland (Rasenflächen, Ruderalvegetation), Reservefläche
 - 5 unbedeckter Boden, Bau- bzw. Baureservefläche
 - 6 Freilagerfläche, ungeordnete Lagerung
 - 7 Speichereinrichtung (Hochsilo)
 - 8 Verlade- und Transporttrakt
 - 9 Heizhaus mit Hocheese
 - 10 Kohle- bzw. Kleinstückgutleger
 - 11/12 Produktionsgebäude, flach; Dächer aus Metallkonstruktion
 - 12a Produktionsgebäude, flach; Dächer mit Entlüftungsgächten
 - 13 Produktionsgebäude, hoch; Dächer aus Metallkonstruktionen
 - 14 Produktions- und Verwaltungsgebäude mit Bitumen- bzw. Ziegeldächern
 - 15 Flachbauten (Verwaltung, Sanitärtrakte) mit Betonplattendecke, z. T. Baracken
 - 16 Einfahrt des Standortes

Flächenkennwerte zur Interpretationsskizze

1. Standortgröße: 399 ar
2. Anzahl und Form der baulichen Anlagen:

Form	quadratisch	rechteckig	polygonal	rund	oval
Anzahl	6	11	7	0	0
3. Größe der baulichen Anlagen:

Größe	100 ar	50-100 ar	25-50 ar	10-25 ar	1-10 ar	1 ar
Anzahl	0	0	1	3	17	3
4. bebaute Fläche: 135 ar
5. Bebauungsdichte: 33,8 %, mit technischen Anlagen 38,3 %
6. Art der technischen Anlagen: Hochsilo, Heizhaus mit Hochsee, Verlade- und Transporttrakt
7. Größe der technischen Anlagen: 18 ar
8. Verhältnis bebaute Fläche / Freilagerfläche: 135 : 12 ar (12,3 : 1)
9. Anzahl der Schornsteine: 1 Hochsee
10. Verkehrsanbindung: Straße
11. Flächenbilanz:

Gesamtfläche	bauliche Anlagen	technische Anlagen	Freilagerflächen	Parkflächen	Wegenetz u. SF
399 ar	135 ar	18 ar	12 ar	18 ar	216 ar
100 %	33,8 %	4,5 %	3,0 %	4,5 %	54,1 %

Nutzungsmöglichkeiten multispektraler Flugzeugaufnahmen für die Erfassung von Veränderungen der Flächennutzung

K.-H. BLAUROCK, B. BREITFELD, W. RÜSNER

1. Notwendigkeit und Zielstellung der Erfassung von Flächennutzungsveränderungen

"Der Boden bietet die Fläche, auf der der Mensch sein Leben gestalten kann", so heißt es im "Handbuch über die sozialistische Landeskultur". Daraus ergibt sich seine hohe Wertschätzung und die Verpflichtung, mit dieser natürlichen Ressource verantwortungsbewußt umzugehen. Daraus ergibt sich auch die Notwendigkeit, weitere gesetzliche Regelungen zu schaffen, um den Boden zu erhalten, zu pflegen, zu verbessern und ihn rationell zu nutzen.

Diese Forderungen finden ihren Niederschlag in unserem "Landeskulturgesetz", dem "Gesetz über die planmäßige Gestaltung der sozialistischen Landeskultur in der Deutschen Demokratischen Republik" (vom 14. Mai 1970).

Dieses Gesetz regelt u. a. die Gestaltung und Pflege der Landschaft, die Nutzung und den Schutz von Boden, Wald, Gewässer und Luft, die Nutzbarmachung bzw. die schadlose Beseitigung von Abprodukten. Veränderungen von Nutzungen unterliegen gesetzlichen Vorschriften, die nach § 1 des Landeskulturgesetzes eine sinnvolle Gestaltung der natürlichen Umwelt, einen wirksamen Schutz und die Verschönerung der Natur sowie die planmäßige Entwicklung, die rationelle Nutzung, die Pflege und den Schutz der Landschaft und ihrer Reichtümer auf der Grundlage der fortgeschrittensten wissenschaftlichen Erkenntnisse gewährleisten.

Die Veränderungen von Flächennutzungen sind somit u. a. wesentlicher Arbeitsgegenstand der Territorialplanung. Unter diesem Aspekt ist es notwendig, sich systematisch mit der Er-

fassung von Flächennutzungsveränderungen auseinanderzusetzen. Ihre Erfassung dient der Information, welcher Art diese Flächennutzungsveränderungen sind, in welchem Umfang und wo sie sich vollzogen haben. Sie dient gleichzeitig der Ermittlung von Entwicklungstrende für ausgewählte Flächennutzungsobjekte oder Flächennutzungsarten.

2. Veränderungen der Flächennutzung

Erläuterungen zum Begriff "Flächennutzungsveränderung"

Der Begriff "Flächennutzungsveränderung" ist weit gefächert: Die Errichtung eines oder mehrerer Eigenheime, der Bau neuer Verkehrsretraseen, der Abriß nicht mehr funktionstüchtiger Bausubstanz wie z. B. alter Wohnhäuser oder auch Industrieanlagen gehören ebenso dazu wie die Inanspruchnahme landwirtschaftlicher Nutzfläche für neue Wohnkomplexe, Industriestandorte oder auch Kleingartenanlagen, die Errichtung von Deponien, aber auch die Gewinnung von Ackerland aus Grünland oder Üdland, der Wegfall von Feldwegen oder der Anbau von Flurgehölzen. Das sind einige Beispiele, wie vielgestaltig Flächennutzungsveränderungen sein können.

Die Erfassung der Flächennutzungsveränderung entsprechend einer Aufgabenstellung

Es ist also nicht sinnvoll oder auch nicht möglich, Flächennutzungsveränderungen schlechthin zu erfassen, Jeder Ermittlung von Veränderungen liegt eine Zielstellung zugrunde, die die zu erfassenden Einheiten bestimmt und somit die Legende für die Darstellung festlegt.

Erfassung der Flächennutzungsveränderungen zur Ermittlung von Entwicklungstrende

Interessiert z. B. die Veränderung der Flächenanteile von Nutzungsarten wie landwirtschaftliche Nutzfläche, Kleingärten, Industriebebauung, Wohnbebauung, Deponien oder Bergbauflächen, werden diese Nutzungsarten in dem Vergleichematerial identifiziert, miteinander verglichen und Veränderungen kartiert, d. h. ihre Art, Größe und Lage anschaulich gemacht. Das Vergleichematerial für den aktuellen Zeitschnitt sind Luftbilder. Für den zurückliegenden Zeitschnitt sind es größtenteils Karten (topographische Karten, Flächennutzungskarten).

Ein Beispiel (Abb. 1) zeigt Flächen mit Nutzungsveränderungen, wie man sie im Maßstab 1 : 50 000 erfassen und kartieren kann. Links ist der Nutzungszustand zum Ausgangszeit-schnitt (Zeitschnitt I), rechts der aktuelle Nutzungszustand (Zeitschnitt II) dargestellt. Beim Vergleich sieht man, daß sich auf Acker-, Wald- und Grünlandfläche der Bergbau ausge-dehnt hat, daß Kleingarten- und landwirtschaftliche Nutzfläche für Wohnbebauung zur Verfü-gung gestellt wurden, daß neue Kleingärten auf Ackerfläche, Grünland und Üdland entstanden sind. Auf Grünland ist Wald angepflanzt worden, Üdland wurde für Industriebebauung bean-sprucht. Neben der Art der Veränderung lassen sich aus der Kartierung noch die Größen der veränderten Flächen ermitteln. Im Beispiel sind sie in ha angegeben.

Durch eine zahlenmäßige Erfassung der Flächengrößen für die einzelnen Nutzungsarten ist es möglich, Entwicklungstendenzen für diese Nutzungsarten festzustellen.

In der Tabelle (Abb. 2) sind für o. g. Beispiel die Flächengrößen (in ha) für die ver-änderten Nutzflächen zusammengestellt. Es ist abzulesen, in welchem Umfang sich die o. g. Flächen verändert haben und ersichtlich, daß insgesamt ein Entzug von landwirtschaftlicher Nutzfläche als auch von Kleingartenfläche stattgefunden hat, daß Deponien, Industrie-flächen, Wohngebiete und neue Waldflächen hinzugekommen sind.

Auf diese Weise ist es möglich, sowohl die Durchführung von Planungsvorgaben zur Flä-chennutzung zu kontrollieren, als auch neue Planungsleitlinien auf Grund aktuellen Materials zu erarbeiten; denn mit der Erfassung von Flächennutzungsveränderungen wird gleichzeitig eine Laufendhaltung von Planungsgrundlagen erreicht.

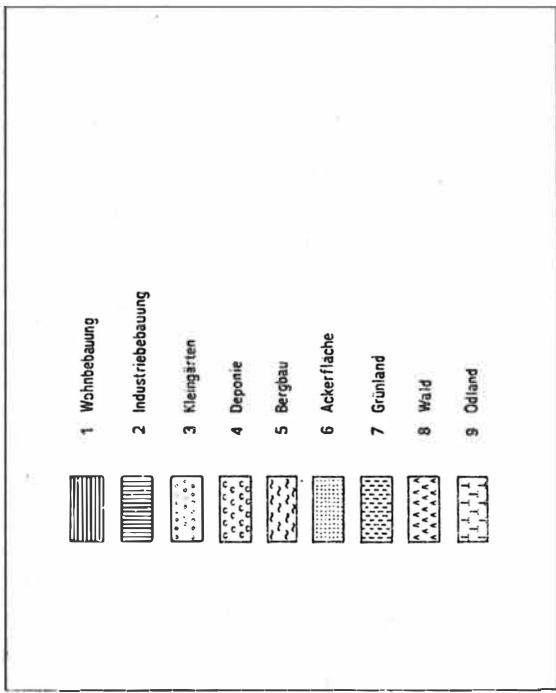
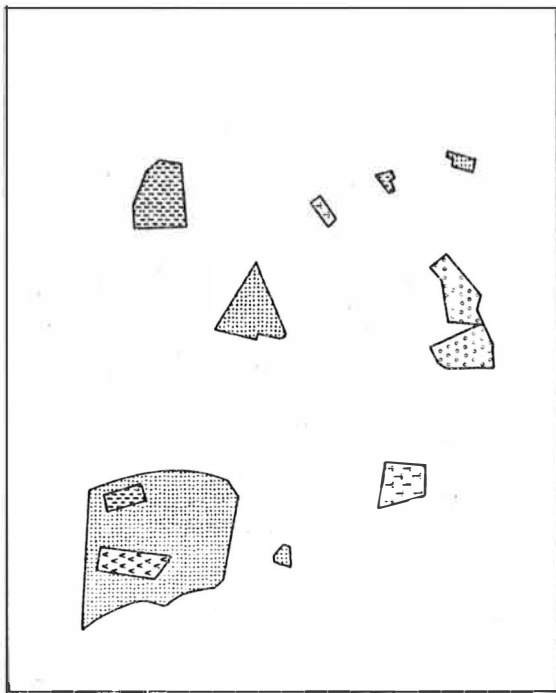
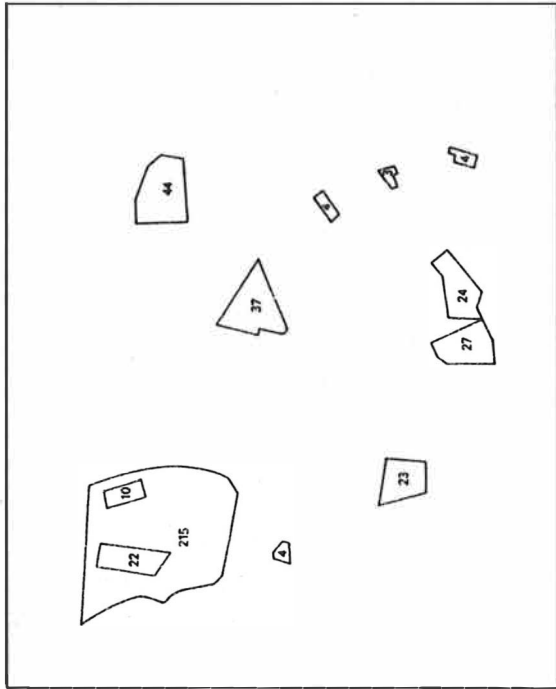
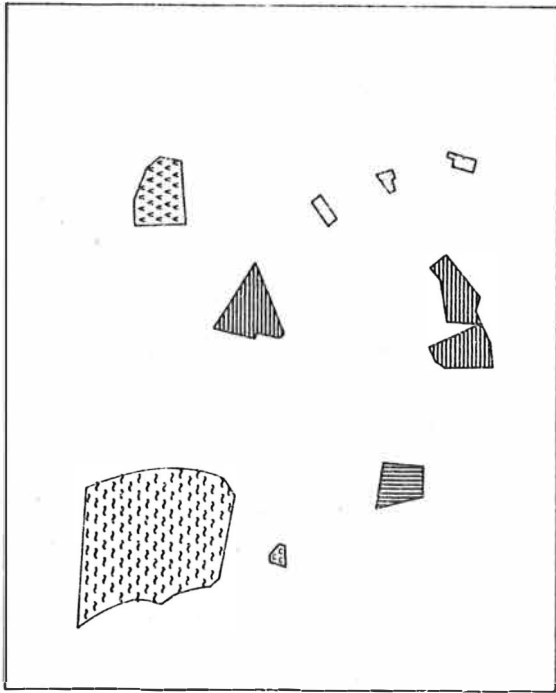


Abb. 1 Darstellungsmuster für Flächennutzungsveränderungen

I \ II	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
1										
2										
3	51									51
4										
5										
6	37		4	4	215					260
7			3		10			44		57
8					22					22
9		23	4							27
Σ	88	23	11	4	247			44		417

- 1 Wohnbebauung
- 2 Industriebebauung
- 3 Kleingärten
- 4 Deponie
- 5 Bergbau
- 6 Ackerfläche
- 7 Grünland
- 8 Wald
- 9 Odland

Abb. 2 Matrix für Flächennutzungsveränderungen
(Flächengröße in ha)

Erfassung von Flächennutzungsveränderungen zur Kontrolle der Durchführung von Planungsmaßnahmen und zur Laufendhaltung von Planungsunterlagen

Für andere Zielstellungen ist es erforderlich, Einzelobjekte in ihrer Veränderung zu erfassen und darzustellen. Hauptanliegen ist auch hier wieder die Kontrolle der Realisierung zur Durchführung von Planungsmaßnahmen sowie eine Aktualisierung von Kartenunterlagen für weitere Planungsvorhaben. Als Beispiel sei das Planungskataster angeführt. Die z. T. lückenhaften Meldungen über Flächennutzungsveränderungen in den Städten als auch der Laufendhaltungszyklus der topographischen Karten einschließlich der Laufzeit für deren Herstellung decken nicht den Informationsbedarf.

Nur mit Hilfe von Luftbildmaterial ist es möglich, der zwingenden Notwendigkeit zur Steigerung der Verbindlichkeit und Vollständigkeit des kartographischen Teils des Planungskatasters wesentlich entgegenzukommen. Zur Unterbreichnung sei ein Beispiel angeführt (Abb. 3). Auf einer Fläche im Stadtrandgebiet von Leipzig von ca. 8 km² sind den Planungskatasterunterlagen 19 geplante flächenhafte Investitionsvorhaben zu entnehmen. Davon sind 2 als realisiert eingetragen. Die Luftbildauswertung brachte Informationen über bauliche Veränderungen auf weiteren 8 Investitionsflächen. Das bedeutet, daß ca. 50 % der geplanten Investitionsvorhaben bereits begonnen oder realisiert sind, ohne im Planungskataster registriert zu sein. Eine Fläche entspricht nicht der vorgesehenen Nutzung. Wenn man in Betracht zieht, daß für einen Teil der geplanten Investitionen der Realisierungszeitpunkt noch nicht erreicht ist, muß man sagen, daß der Informationsgewinn durch Luftbilder sehr hoch ist und gleichzeitig auf aufwendige Ortsvergleiche verzichtet werden kann.

Solche Ortsvergleiche können auch weitgehend eingespart werden, wenn man im Sinne einer Laufendhaltung der Kartenunterlagen auch alle Veränderungen kleineren Umfange, z. B. einzelne Eigenheime, Sportbauten, evtl. Werkhallen erfaßt, die bei der Vorauswahl für neue Investitionsstandorte eine Rolle spielen können. Die Informationen aus Luftbildern, die teil-

weisse aussagekräftiger sind als topographische Karten, weil sie die natürlichen Gegebenheiten widerspiegeln, rationalisieren die Investitioneplanung.

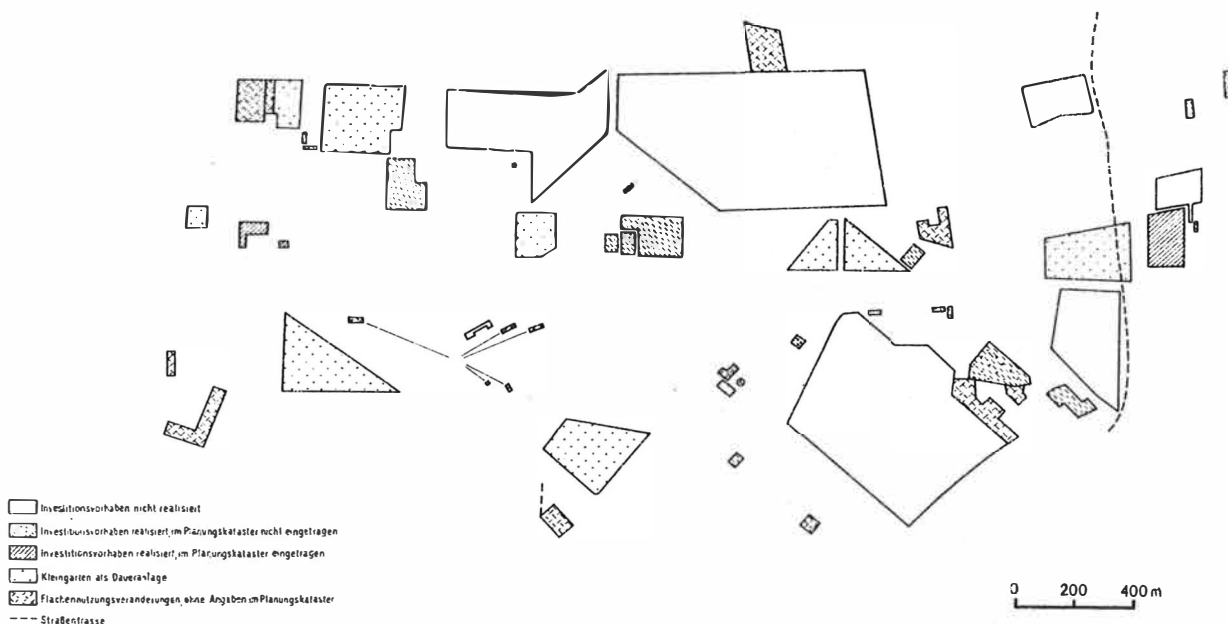


Abb. 3 Testbeispiel

Im folgenden Beispiel (Abb. 4) geben die Zahlen Flächen an, die im Planungskataster als Investitionsflächen registriert sind. Die Buchstaben kennzeichnen Flächen bzw. Objekte der Veränderung, die mit Hilfe des Luftbildes zusätzlich ermittelt wurden:

Fläche 1 PK: Eigenheimstandort 6 WE, 1976-1980

TK: Gemüsegarten mit Bäumen

LB: 5 Wohnhäuser auf vorgesehener Fläche

1 Wohnhaus auf Fläche gegenüber Straße

Fläche 2 PK: Kleingärten als Daueranlage

TK: Kleingärten

LB: Gebäude mit unregelmäßiger Anordnung mit unterschiedlichem Grundriß und Größe, gestaltete Freifläche → Schulgelände (die Fläche entspricht nicht dem vorgesehenen Verwendungszweck)

Fläche 3 PK: Komplexer Wohnungsbau 1986-1990

TK: Ackerfläche

LB: Ackerfläche

Fläche 4 PK: Komplexer Eigenheimstandort, 18 WE, 1976-1980

TK: Kleingärten

LB: 18 Einzelhäuser mit Parzellierung und neu angelegter Straße

Bebauung über vorgesehene Fläche hinaus

Fläche a TK: Obstgärten

LB: Einfamilienhäuser und Privatgrundstücke

Fläche b TK: Kleingärten

LB: Grundstück mit größerem Gebäude (Wohnheue)

Fläche c TK: Kleingärten mit wenigen kleinen Gebäuden (evtl. Lauben)

LB: größere Gebäude mit veränderter Lage (Wohnhäuser)

Der Bildmaßstab, der für diese Aussagen verwendet wurde, betrug ca. 1 : 22 000.

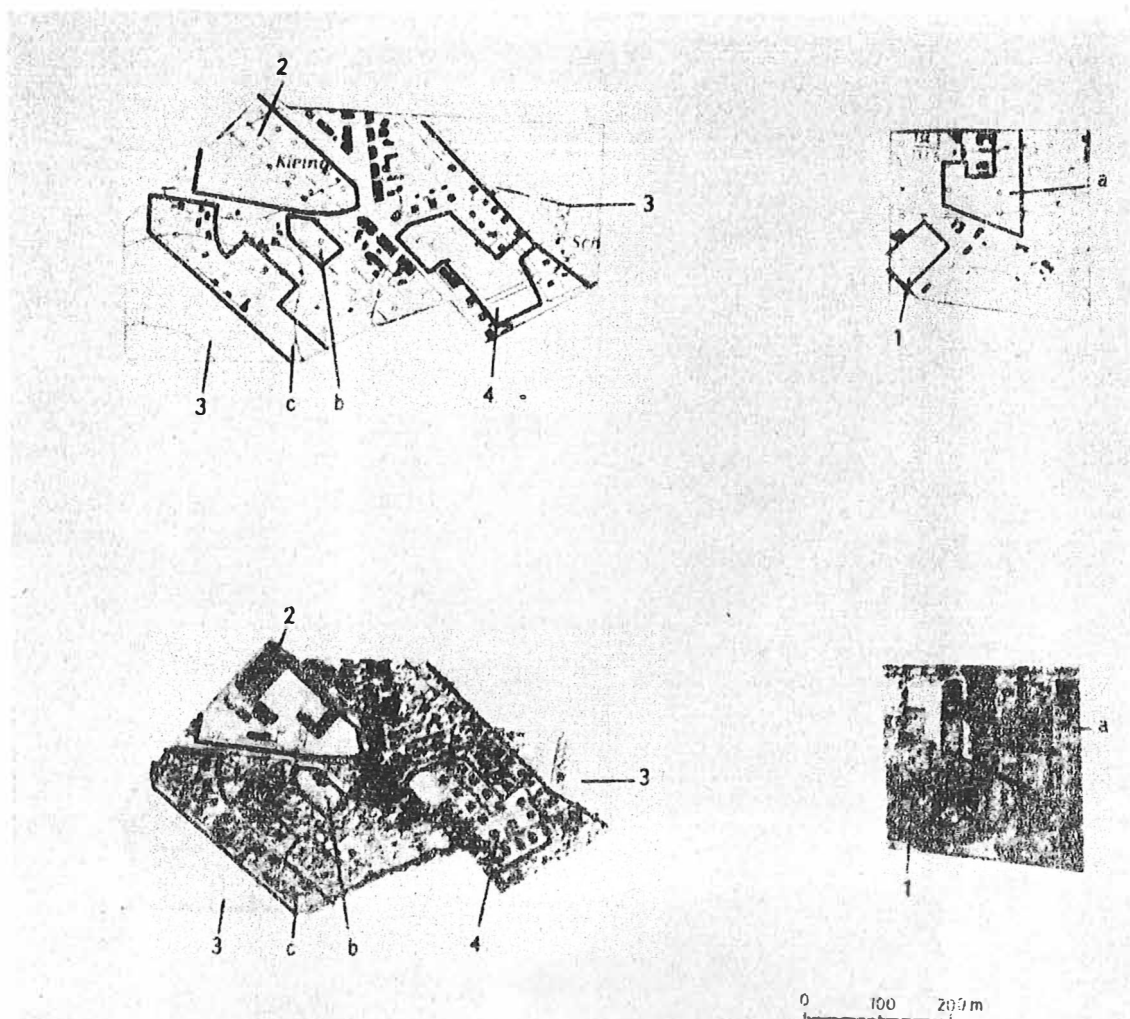


Abb. 4 Interpretationsbeispiel LFB-Nr. 32/84 D 118/84

Erfassung von Flächennutzungsveränderungen durch Auswertung von multispektralen Flugzeugaufnahmen

Die Auswertung von Luftbildmaterial für die Erfassung von Flächennutzungsveränderungen erfolgt vorerst noch durch visuellen Vergleich des Materials. Steht multispektrales Bildmaterial zur Verfügung, erscheint die Informationsgewinnung zunächst etwas aufwendiger als bei panchromatischen Luftbildern. Es erhöht sich aber die Aussagekraft für die einzelnen Objekte durch die Widerspiegelung ihrer unterschiedlichen Remissionseigenschaften in den verschiedenen Wellenbereichen. Für eine Reihe von Fragestellungen können einzelne Kanäle schon hinreichende Informationen bringen. So tritt z. B. in den Kanälen 5 und 6 (Abb. 5) eine deutliche Trennung von bebauter und unbebauter Fläche hervor. Die im Positiv dunkel erscheinenden Wasserflächen trennen sich markant von ihrer Umgebung, besonders von den hellen Vegetationsflächen. Die Kanäle 3 (Abb. 6) und 4 ermöglichen verstärkt Aussagen über die Differenzierung von Freiflächen wie Rasenflächen, unbedecktem und versiegeltem Boden

innerhalb von Bebauungskomplexen; sie lassen Dachformen, Schornsteine und Unterschiede in der Dacheindeckung erkennen.

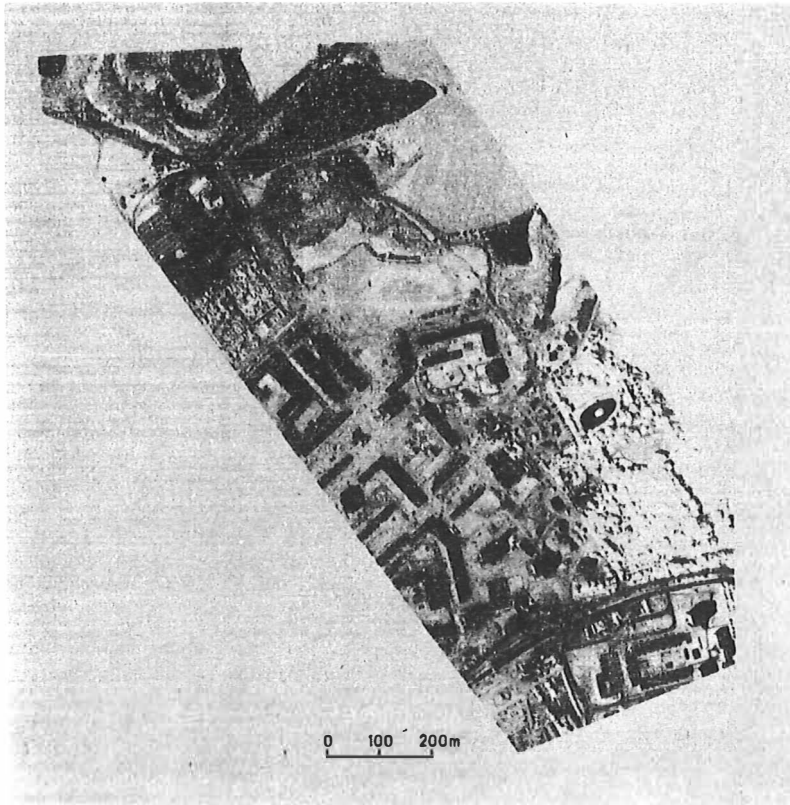


Abb. 5 Luftbildaus-
schnitt 'Kanal 6'
LFB-Nr. 32/84

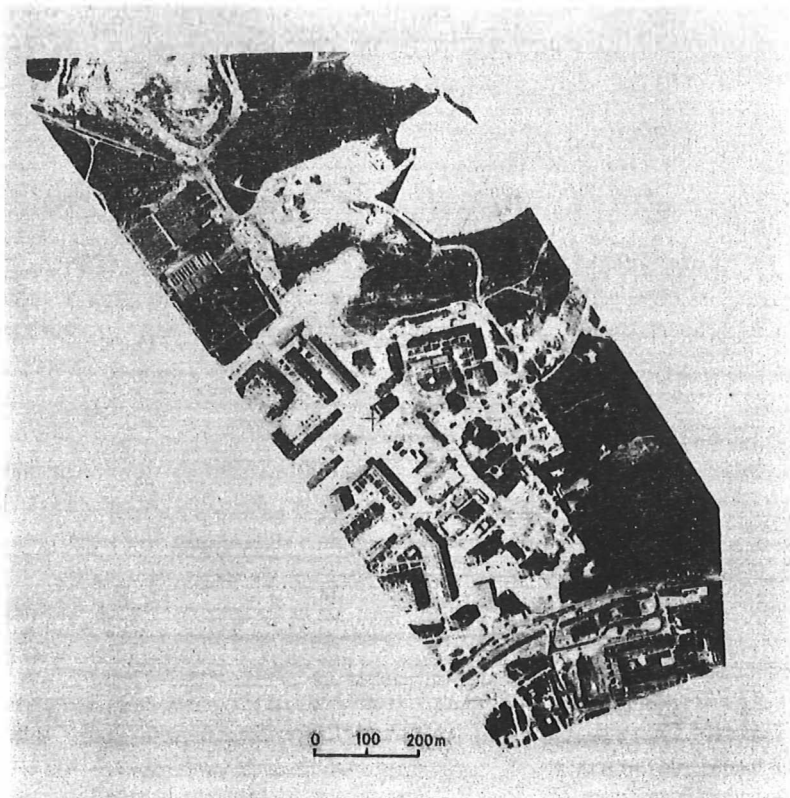


Abb. 6 Luftbildaus-
schnitt 'Kanal 3'
LFB-Nr. 32/84

Ein großer Teil von Fragestellungen, wie die Charakterisierung der Freiflächen innerhalb der Bebauungszone, in Kleingärten oder in Parks oder Aussagen über die Nutzung des Offenlandes, macht eine gleichzeitige Auswertung von mehreren Kanälen erforderlich. Eine solche Bearbeitung ist mittels Farbmischprojektor MSP 4 möglich. Hier lassen sich bis zu vier Grauwertinformationen vereinigen und durch geeignete Farbwahl für die jeweiligen Kanäle sowie deren Mischung interpretationsgerechte Bilder in fünffacher Vergrößerung erzeugen.

3. Zusammenfassung

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß der rationelle Umgang mit der Ressource "Fläche" Kenntnis über einen aktuellen Zustand der Flächennutzung voraussetzt. Durch die Verwendung von Luftbildmaterial kann diese Forderung erfüllt werden. Die Auswertung der Luftbilder bietet eine effektive Möglichkeit, durch die Erfassung der Flächennutzung bzw. ihrer Veränderung der Praxis aktuelle Planungsunterlagen zur Verfügung zu stellen, die Realisierung von Planungsmaßnahmen zu kontrollieren und zielgerichtet auf weitere Planungskonzeptionen Einfluß zu nehmen. Mit der Anwendung dieser modernen Verfahren zur Erfassung von Flächennutzungsveränderungen soll ein Beitrag zur Effektivitätssteigerung der Territorialplanung geleistet werden, soll die territoriale Rationalisierung unterstützt werden.

Einsatzmöglichkeiten von Luftaufnahmen bei Siedlungskartierungen in großen Maßstäben

H. BARTHEL

Für die Planung und Projektierung von Sanierungsmaßnahmen in städtischen und ländlichen Siedlungen sowie für die Ausarbeitung und Laufendhaltung von Ortsgestaltungskonzeptionen in den Maßstäben 1 : 2000 und 1 : 5000 werden detaillierte und vor allem aktuelle Informationen über Bausubstanz, Flächennutzung und technische Infrastruktur benötigt. Auf diesem praxisorientierten Hintergrund wurde im Rahmen einer Diplomarbeit und ergänzender Untersuchungen ein Interpretationsexperiment mit Luftbildern verschiedener Emulsionen durchgeführt. In Form einer Eignungsprüfung sollte erkundet werden, wo die Grenzen einer gesicherten Informationsentnahme entsprechend der Zielvorgabe liegen und mit welchem Anteil die verschiedenen sensibilisierten Luftbilder hinsichtlich der Objekterkennbarkeit beim Datenerfassungsprozeß beteiligt werden können.

Der rasche Wechsel von zu erfassenden Objekten und Objekteigenschaften in den Siedlungen, insbesondere in den ländlichen Bereichen, erfordert grundsätzlich eine sehr hohe geometrische Auflösung und damit in der Regel große Bildmaßstäbe, um die erforderliche Detaillierbarkeit zu realisieren und die Fehlinterpretationen weitestgehend zu reduzieren. Satellitenbilder wurden daher von vornherein ausgeschlossen, da für die Lösung der Aufgabenstellung Objektauflösungen gefordert werden, die aus dem Kosmos vorerst nicht realisierbar sind.

Die Untersuchungen erfolgten in zwei Beispielsgebieten. Vom Ortsteil Waitzdorf der Stadt Hohnstein in der Sächsischen Schweiz stand ein unentzerrtes farbiges Luftbildpaar in Form von Kontaktkopien im Bildmaßstab 1 : 6000 einer Julibefliegung und vom Beispielsgebiet Dippoldiswalde-Nord im Osterzgebirge vier unentzerrte panchromatische, infrarote, echtfarbene und falschfarbene Luftbildpaare im Bildmaßstab 1 : 10 000 einer Septemberbefliegung zur Verfügung. Die photographischen Qualitäten waren leider sehr unterschiedlich. Besonders das Luftbildpaar von Waitzdorf zeigte infolge Unterbelichtung echte Qualitätsmängel, so daß eine eindeutige Erkennung von zahlreichen gesuchten Informationen sichtlich erschwert war. Ausgangsbasis für die Lösung der Aufgabenstellung bildete ein den praktischen Bedürfnissen weitgehend angepaßter Kartierungsschlüssel zweier terrestrisch durchgeführter Ortskartierungen. Er umfaßte 72 flächenbezogene, gebäudebezogene und funktionsbezogene Informationen verschis-

dener Wertigkeit. Darunter auch Objekte und Objekteigenschaften, die nur schwer luftleichtbar sind, so z. B. den nach vier Qualitätstufen differenzierten Bauzustand der Gebäude und die Wandbauart. Nicht enthalten war dagegen jener Informationsteil der Bestandserfassung, der nur durch Befragung oder Gebäudebegehung erfaßt werden kann, wie beispielsweise Nutzungsintensität, Nutzungsträger und Ausstattungsgrad der Gebäude.

Die Bildauswertung beschränkte sich auf die Dechiffrierung und Interpretation mit Hilfe von optischen Auswertegeräten. Besonders das Interpretoskop vom VEB Carl Zeiss JENA, das bei einer variablen Betrachtungsvergrößerung über die qualitative Kennzeichnung hinaus auch die messende geometrische Bestimmung ermöglicht, wurde mit optimalem Erfolg eingesetzt. Die zur Lösung der Aufgabe verwendeten Katasterkarten in den Maßstäben 1 : 2000 und 1 : 5000 haben sich als Kartierungsgrundlage für die in den Luftbildern erfaßten thematischen Informationen sehr gut geeignet, da sie die notwendigen topographischen Basisinformationen bereitstellen und somit die erforderliche Übertragungsgenauigkeit der Bildinformationen gewährleisten.

Die visuelle stereoskopische Bildauswertung in den beiden Testgebieten brachte folgende Ergebnisse:

Von der Gesamtmenge der im Kartierungsschlüssel vorgegebenen Informationen zum Gebäudezustand, der Flächennutzung und der ausgewählten Objekte der technischen Infrastruktur waren 36 bis 46 % mit unterschiedlicher Sicherheit zu erfassen. Im einzelnen ergaben sich folgende Werte:

Testgebiet	Filmart	% von der zu erfassenden Gesamt- datenmenge
Waitzdorf	color (UT 18)	36
Dippoldiswalde-Nord	panchromatisch (VF-35)	41
	infrachromatisch (I-840)	46
	color (NC-19)	42
	falschfarbig (SN-6)	46

Die in diesem Experiment ermittelten prozentualen Angaben zur Objekterkennbarkeit und Kartierbarkeit sind allerdings nicht als Richtwerte aufzufassen, sondern stellen nur erste Orientierungswerte dar. Es wird eingeschätzt, daß bei verbesserter Bildqualität und größerem Bildmaßstab ein höherer Prozentsatz an gesicherten Informationen für die Aufgabenstellung erzielt werden kann. Die Ergebnisanalyse des Experiments machte ferner deutlich, daß großmaßstäbige panchromatische Luftbilder in Kombination mit falschfarbigen Bildern für die Interpretation von Siedlungsräumen ausreichend sind. Bei kleinparzelliger Struktur, wie sie in Ortslagen üblich ist, vermögen sie bei stereoskopischer Auswertung sowohl bei der Gebäudeanalyse als auch bei der Flächenansprache sehr viel zu leisten. Es ist in der Regel eine relativ einwandfreie Objektansprache möglich. Allerdings muß darauf hingewiesen werden, daß diese Aussage nur zutreffend ist bei sehr guter Bildqualität. Bei den Coloraufnahmen wurde infolge teilweise fehlender Farbtreue nicht die Wiedergabequalität im Detail vom panchromatischen Filmmaterial erreicht. Das traf besonders auf das Bildpaar von Waitzdorf zu, wodurch der Interpretationsertrag auf 36 % herabgedrückt wurde. Die eindeutige Ansprache der Gebäudefunktion, so z. B. die Unterscheidung von Scheune, Schuppen oder Garage war nicht immer möglich bzw. mit Unsicherheiten behaftet. Gleiche oder ähnliche Schwierigkeiten traten bei der Erfassung und Abgrenzung von Zier- und Gemüsegärten auf sowie bei Objekten, die auf Grund ihrer geringen Größe nur schwer luftleichtbar waren, wie z. B. Senklöcher für die Beseitigung der Hausabwässer, oder durch das Großgrün verdeckt wurden. Auch die eindeutige Erfassung aller Odlandflächen bereitete bei den vorliegenden Bildmaßstäben und Bildqualitäten teilweise Schwierigkeiten, obwohl gerade die arealmäßige und räumliche Erfassung dieser Flächenkate-

gorie innerhalb der Siedlungskörper von grundsätzlicher Bedeutung ist, stellen doch die Ödlandareale echte Reserveflächen dar, deren Einbeziehung in den Nutzungsprozeß vorrangige Aufgabe eines jeden Planungsprozesses sein muß. Auch mit Hilfe von Struktur- und Texturmerkmalen war keine eindeutige Zuordnung immer möglich, da Ödlandflächen sehr unterschiedliche Beschaffenheit aufweisen und somit auch in ihrem Remissionsverhalten sehr differenziert reagieren. Auch mußte festgestellt werden, daß eine Unterscheidung zwischen den verschiedenen Obstbaumarten, deren terrestrische Kartierung problemlos ist, nicht möglich war. Allerdings soll nicht in Abrede gestellt werden, daß ein Obstbaumspezialist auf der Grundlage von Baumkronenanalysen in der Lage ist, zumindest teilweise Unterscheidungen treffen zu können.

Mit diesen Hinweisen sollten die Grenzen der Informationsentnahme aus Luftbildern für die vorgegebene Aufgabenstellung angedeutet werden, die nicht ohne weiteres durchbrochen werden können. Doch das Experiment hat andererseits auch gezeigt, daß bei der Gewinnung von Grundinformationen, die für die Ausarbeitung von Ortsgestaltungskonzeptionen notwendig sind, Luftbilder weit über ein Drittel der erforderlichen Informationsmenge bereitstellen können, wobei der zunehmend an Bedeutung gewinnende ästhetische Informationsaspekt nicht inbegriffen ist. Mit dem erreichten Auswertergebnis wird aber auch bestätigt, daß bei der großmaßstäbigen Bestandsaufnahme in Siedlungsbereichen die meisten Informationen durch terrestrische Erkundung ermittelt werden müssen. Außerdem liegen die Fehlinterpretationen im Baukörperbereich noch relativ hoch, so daß sich während des terrestrischen Aufnahmeprozesses eine Überprüfung der nicht eindeutigen Interpretationsbefunde erforderlich macht. Von großem Vorteil erweist sich andererseits die Aktualität der Luftbildinformationen, die es gestattet, alle Veränderungen in der Baukörpersubstanz (Abriß/Neubau) groß- und lägerichtig zu erfassen und in die Kartierungsgrundlage der Katasterkarten zu übernehmen. Dadurch wird die terrestrische Kartierung wesentlich erleichtert. Dieser Vorteil konnte überzeugend am Beispiel Dippoldiswalde-Nord nachgewiesen werden, wo infolge der dynamischen Entwicklung im Beugeechehen die Laufendhaltung der Katasterkarten nicht erfolgt war.

Das Ziel weiterer Experimente dieser Art sollte in enger interdisziplinärer Zusammenarbeit mit Stadt-, Dorf- und Landschaftsplanern darin bestehen, allseitig auszuloten, in welcher Weise die Luftbildinterpretation als Arbeitsmethode und Hilfsdisziplin in den Prozeß der Bestandsaufnahme fest integriert werden kann, um damit die terrestrischen Kartierungsarbeiten zu entlasten. Dabei sind verstärkt auch ökonomische Parameter zu beachten. Insbesondere ist die viel diskutierte Mehrfachnutzung von Luftaufnahmen stärker als bisher nutzerorientiert in die jeweilige Problemlösung aufzunehmen. Letztlich ist Klarheit über weitere Möglichkeiten der Luftbildauswertung einschließlich der dabei auftretenden Probleme nur durch praktische Experimente zu gewinnen.

Wesentlich effektiver als bei der Ausarbeitung von Ortsgestaltungskonzeptionen lassen sich Luftbilder bei der Erarbeitung von Flurgestaltungskonzeptionen einsetzen, da die Betondeckung im Flurbereich vorrangig auf Objekte und Objekteigenschaften orientiert ist, die weitgehend luftlichtbar sind. Die im allgemeinen großflächige Nutzflächendifferenzierung und Geländeschlageinteilung der Acker- und Grünlandbereiche einschließlich der Flurgeholzverteilung, der Zustand des Wirtschaftswegenetzes, die Bestandsdifferenzierung der Forstflächen und weitere wichtige luftlichtbare Informationen vermögen aus Luftbildern mit der dafür erforderlichen Genauigkeit erfaßt und kartiert zu werden, so daß dadurch die terrestrische Aufnahmearbeit ganz wesentlich reduziert werden kann. Für die Lösung dieser Aufgabe erscheinen nach ersten orientierenden Wertungen auch die panchromatischen Luftaufnahmen, die aller fünf Jahre vom Territorium der DDR zum Zwecke der Laufendhaltung der topographischen Karten angefertigt werden, ausreichend zu sein, da die kartographische Bearbeitung der Flurgestaltungskonzeptionen vorrangig in den Maßstäben zwischen 1 : 10 000 und 1 : 25 000 er-

folgt. Es erscheint daher angebracht, auch zu dieser Aufgabenstellung entsprechende Eignungsprüfungen in repräsentativen Testgebieten vorzunehmen, wobei von vornherein ökonomische Zielstellungen mit einzubeziehen sind.

Neben der zielorientierten sachepezifischen Informationserfassung gewinnen bei der Erarbeitung von Orts- und Flurgeestaltungskonzeptionen ästhetische Informationsaspekte immer mehr an Bedeutung. Bei der Lösung dieser Aufgabe vermögen neben den panchromatischen Bildern vor allem qualitativ hochwertige Echtfarbenphotos wesentliche Aussagen zu vermitteln. Diese Aspekte der Informationsbereitstellung aus dem Datenspeicher Luftbild sollte in Zukunft stärker in den Auswerteprozess mit einbezogen werden, da der Detailreichtum der Bilder die ästhetischen Vorstellungen von Siedlungskörpern und den zugehörigen Flurbereichen wesentlich zu fördern vermag. Die Luftbilder stellen hierzu Informationen bereit, die in dieser Form und Qualität kein anderer Informationsspeicher zu liefern vermag. Die sich in den nächsten Jahren weiter verstärkenden Rekonstruktionsmaßnahmen in den ländlichen Siedlungen auf der Basis von Ortsgestaltungskonzeptionen und die zielstrebige Durchsetzung der Flurgestaltung auf der Grundlage ökologisch-ökonomischer Parameter, erfordert zunehmend die Bereitstellung von Kartengrundlagen in großen Maßstäben mit aktuellen und exakten Aussagen über Nutzung und Zustand der vorhandenen Bausubstanz und der Freiflächen einschließlich der zugehörigen technischen Infrastruktur. Die dazu erforderlichen Bestandsaufnahmen können durch aufgabenorientierte Luftbildauswertungen effektiv unterstützt werden, insbesondere hinsichtlich der Freiflächenanalyse in den Ortsbereichen sowie bei der Fluranalyse. Es wird vorgeschlagen, mit Hilfe von Fallstudien weitere Erfahrungen zu sammeln, um damit Voraussetzungen zu schaffen, die vielfach noch experimentelle Phase der Luftbildverwendung in der Stadt-, Dorf- und Landschaftsplanung in die Phase der praktischen produktiven Nutzenanwendung zu überführen. Dabei ist die Luftbildauswertung als eine der jeweiligen zielorientierten Komplexkartierung vorangestellte Teilphase zu betrachten, der die Aufgabe zufällt, neben der Aktualisierung topographischer Kartenelemente alle vorgegebenen luft-sichtbaren Objekte zu kartieren bzw. tabellarisch zu erfassen. Für die generelle Planung ländlicher Siedlungen und Flurbereiche sind Bildmaßstäbe bzw. Bildvergrößerungen zwischen 1 : 5000 und 1 : 25 000 und für die spezielle Planung Maßstäbe zwischen 1 : 2000 und 1 : 5000 erforderlich.

Elementeschlüssel als ein Mittel der Aufbereitung von Flugzeugaufnahmen für die Siedlungskartierung

P. DUVINAGE

Jeder Gegenstand, jedes Objekt und jede Fläche wird durch konkrete Abbildungseigenschaften wie Schwärzung, Grauton, Farbe, textuelle und strukturelle Merkmale, geometrische Formen u. a. gekennzeichnet. Diese Merkmale werden in einem Dechiffrierungsschlüssel nach einem speziellen räumlichen und zeitlichen Bezug zusammengefaßt. In ihm sind verschiedene quantifizierbare und qualifizierbare Aussagen enthalten, die eine möglichst genaue Zuordnung der verschiedenen Areale zu einer Klasse ermöglichen sollen. Dadurch können Zusammenhänge im Territorium verdeutlicht, landeskulturelle Aussagen u.v.a. mehr getroffen werden.

Nun wurden bereits eine Vielzahl von Dechiffrierungsschlüsseln zur Unterstützung und Erleichterung der visuellen Interpretation multispektraler Fernerkundungsdaten unter verschiedensten Zielstellungen aufgestellt. Untersucht man die vorliegenden Dechiffrierungsschlüssel zur Flächennutzungsproblematik aber etwas näher, so stellt man fest, daß der Schwerpunkt der Interpretation von aerokosmischem Bildmaterial eindeutig im Bereich der land- und forstwirtschaftlich genutzten Freiflächen lag. Einer starken Differenzierung der Nutzflächen in diesem Bereich stand eine teilweise grobe Kennzeichnung der Siedlungen gegenüber. Ausgehend

von diesem Nachhohlebedarf und von der Bedeutung der Siedlungen im Prozeß der territorialen Entwicklung wurde ein Dechiffrierungsschlüssel für die visuelle Kennzeichnung von Flächennutzungsstrukturen in Siedlungen und deren Umland aus multispektralen Hochbfliegungsaufnahmen entwickelt.

Der Grundgedanke, der zur Entwicklung des Elementeschlüssels führte, ist, daß eine Nutzfläche keine homogene Einheit darstellt, sondern sich aus verschiedenen Elementen zusammensetzt. Erst deren funktionale Beziehungen läßt sie gegenüber anderen Nutzflächen als Funktionsgebiet (z. B. Industriegebiet, Wohngebietsfläche) als abgrenzbares Ganzes erscheinen.

Entsprechend den Forderungen nach einer Formalisierung von Erkennungsprozessen, kann die Aufteilung der Objektklassen in die jeweiligen Elemente ein Bestandteil der "kybernetisch überwachten Objekterkennung" sein. Nach SÖLLNER u. a. 1982 /2/ erfolgt eine formalisierte Beschreibung der Objekte mit Hilfe von Objektbestandteilen und Relationen. Das bedeutet, daß zunächst das interessierende Objekt (Flächennutzungsart) in seine Bestandteile (Flächennutzungselemente) zerlegt wird. Die Elemente lassen sich dabei weiter in Remissionswert, Form, Größe, Lage u. a. unterteilen und dadurch genauer beschreiben. Nach umfangreichen ähnlichen Untersuchungen, die an 170 Testflächen durchgeführt wurden, erfolgte die Aufstellung des Elementeschlüssels in zwei Katalogteilen:

1. Katalog zur Beschreibung von Flächennutzungsarten durch Gruppen von Flächennutzungselementen
2. Katalog zur Beschreibung der Flächennutzungselemente (Beispiele aus beiden Katalogteilen siehe Tab. 1).

Nach dieser Methode wurde mit Hilfe des Elementeschlüssels eine flächendeckende Kartierung der Nutzungsstrukturen von Potsdam und Umland erfaßt. Um subjektive Einflüsse bei der Interpretation weitestgehend auszuschalten (gute Ortskenntnis des Autors), erfolgte eine weitere Überprüfung des Elementeschlüssels durch die Interpretation eines unbekanntes Gebietes im Süden der DDR. Dabei zeigte sich, daß der Elementeschlüssel mit seinen 73 Objektklassen als ein Grundgerüst aufzufassen ist, das entsprechend den örtlichen Besonderheiten relativ problemlos zu verändern ist (Definition weiterer Flächennutzungsarten mit Hilfe vorhandener bzw. neuer Flächennutzungselemente).

Umfangreiche terrestrische Untersuchungen bestätigen den hohen Grad der Richtigkeit der mit Hilfe des Elementeschlüssels aus den multispektralen Hochbfliegungsaufnahmen interpretierten Flächennutzungsstrukturen. Im Durchschnitt ist die Fehlerquote auf einen Wert, der kleiner als 4 % ist, festzusetzen. Die Fehlerursachen zwischen Interpretationsergebnis und durchgeführter terrestrischer Kontrolle lassen sich in folgenden Punkten zusammenfassen:

- a) bauliche und anderweitige Veränderungen, die seit der Bfliegung bis zum Zeitpunkt der terrestrischen Kontrolle stattfanden,
- b) Oberdeckung von Flächennutzungselementen bzw. Flächennutzungsarten durch hohen und dichten Baumbestand,
- c) Ungenauigkeiten in der Auswertung durch den Interpreten (Übersehen von Informationen) und
- d) Fehlinterpretationen.

Einige Objekte bereiteten bei der Interpretation mit dem Elementeschlüssel Probleme und führten teilweise (in sehr geringem Umfang) zu Fehlinterpretationen:

- Trennung von stark einheitlich remittierenden Grünflächen (z. B. Acker-Grünland)
- Zuordnung von Flächen zum Urd- und Umland
- funktionale Ansprache von Gebäuden.

Inbesondere dem letzten Problembereich entsprechend, erfolgte bei der Erfassung der Flächennutzungsstrukturen im Stadtgebiet von Potsdam primär eine Interpretation nach den Dichtewerten der Bebauung (dichte, halboffene und offene Bebauung mit entsprechenden Kennwerten) und erst sekundär eine funktionsmäßige Kennzeichnung, die im wesentlichen recht allgemein, dem Maßstab (1 : 10 000) aber durchaus angemessen war. Bei besonderen Schwierigkeiten wurden Zusatzinformationen herangezogen bzw. eine terrestrische Begehung durchgeführt. Es muß aber betont werden, daß MKF-6 Hochbefelegungsaufnahmen auf Grund der vielfältigen Detailinformationen und der Möglichkeiten einer differenzierten Aussage in verschiedenen Spektralbereichen die Hauptinformationsquelle bei der Erfassung von Flächennutzungsstrukturen sind. Bei der Bewältigung dieser Aufgabe hat sich der Elementeschlüssel als ein brauchbares Hilfsmittel zur visuellen Interpretation bewährt. Nachweisbar wird mit Hilfe dieser Interpretationsmethode eine Zeitersparnis von ca. 50 % gegenüber konventionellen Methoden erreicht.

Mit diesem Elementeschlüssel ist die Entwicklung brauchbarer Interpretationsschlüssel aber nicht abgeschlossen. Eine mögliche Richtung für eine Weiterentwicklung visueller als auch rechnergestützter Interpretationsmethoden könnte über formalisierbare Nutzungsmuster führen.

Tabelle 1

1) Katalog zur Beschreibung von Flächennutzungsarten durch Gruppen von Flächennutzungselementen (Auszug):

- geschlossen durchgrüntes Neubau(wohn-)gebiet.

Merkmale: Fläche (> 1 ha) mit einzelstehenden, mehrgeschossigen Neubaublöcken (HAUSERBLOCK/REIHENHAUS) bzw. mit PUNKTHOCHHAUSERN in REGELMÄßIGER, geplanter Anordnung; weiterhin gehören dazu: Einrichtungen (Typenbank) der Versorgung, Dienstleistung und Bildung (SCHULE, KINDERKOMBINATION/KAUFHALLE); vorherrschende Dachform ist das Flachdach; im Neubau(wohn-)gebiet besteht ein verzweigtes WEGENETZ (WEG); KLEINE und GROBE FREIFLÄCHEN zwischen den Gebäuden werden oft als Grünflächen gestaltet (BODEN BEGRÜNT, BEETE, VORGÄRTEN, EINZELNER BAUM, BAUMGRUPPE, BAUMREIHE); Bildung von STRABENGEVIERTEN.

Lage: oft im peripheren Siedlungsbereich gelegen, aber auch im Bereich des Zentrums von Mittel- und Großstädten möglich; benachbarte Flächen: Verkehrsfläche, Reihen- oder Einzelhaussiedlung, einheitlich gestaltet; Villen oder Einzelhausgebiet individuell gestaltet; Fläche mit gesellschaftlichen Bauten; Bauland; Forestfläche; Parkanlagen, Frei- und Erholungsflächen.

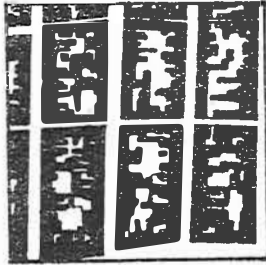
2) Katalog zur Beschreibung der Flächennutzungselemente (Auszug):

Häuserblock/	A 200 - 1400 m ²
Reihenhaus:	a 65 ± 33 m / b 11 ± 3 m / h Schattenbildung - 2 Stockwerke - Abstand zueinander: 20 m - vorwiegender Grundriß: langgestrecktes Rechteck (auch geknickt möglich)
Vorgarten:	A 15 - 205 m ² / a 17 ± 12 m / b 5 ± 2 m begrünte Fläche zwischen Hause und Straße

Literatur

- /1/ DUVINAGE, P.: Zur Erfassung von Flächennutzungselementen und -arten in Siedlungsgebieten und deren Umland aus multispektralen Hochbefelegungsaufnahmen und Ableitung von etadtplanerischen und etadtökologischen Aussagen.- 1984.- Potsdam, Die. A
- /2/ SÜLLNER, R. u. a.: Zur Formalisierung von Erkennungsprozessen in der Fernerkundung.- In: Vermessungstechnik 30(1982)3.- S. 81 - 84.

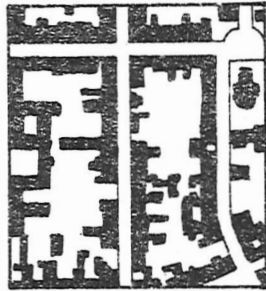
Typische Flächennutzungsmuster ausgewählter Wohnflächen



- a) Dichte (Wohn-)Bebauung:
 Blockstruktur mit dichter, unregelmäßiger Hinterhofbebauung
- | | |
|--------------------|----------|
| Versiegelte Fläche | 80% |
| Bebaute Fläche | 40 - 60% |
| Vegetationsfläche | 20% |



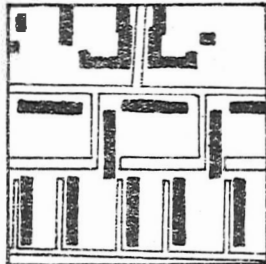
- d) Reihen- oder Einzelhausssiedlung, einheitlich gestaltet:
 Blockstruktur mit gleichmäßig (symmetrisch) angeordneten Einfamilien- oder Reihenhäusern eines Typs
- | | |
|--------------------|----------|
| Versiegelte Fläche | 40 - 50% |
| Bebaute Fläche | 5 - 15% |
| Vegetationsfläche | 50 - 60% |



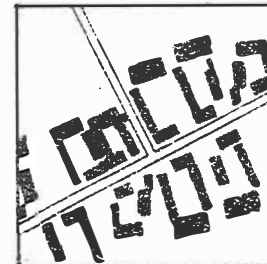
- b) Städtisches Altbau(wohn-)gebiet:
 Blockstruktur mit aufgelockerter, unregelmäßiger Hinterhofbebauung
- | | |
|--------------------|----------|
| Versiegelte Fläche | 60 - 80% |
| Bebaute Fläche | 20 - 40% |
| Vegetationsfläche | 20 - 40% |



- e) Villen- oder Einzelhausgebiet, individuell gestaltet:
 Blockstruktur mit verstreuten Villen- und Einfamilienhäusern unterschiedlicher Größe und Form (Grundriß)
- | | |
|--------------------|----------|
| Versiegelte Fläche | 40 - 50% |
| Bebaute Fläche | 5 - 15% |
| Vegetationsfläche | 40 - 60% |



- c) Fläche mit Neubau(wohn-)blöcken:
 Mehrfamilien-, Sektions- oder Verteilerganghäuser (Häuserblöcke) in geordneter bzw. symmetrischer Anordnung
- | | |
|--------------------|----------|
| Versiegelte Fläche | 40 - 60% |
| Bebaute Fläche | 10 - 20% |
| Vegetationsfläche | 40 - 60% |



- f) Halboffene ländliche Bebauung:
 Aneinanderreihung von U-förmig bzw. im Rechteck angeordneter Gebäude entlang einer Straße

Die Erfassung des Unstruthochwassers vom März 1981 mittels Luftbildern

R. JÄNCKEL, G. ZINKE

1. Zielstellung der Untersuchungen

Im Rahmen der Lösung von Aufgaben für die Praxis gewinnen fachspezifische Interpretationen von Fernerkundungsdaten immer stärker an Bedeutung. Dabei sind die Schaffung von theoretischen und methodologischen Grundlagen genau so wichtig wie die Entwicklung von Prinzip- und Beispiellösungen. Eine allgemeine Überprüfung der Verwendbarkeit von Fernerkundungsdaten zur Erfassung von Hochwasserereignissen ließ sehr schnell erkennen, daß die Auswertung und Nutzung dieser Datenspeicher eine weitere Arbeitsmethode im Methodenspektrum der Wasserwirtschaftler darstellt. Daraus leitet sich folgende Zielstellung ab: Es ist eine Methode zum rationellen Einsatz der Fernerkundung bei der Erfassung und Untersuchung von hochwasserbeeinflussten Gebieten zu schaffen, die Vorschläge

- zur rationellen Organisation, Durchführung und Auswertung der terrestrischen Erkundungen,
- für erfolgreiche Auftragsbefliegungen, ihre Organisation, Durchführung und Auswertung,
- zum Interpretationsablauf für visuelle, instrumentengestützte Bildauswertung,
- zur Schaffung bzw. kurzfristigen Aktualisierung thematischer Karten der hochwasserbeeinflussten Gebiete,
- zur Nutzung der Mittel und Methoden der Fernerkundung als ein Instrument zum Schutz gegen mögliche Hochwasserschäden

zum Inhalt hat.

Mit der wasserwirtschaftlichen Praxis und ihren Leitungsorganen wurden in enger Zusammenarbeit Arbeitsschritte und Inhalte der Erfassungsmethode und des Erfassungskatalogs gemeinsam erarbeitet.

2. Zur Auswahl des Untersuchungsgebietes

Gegenstand der Untersuchungen war der 67 km lange Lauf der unteren Unstrut zwischen dem Abzweig des Flutkanals Bretleben - Memleben oberhalb von Artern und ihrer Einmündung in die Saale oberhalb von Naumburg.

Das Einzugsgebiet der Unstrut ist ein Problemgebiet der Entstehung, des Ablaufes und der Ausbreitung von Schadenhochwässern und deshalb bereits seit Jahrhunderten Schwerpunktgebiet aktiven Hochwasserschutzes. Bereits nach Eintritt der Unstrut in das zentrale Thüringer Keuperbecken bei Herbsleben nimmt der Fluß Flachlandcharakter an, verbreitert sich seine Flußbaue stark, sinkt das Gefälle auf nur 0,76 ‰ ab, so daß es bereits hier zu Ausuferungen bei Hochwasser kommt. Die breiten und gefällearmen Talungen der mittleren und unteren Unstrut und ihrer wichtigsten Nebenflüsse (Helme, untere Gera, untere Wipper, untere Helbe, Gramme, Lossa) sind das Ergebnis der Salzauslaugung im mittleren Muschelkalk sowie im liegenden Zechsteinsalinar und bedingen eine mangelnde Vorflut für die Nebenvorfluter bzw. führen zu Abflußstockungen und ausgedehnten Ausuferungen der Flüsse bei Hochwasser.

Im Untersuchungsgebiet erreicht der Unstrutlauf seine minimalen Gefällewerte von nur 0,03 ‰ im Rückstaubereich oberhalb der Memlebener Buntsandsteinenge. Die Ursachen für die besondere Hochwassergefährdung des Unstruteinzugsgebietes sind in den folgenden natürlichen bzw. anthropogen bedingten Gegebenheiten begründet:

- hohe Niederschlagssummen in den höheren Lagen des Unstruteinzugsgebietes: 1000-1400 mm/a (Gebirgsumrahmung des Thüringer Beckens)
- hohe Speicherungsdaten der Winterniederschläge in Form von Schnee und lange Schneeretentionsperiode in diesen Bereichen
- hohe Abflußsummen: 500-900 mm/a, besonders im Frühjahr, ausgelöst durch einen häufig rasch einsetzenden Tauprozeß bei gleichzeitig einsetzenden, z. T. langanhaltenden Regenfällen

- geringes Rückhaltevermögen des Einzugsgebietes bedingt durch das geringe Speichervermögen der Keuperböden, den fehlenden Wald (ausgedehnte Rodungen bereits seit dem 8. Jahrhundert), das Fehlen natürlicher stehender Gewässer
- zentripetales Zuströmen der Hauptwasserläufe Unstrut, Gera, Helbe, Wipper, Helme zum Beckeninneren und damit Gefahr des Zusammentreffens und der Überlagerung der Hochwasserwellen
- Verlängerung der rasch ablaufenden Hochwasserwellen von oberer Unstrut, Wipper und oberer Helme durch die schneeretentionsbedingt langgezogenen Hochwasserwellen der Thüringer Wald-Flüsse Gera und Apfelstädt bzw. der Harzflüsse Bere, Zorge und Thyra
- Rückstauerscheinungen der Unstrut an den gesteinsbedingten Talverengungen der Sachsenburger Pforte, Memlebener und Balgstädter Enge in die auslaugungsbedingten, gefälleschwachen Talweitungen
- Existenz ausgedehnter gefällebedingter Rückstaubereiche der Nebenvorfluter an ihren Einmündungen in die Hauptvorfluter (Vorhandensein zahlreicher sogenannter Ried- oder Riethflächen als Hinweis auf ein Übermaß an Wasser), die zur Notwendigkeit der Schaffung künstlicher Vorflut zwingen (Polder, Schöpfwerke, Düker, Umflutwehre)
- durch die wasserbedingte Bodenerosion ausgelöste starke Sedimentauflandung in den Hauptwasserläufen
- hoher Qualmwasser- bzw. Drängewässeraanfall bedingt durch eingedeichte Flüsse
- Abflußstockungen und Rückstauerscheinungen an den Schleusen und Wehren des im Zuge der Schiffbarmachung zwischen Bretleben und der Mündung regulierten Unstrutlaufes (1790-1795) bzw. zahlreicher, heute überwiegend funktionsloser Mühlenbauwerke.



Foto 1 Ausuferung der Unstrut im Bereich der südlichen Ortslage Bottendorf bei Durchgang der Hochwasserwelle vom März 1981 (Aufnahme: Zinke 15. 3. 1981)

Die genannten Ursachen führen zu einer von Natur aus extremen Hochwassergefährdung insbesondere der Mittel- und Unterläufe von Unstrut und Helme. Seit Beginn der Wasserretandebewachtungen 1888 bis zum Wirksamwerden der ersten Maßnahmen des Hochwasserschutz-Sofortprogramms von 1956 traten am Pegel Straußfurt/Unstrut (Einzugsgebietgröße 2044 km²) 305 Hochwässer auf (davon 257 Winterhochwässer), von denen 227 ausufernten. Die durchschnittliche jährliche Anzahl der Oberechwehmungen betrug hier drei Wochen, die durchschnittliche

mittlere Überflutungszeit 3 - 4 Wochen, die maximale sogar 2 - 3 Monate. Das Katastrophenhochwasser vom März 1947 (HHQ des Pegels Straußfurt) überflutete im gesamten Unstrutgebiet 35 000 ha, davon 17 000 ha beiderseits der Unstrut und 12 000 ha beiderseits der Helme; im Untersuchungsgebiet der unteren Unstrut waren 7300 ha betroffen.

Durch die Gesamtwirkung des Hochwasserschutzes, das etappenweise seit 1956 realisiert wurde, konnte der genannte Umfang der Ausuferungsflächen erheblich eingeschränkt werden. Zu den wirkungsvollsten Hochwasserschutzmaßnahmen gehören der Bau der beiden großen Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt (seit 1961, Hochwasserschutzraum - HWSR - : 26 hm^3) und Kelbra (seit 1967, HWSR: $34,6 \text{ hm}^3$), der zwei kleineren Rückhaltebecken Stempeda/Krebbach und Lengsfeld/Luhne (HWSR zus.: $2,0 \text{ hm}^3$), der Bau von 15 Kleinspeichern (seit 1969, Gesamtraum: ungefähr 20 hm^3), die Errichtung bzw. Rekonstruktion von 16 Schöpfwerken, der Ausbau der Unstrut und Helme (Mündungsverlegung), des Flutkanals Bretleben-Memleben und anderer Vorfluter, die Realisierung zahlreicher Deichbaumaßnahmen sowie umfangreiche komplexe Maßnahmen der Hydromelioration. Ohne die Wirkung dieser Hochwasserschutzmaßnahmen hätte der Durchfluß am Pegel Laucha (vgl. Abb. 1) beim Durchgang des Hochwasserscheitels am 14. 3. 1981 nicht nur $150 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\hat{=}$ dem 4,8fachen von MQ der Reihe 1946-1970), sondern über das Doppelte, nämlich $315 \text{ m}^3/\text{s}$ betragen und wäre den Katastrophenhochwassern vom Februar 1946 und März 1947 vergleichbar gewesen.

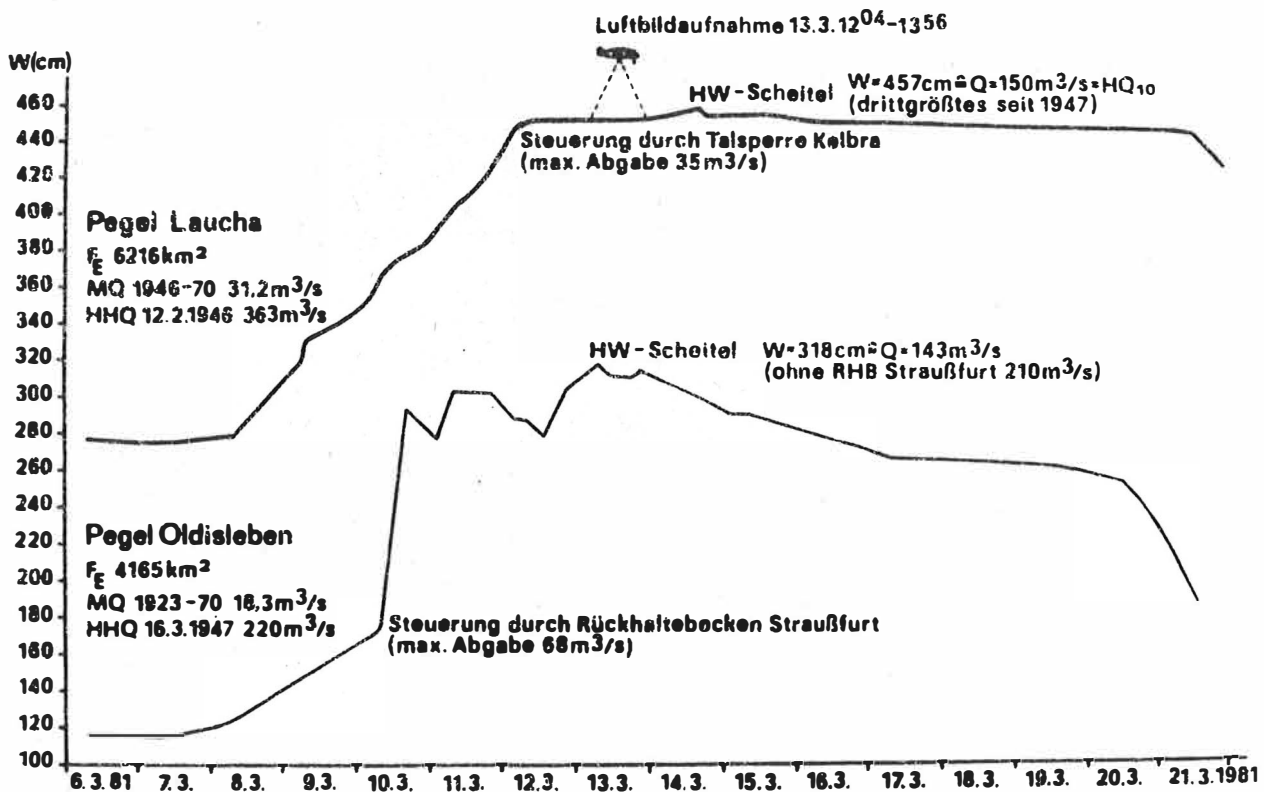


Abb. 1 Hochwasserereignis Unstrut vom 6. bis 21.3.1981

3. Die hydrologische Situation des Frühjahrhochwassers 1981 der Unstrut

Das Frühjahrhochwasser 1981 der Unstrut resultierte aus einem raschen und völligen Abtauen der Schneedecke bis in die Kammlagen der Mittelgebirge, verbunden mit intensiven und langanhaltenden Niederschlägen, ausgelöst durch eine am 6. 3. 1981 das Gebiet der DDR erreichende Warmfront. Dabei fielen in der Zeit zwischen 7. und 11. 3. ergiebige Niederschläge, die der mittleren Niederschlagssumme des gesamten Monats März entsprechen. Bereits am 7. 3. kam es deshalb zu einem deutlichen Ansteigen der Wasserstände und Durchflüsse insbesondere der Unetrutzflüsse aus dem Thüringer Wald und der Helmezuflüsse aus dem Harz. Während die obere Unstrut selbst - bedingt durch die fehlende Schneedecke im Thüringer Becken - nur einen geringen Hochwasseranstieg zu verzeichnen hatte, erreichten Apfelstädt und Gera, wie auch die aus dem Harz kommenden Bere und Zorge bereits am 11. 3. ihren Hochwasserscheitel. Auch die thüringische Wipper erreichte bereits am 12. 3. einen ungewöhnlich hohen Hochwasserscheiteldurchfluß. Die im Bereich Straußfurt am 11. 3. zusammen treffenden Hochwasserwellen von Gera und Unstrut von insgesamt $120 \text{ m}^3/\text{s}$ konnte durch das Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt um ca. $80 \text{ m}^3/\text{e}$ gekappt werden. Die Steuerung der Hochwasserwelle unterhalb des Rückhaltebeckens erfolgte in der Weise, daß das bordvolle Abflußvermögen des Unetrutunterlaufes voll ausgenutzt wurde und zugleich eine wesentliche Entlastung der Unstrut durch Abführung von maximal $60 \text{ m}^3/\text{e}$ über den Flutkanal Bretleben - Memleben durchgeführt wurde. Auch die Helme erreichte bereits am 10. 3. am Pegel Sundhausen ihren Hochwasserscheitel. Der insbesondere durch die Harzflüsse bedingte Scheitelzufluß der Helme zur Talsperre Kelbra von $104 \text{ m}^3/\text{e}$ konnte von dieser völlig zurückgehalten werden und der Abfluß durch Steuerung über 10 Tage hinweg in gleichmäßiger Höhe gehalten werden.



Foto 2 Blick vom Wendelstein flußaufwärts auf den Rückstauereich der Unstrut und des Flutkanals Bretleben - Memleben oberhalb der Memlebener Bunteandsteinenge beim Durchgang des März-Hochwassers 1981 der Unstrut. Im Vordergrund ist die ausufernde Unstrut, im Mittelgrund der ausufernde Flutkanal und im Hintergrund die Finne erkennbar (Aufnahme: Zinke 15. 3. 1981)

Den Durchgang der Hochwasserwelle am Eingangspegel Oldisleben bzw. Ausgangspegel Laucha verdeutlicht die Wasserstandeganglinie vom 6.3. bis 21. 3. 1981 in Abb. 1. Der Zeitpunkt der Überfliegung in den Mittagsstunden des 13. 3. wurde eo gewählt, daß der Durchgang des Hochwasserscheitels der Unstrut zwischen dem Pegel Oldisleben (Wasserstand: 310 cm, Durchfluß: $143 \text{ m}^3/\text{s}$) und dem Pegel Laucha (Wasserstand: 457 cm, Durchfluß: $150 \text{ m}^3/\text{s}$) erfaßt werden konnte. Die Luftbilder widerspiegeln somit den Stand der maximalen Hochwasserüberflutung des Frühjahrhochwassers 1981, dessen Wahrscheinlichkeitstheoretische Einordnung für den Pegel Laucha HQ_{10} beträgt. Damit entspricht dieses Frühjahrhochwasser 1981 nach den Hochwasserereignissen von 1947, 1956 und 1961 dem viertgrößten Hochwasserabfluß seit dem HHQ vom 12. 2. 1946, d. h. dem größten Hochwasserabfluß seit Errichtung der Hochwasserrückhaltebecken. Seine lückenlose flächenhafte Erfassung mittels Luftbildern und der Vergleich mit einer von den Verfassern parallel dazu durchgeführten terrestrischen kartographischen und photographischen Dokumentation ist von beachtlicher Aussagekraft. Die komplette Erfassung aller vom Hochwasser beeinträchtigten Flächen und wasserwirtschaftlichen sowie zivilen Objekte ist für alle künftigen Hochwasserereignisse von eminenter volkswirtschaftlicher Bedeutung.



Foto 3 Überflutete Unetrutau nördlich der Stadt Laucha. Die Reitergruppe im Vordergrund deutet die Höhe der Überflutung, die Schichtstufe der Querfurter Platte im Hintergrund die Ausdehnung des März-Hochwassers 1981 an (Aufnahme: Zinke 15. 3. 1981)

4. Zur Methodik der Luftbilddauswertung

Das Luftbild ist ein Zeitdokument, das in unserem Falle einen Hochwasserzustand fixiert, der aus dem Detailreichtum des Bildinhaltes herauszulösen ist. Die Bilder sind Kopien auf Karton, die aus panchromatischem Filmmaterial gewonnen wurden. Der Grauton wird somit zum entscheidenden Informationsträger. Da die Bilder nicht entzerrt sind, müssen Bildpunktverlagerungen (Verzerrungen) beachtet werden, die auf Grund der Zentralprojektion in jedem Bild auftreten. Messungen sind deshalb immer mit Fehlern behaftet. Die vorliegenden Luftbildsenkrechttaufnahmen aus 830 bzw. 540 m Höhe ermöglichen eine Interpretation unter Berücksichtigung der vorgegebenen Thematik. Mithin ist die Luftbildinterpretation eine wissenschaft-

lich-technische, interdisziplinär nutzbare Methode, die auf der Grundlage qualitativer und quantitativer Analysen, logischer Kombinationen und individueller Erfahrungen weitgehend gesicherte Informationen geben kann. Neben die klassische und nicht voll zu ersetzende Geländearbeit des Wasserwirtschaftlers ist die Methode der Luftbildinterpretation als eine weitere wertvolle Ergänzung getreten. Sie möchte eine Arbeitsmethode sein im großen Methodenspektrum des Praktikers, vermag sie doch unter Verwendung spezieller Auswertegeräte (Stereoskop, Umzeichner u. a.) sehr schnell wertvolle und neue Ergebnisse zu liefern.

Der Auswertevergang gliedert sich in folgende Arbeitsetappen:

1. Erste Musterung und Zusammenstellung der Bildleisten unter Zugrundelegung des Berichtes zum Luftbildfilm und den topographischen Karten im Maßstab 1 : 10 000. Das Aneinanderreihen der Bilder und Bildleisten läßt eine Art Luftbildindex entstehen und ist Ersatz für das nicht vorliegende Luftbildmosaik. Es bleibt jedoch anzumerken, daß auch ein Luftbildindex erste Übersichtsstudien möglich macht. Die durch Geländebegehungen zusammengetragenen und erarbeiteten Geländekenntnisse fließen in die Übersichtsstudien ein. Der Erfassungskatalog bildet dabei die Grundlage (vgl. Legende in Abb. 3).
2. Die mit den Geländebegehungen während des Hochwasserereignisses gesammelten Erfahrungen und gewonnenen Erkenntnisse werden mit den aus dem Luftbildindex ablesbaren Fakten verglichen und als Erfahrungswert in den Interpretationsvorgang eingebracht.
3. Es erfolgt ein Studium der Topographischen Karten 1 : 10 000 (AV), die als transparente Lichtpausen vorliegen und die topographische Grundlage für die Schaffung der topographisch-thematischen Karten bilden.
4. Die einzelnen Bilder im Maßstab von ungefähr 1 : 10 000 (Reduktionen bzw. Vergrößerungen) werden einer ersten Musterung unterzogen und in Beziehung zu den Arbeitsetappen 1 - 3 gesetzt. Bereits in dieser Phase erfolgt die erste Identifikationsarbeit. Erkanntes und identifizierte Objekte werden im Bild schon markiert.
5. Unter Ausnutzung der Überdeckungsverhältnisse (60 % Längsüberdeckung und 30 % Querüberdeckung) erfolgt mit Hilfe des Taschen-Stereoskops die erste stereoökopische Auswertung durch die Bildung von Luftbildpaaren. Dadurch werden zusätzliche Informationen gewonnen, die in Skizzen und Notizen ihren Niederschlag finden.
6. Auf der Grundlage des Luftbildindex, der Topographischen Karten 1 : 10 000 und 1 : 50 000, dem Bericht zum Luftbildfilm und den Einzelbildern wird eine Bildflugübersicht im Maßstab 1 : 50 000 entworfen, so daß für die weitere Interpretationsarbeit jedes Bild und die dazu gehörende Topographische Karte 1 : 10 000 sehr schnell ermittelt werden können. Diese Bildflugübersicht ist gleichzeitig Grundlage für die operative Arbeit der WWD und der OFM während der künftigen Hochwasserereignisse (vgl. Abb. 2).
7. Unter Einsatz des Spiegelstereoskops und der MAUTHNER-Leselupe wird die Interpretation fortgesetzt. Flächen und Objekte werden nach dem vorgegebenen Schlüssel identifiziert und vervollständigt. Wesentliche Konturen - z. B. Grenze zwischen Wasser und Land - werden mit Tusche in den Bildern deutlich hervorgehoben, um den Umzeichnungsvorgang zu erleichtern.
8. Mit Hilfe des Luftbildumzeichners (LUZ) - eines einfachen Entzerrungegerätes - werden aus der Informationsfülle der Bildinhalte die wesentlichen zum Sachverhalt Hochwasser gehörenden Informationen vom Bild in die Topographische Karte 1 : 10 000 (AV) übertragen.
9. Es erfolgen Vergleiche der Einzelbilder mit dem Rohentwurf der thematischen Karten. Der Inhalt der Karte wird durch Beschaffung von Informationen aus Dienststellen und Geländebegehungen vervollständigt. Abschließend erfolgt eine wiederholte Musterung strittiger und unklarer Stellen, so daß eine Verdichtung des Inhalts ermöglicht wird.
10. Letzter Schritt ist die Reinzeichnung der thematischen Karten mit allen thematischen Einzelobjekten. Alle durch das Hochwasser beeinträchtigten bzw. gefährdeten Einzelobjekte werden in den Karten farblich gekennzeichnet, numeriert und in erläuternden An-

lagen zu den Karten aufgelistet (vgl. Abb. 3). Da Karten und thematische Inhalte pausfähig sind, können durch Heratellung von Lichtpausen die erforderlichen Mehrexemplare, insbesondere für operative Zwecke, hergestellt werden.

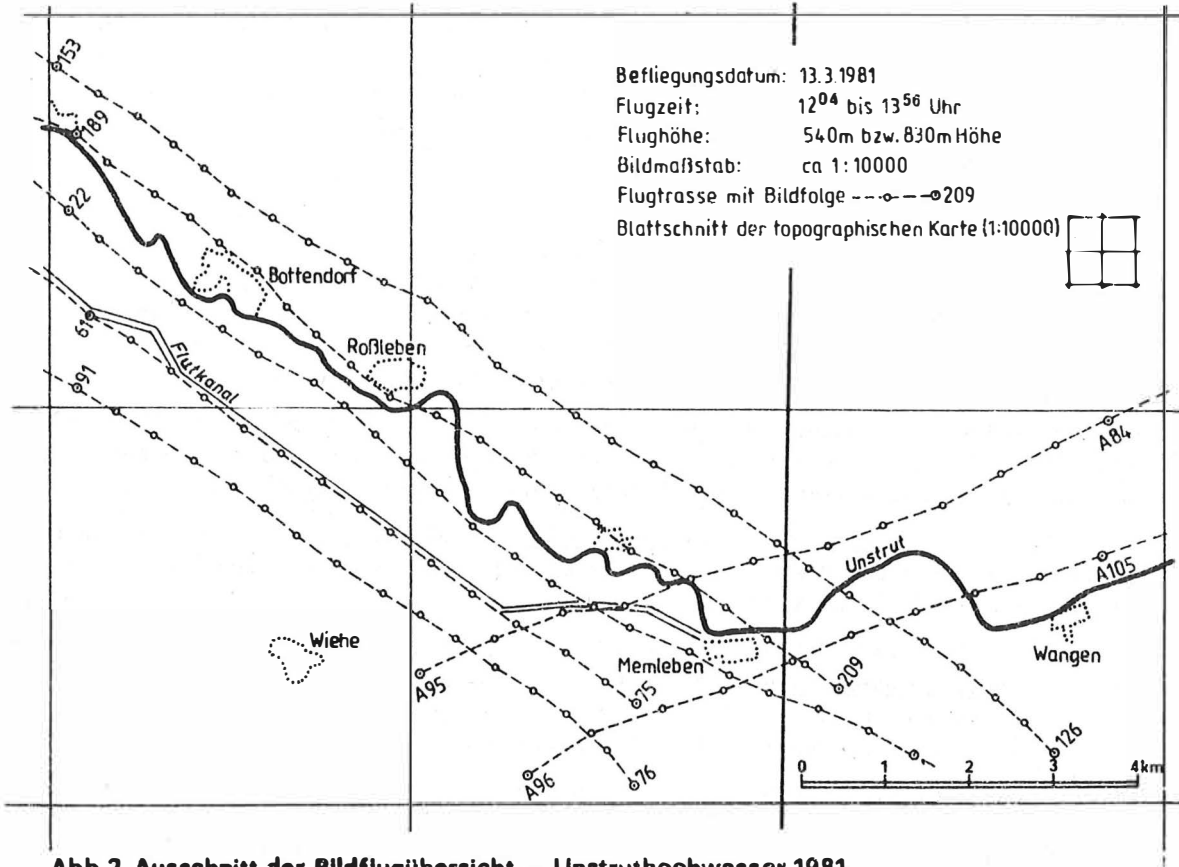


Abb.2 Ausschnitt der Bildflugübersicht – Unstruthochwasser 1981

5. Schlußfolgerungen und Ausblick

Neben die Methoden der Hochwasserwahrscheinlichkeitsberechnung und -vorhersage sowie der terrestrischen kartographischen, photogrammetrischen und photographischen Aufnahme und Dokumentation von Hochwasserereignissen ist in den letzten Jahren verstärkt die Methode der Erfassung von Hochwässern mittels Luftbildern getreten.

In enger Zusammenarbeit zwischen der Wasserwirtschaftsdirektion Saale - Werra Halle und der Sektion Geographie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg wurde ein detaillierter Erfassungskatalog der Kriterien beim Durchgang von Hochwasserwellen erarbeitet (Abb. 3). Auf der Basis dieses Erfassungskataloge wurden sowohl die terrestrischen Kartierungen als auch die Interpretationsarbeiten an den Luftbildern bzw. die daran anschließenden Entzerrungs- und Umzeichnungsarbeiten in die Topographischen Karten 1 : 10 000 (AV) realisiert. Durch eine operative Zusammenarbeit bei der Vorbereitung und Durchführung der Befliegung zwischen WWD, Meteorologischem Dienst, Interflug und der Sektion Geographie der MLU konnten die Vorteile der Luftbildinterpretationsmethode gegenüber allen anderen Erfassungsmethoden genutzt werden. Bei günstiger Wetterlage (Wolkenlosigkeit, Nebelfreiheit, Sonnenhöchststand) konnte in kürzester Zeit der 67 km lange Unterlauf der Unstrut beim Durchgang des Wellenscheitels des Hochwassers am 13. März 1981 gleichzeitig aufgenommen werden. Jede terrestrische Aufnahme hätte - schon aus Gründen der Nichterreichbarkeit von Objekten innerhalb der überfluteten Bereiche- die exakte Abgrenzung der überschwemmten Gebiete, die komplette Erfassung beeinträchtigter oder gefährdeter Deichabschnitte, wasserwirtschaftlicher oder ziviler Objekte der Hochwasserabflußstellen außerhalb der Gewässerbetten, der Rückstaubarreiche in Nebenvorflutar sowie die Erkennung subaquatischer Strukturen unmöglich gemacht.

Durch Vergleich der unterschiedlichen Hochwasserereignisse von April/Mai 1970, März 1979 und März 1981, die mittels der Luftbildinterpretationsmethode für das Einzugsgebiet der Saale, 1981 auch für die Einzugsgebiete der Unstrut, Weißen Elster und Werra dokumentiert werden konnten, war es möglich, Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Arbeiten weiter zu qualifizieren. Dadurch soll in Zukunft erreicht werden, daß für alle größeren Flüsse des Großinzugsgebietes der WWD Saale - Werra zuverlässige Unterlagen geschaffen werden, die einem aktiven Hochwasserschutz, gemeinsam realisiert von der Wasserwirtschaftsleitung mit ihren Oberflußmeistereien, den Stäben für Zivilverteidigung und den örtlichen Organen, dienen sollen.

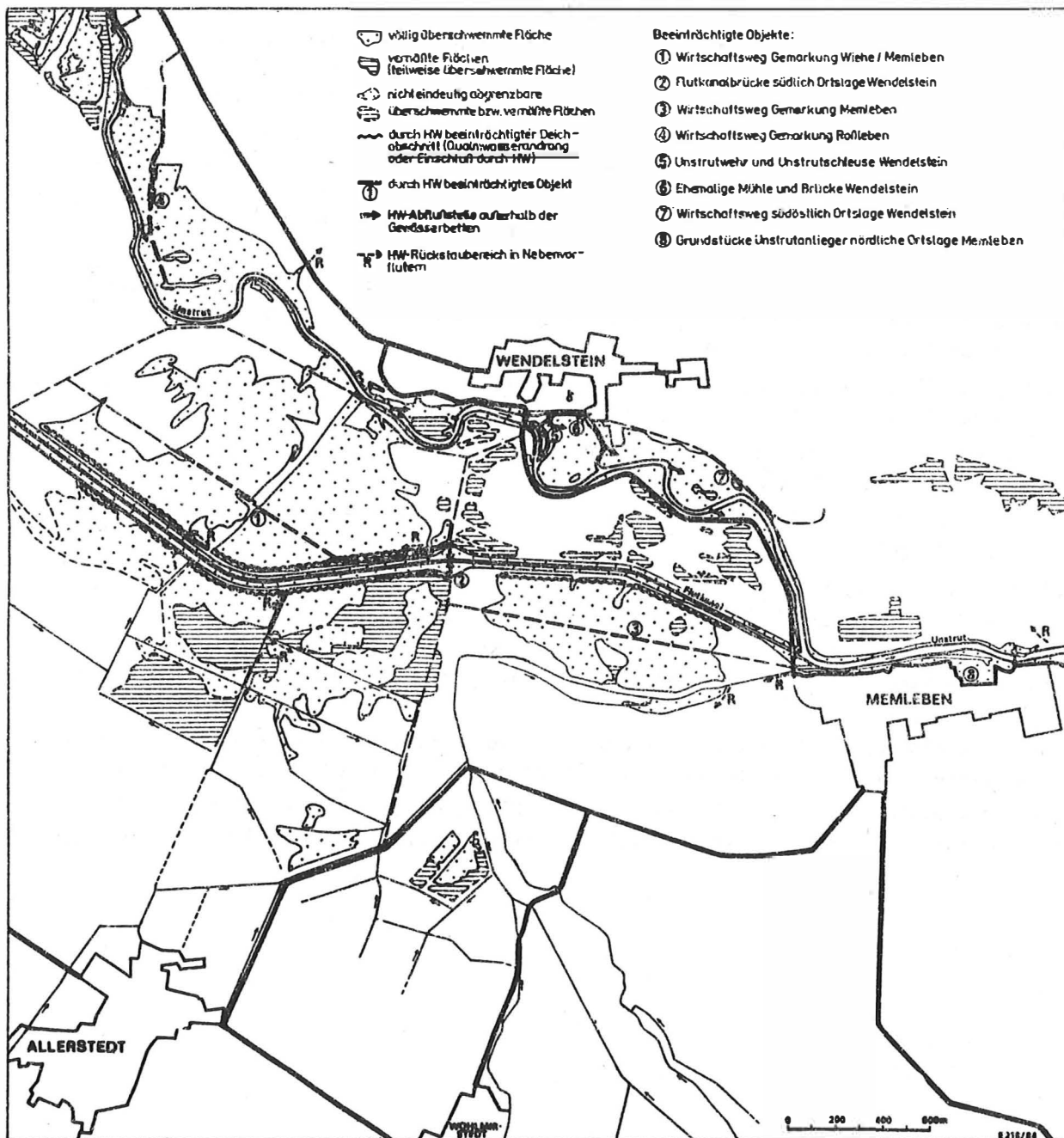


Abb.3 Überschwemmungssituation des Unstruthochwassers vom März 1981 - Beispielgebiet

Literatur

- AUTORENKOLLEKTIV: Luft- und Satellitenbilder in ihrer Bedeutung für Wissenschaft und Praxis: Erläuterter Bildband zur Lehrheftreihe Geofernerkundung.- Gotha: 1985
- GEYER, S. und H.-G. HEYM: Probleme des Hochwasserschutzes im Unstrut-Helme-Gebiet.- In: Wasserwirtschaft - Wassertechnik,-(1958)3- S. 99 - 105
- HOFFMANN, H.: Die Erkennung und Abgrenzung vernäßter Flächen im Luftbild als Hilfsmittel für die Einschätzung der aktuellen Wasserverhältnisse. In: Ber. des III. Internat. Symposiume für Photointerpretation.- Dresden(1970)
- JANCKEL, R. und G. ZINKE: Bericht zur kartographischen Fixierung des Frühjahrhochwassers 1979 der Saale zwischen Bad Kösen und Halle-Trotha auf der Grundlage der Auswertung von Luftbildern der Hochwasserspezialbefliegung vom 22. 3. 1979. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Sektion Geographie, Halle/S., Okt. 1981 (unveröffentlicht)
- JANCKEL, R. und G. ZINKE: Bericht zur kartographischen Fixierung des Frühjahrhochwassers 1981 der Unstrut zwischen Abzweig Flutkanal Bratleben - Memleben und der Mündung auf der Grundlage der Auswertung von Luftbildern der Hochwasserspezialbefliegung vom 13. 3. 1981. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Sektion Geographie, Halle/S., September 1983 (unveröffentlicht)
- JANCKEL, R. und G. ZINKE: Erfassung des Unstruthochwassers 1981 mittels Luftbildern. Poster. Vorgestellt auf der 3. Konferenz "Stand und Entwicklungstendenzen der Fernerkundung"; Leipzig, 5. - 7. 12. 1984
- KUGLER, B.: Probleme der landeskulturellen Entwicklung der Helme-Unstrut-Niederung.-1969.- (unveröffentlicht) Leipzig, Staatsexamensarb.
- REEVES, R. G.: Manual of Remote Sensing; Water Resources Assessment/ The American Society of Photogramm.-Falls Church, Virginia(1975)19
- SCHNEIDER, S.: Luftbild und Luftbildinterpretation. Lehrbuch der Allg.Geogr.- Berlin (W); New York 11(1974)
- SEIDEL, E., JANCKEL, R. und CH. THOMASIIUS: Wasserwirtschaft/Umweltschutz. Lehrheftreihe Geofernerkundung.- Dresden(1984)10
- WENZEL, N.: Die Entwicklung des Frühjahrhochwassers 1981 im Gebiet der Unstrut. Wasserwirtschaftsdirektion Saale - Werra Halle, Oberflußmeisterei Erfurt, Erfurt 1981 (unveröffentlicht)
- o. V.: Abschlußbericht über das Hochwasserereignis März 1981 im Gesamteinzugsgebiet Saale - Werra. Wasserwirtschaftsdirektion Saale - Werra Halle, Halle 1981 (unveröffentlicht)
- o. V.: Technisch-ökonomische Kennzeichnung des Hochwasserschutzprogramms Unstrut-Helme. Wasserwirtschaftsdirektion Werra - Gera - Unstrut Erfurt, Erfurt 1967 (unveröffentlicht)

Erfahrungen bei der rechnergestützten Analyse von Fernerkundungsdaten (DFE)

G. SCHILBACH, H. WIRTH

1. Einleitung

Rechnergestützte Methoden haben bei der Auswertung von Daten der Fernerkundung der Erde in den letzten Jahren immer größere Bedeutung erlangt. Dies ist darauf zurückzuführen, daß zum einen der Umfang des anfallenden Materials rein manuell nicht mehr aufzuarbeiten ist. Andererseits bieten die Fortschritte bei der Modellierung thematischer Sachverhalte und bei der Formalisierung der Auswerteverfahren die Möglichkeit, effektive Rechnerprogramme zu erstellen, die den Fachwissenschaftler besonders von zeitaufwendigen Routinearbeiten bei der Analyse von DFE entlasten. Da der überwiegende Teil der gegenwärtig verfügbaren DFE in bildhafter Form vorliegt (fotografische Bilder, bildhafte Abtastdaten), kommt dabei den Verfahren der digitalen Bildbearbeitung eine besondere Bedeutung zu.

Diese Verfahren werden vom Standpunkt der Fernerkundung der Erde in 3 Gruppen unterteilt:

1. Bildvor- und -nachbearbeitung

Hierzu sind u. a. Verfahren zur Bilddigitalisierung und -visualisierung, Bildentzerrung, -restauration und Merkmalstransformation zu rechnen. Eine ausführlichere Darstellung dieser Problematik kann in /1, 7/ nachgelesen werden.

2. Interpretationsgerechte Bildaufbereitung

In diese Gruppe werden Verfahren eingeordnet, die geeignet sind, bestimmte thematische Sachverhalte im Bild hervorzuheben und damit die visuelle Auswertung der Bilder zu unterstützen. Das können sowohl mehr oder weniger komplizierte Verfahren zur Kontrastverbesserung, aber auch Verfahren zur Bildfilterung (Hoch-, Tiefpaßfilter, Richtungsfilter) sein. Als sehr wirksam haben sich Verfahren erwiesen, die durch Kombination der Komponenten multispektraler Bilder neue abgeleitete Merkmale erzeugen (Vegetationsindex, Bodenindex, Farboptimierung ...) /3/.

3. Automatisierte Bildauswertung

Hierunter werden Verfahren zusammengefaßt, die auf der Grundlage statistischer oder deterministischer Entscheidungskriterien eine Zuordnung der Elemente eines Bildes zu bestimmten Klassen vornehmen. In Abhängigkeit davon, ob diese Klassen durch die formale Aufteilung des Merkmalsraumes (Clustering) oder nach thematischen Gesichtspunkten festgelegt werden, unterscheidet man Verfahren der unüberwachten und überwachten Klassifizierung.

Zu den genannten Problemkreisen wurden am MdZ/FE des ZIPE der AdW der DDR seit 1977 Untersuchungen durchgeführt. Resultate dieser Arbeiten wurden gemeinsam mit Aktivitäten des Wissenschaftsbereiches Physische Geographie der PH Potsdam in /5/ zusammengefaßt.

Die vorliegende Arbeit soll einige bei der Erarbeitung und Anwendung von Klassifizierungsverfahren gewonnene Erfahrungen vermitteln. Thematisch waren diese Untersuchungen im wesentlichen auf die Gewinnung von Aussagen zur Flächennutzung gerichtet. Eine Verallgemeinerung der methodischen Resultate für andere thematische Untersuchungen erscheint gerechtfertigt.

2. Klassifizierung von DFE

Im weiteren werden Klassifizierungsverfahren nach dem Vektorkonzept betrachtet: Jeder Bildpunkt p wird durch einen Vektor $V^p = (V_1, \dots, V_n)$ des (spektralen) Merkmalsraumes M beschrieben. Der Merkmalsraum M ist in geeigneter Weise so in Untermengen $m_i \subset M$ aufgeteilt, daß jeder Klasse K_i eine bestimmte Menge von Vektoren $m_i = \{V \in M\}$ entspricht.

Klassifizierungsverfahren ordnen einen Bildpunkt p der Klasse K_1 zu, wenn gilt:

$$v^p \in m_1$$

Da die m_1 nicht unbedingt separabel sind, sind Mehrfachzuordnungen möglich, denen durch entsprechend zu konstruierende Entscheidungsregeln zu begegnen ist.

2.1. Unüberwachte Klassifizierung

Zur Durchführung der unüberwachten Klassifizierung wird nach formalen Prinzipien eine Analyse des Merkmalsraumes vorgenommen. Lokale Häufungen der Merkmalsvektoren des Bildes bilden die klassenbeschreibenden Cluster. Ein Bildpunkt wird der Klasse zugeordnet, zu deren Cluster der entsprechende Merkmalsvektor nach einem bestimmten Maß die geringste Entfernung hat. Die thematische Bedeutung dieser Klassen hängt - wie leicht einzusehen ist - wesentlich von der vorgegebenen Anzahl zu separierender Cluster ab. Die thematische Deutung einer Klasse kann nur nachträglich durch die Untersuchung des thematischen Inhaltes von bestimmten Clustern zugewiesenen Vektoren getroffen werden.

Die rechen-technische Realisierung der unüberwachten Klassifizierung besteht zumeist in der Bildung und anschließenden Aufteilung (Clusteranalyseverfahren) eines Histogramms (Häufigkeitstabelle) in einem n -dimensionalen Merkmalraum. Um die dabei entstehenden Hauptspeicherprobleme zu lösen (für $n = 4$ werden 256^4 Zählelemente benötigt), wird entweder die Merkmalsanzahl (auf 2 bis 4) oder die radiometrische Auflösung (Zusammenfassung von Werten) begrenzt. Das bewirkt natürlich eine Beschränkung der Anzahl erkennbarer unterschiedlicher Cluster.

Nach den gewonnenen Erfahrungen sind diese Verfahren zur thematisch relevanten Klassifizierung von Fernerkundungsaufnahmen wenig geeignet, da die Streuung der Merkmale, und damit die Anzahl lokaler Häufungen im Merkmalraum, zu groß ist. Sie erlauben aber eine Grobrayonierung der Ausgangsdaten, wenn nach nur wenigen komplexen Clustern klassifiziert wird, die thematisch inhomogen sein können. Diese Informationen sind sowohl für die visuelle Interpretation als auch für die Auswahl von Etalons hilfreich.

Interessanter wird die Anwendung der unüberwachten Klassifizierung, wenn thematisch weitgehend homogene Gebiete auf ihre feinere Zusammensetzung untersucht werden sollen. Da in diesem Fall der Wertebereich der Merkmale gering ist, kann eine detaillierte Histogrammbildung und damit auch eine entsprechend feine Aufteilung des Merkmalraumes ermöglicht werden. Diese Feinanalyse wäre mit den Methoden der überwachten Klassifizierung wesentlich komplizierter zu realisieren, da die hierfür nötigen Etalondaten nur sehr schwierig (wenn überhaupt) festzulegen wären.

So ist eine Technologie denkbar, bei der mit den Methoden der überwachten Klassifizierung im Bild interessierende thematische Klassen herausgearbeitet werden, die dann mit Verfahren der unüberwachten Klassifizierung weiter aufgegliedert werden können. Verallgemeinerungsfähige Ergebnisse von Experimenten nach diesem Konzept wurden jedoch bisher nicht erzielt.

2.2. Überwachte Klassifizierung

Bei Verfahren der überwachten Klassifizierung werden die Klassen nach bestimmten thematischen Gesichtspunkten vorgegeben. Da die Lage der klassenbeschreibenden Menge m_1 im Merkmalraum i. a. nicht bekannt ist, muß diese Menge mit Hilfe einer Auswahl für diese Klasse repräsentativer Daten (Etalondaten) beschrieben werden.

Prinzipiell sind die Resultate überwachter Klassifizierungen als eine thematisch begründete Interpretation des Ausgangsbildes zu werten.

Um volkewirtschaftlich relevante Aussagen treffen zu können, müssen aber 2 Forderungen erfüllt sein:

1. eine hohe thematische Gliederungstiefe
2. eine hohe Klassifizierungsgüte, d. h. es dürfen möglichst wenig Fehlzuweisungen oder Rückweisungen auftreten.

Diese Forderungen sind nach den gewonnenen Erfahrungen in dem Sinne widersprüchlich, daß für geringe Gliederungstiefen sehr hohe Güten erreichbar sind, während jede Steigerung der Gliederungstiefe mit einer Verschlechterung der erreichten Güte der Klassifizierung einhergeht. Diese Erscheinung ist vor allem auf den Effekt der Mischpixelbildung bei der Gewinnung der digitalen Bilddaten zurückzuführen und kann somit über eine Steigerung der geometrischen Auflösung bei der Datengewinnung beeinflußt werden.

Die Realisierung der genannten Forderungen ist abhängig von

- Klassifizierungsverfahren
- Datenmaterial
- Zusatzinformationen.

Alle Zusatzinformationen werden hier alle Daten betrachtet, die nicht direkt mit dem zu bearbeitenden digitalen Bild gekoppelt sind. Das können parallele Bodenbeobachtungen, aber auch Informationen über den Zustand der Atmosphäre zum Aufnahmezeitpunkt u.a.m. sein. Es ist leicht einzusehen, daß eine wachsende Komplexität des Modelle der Abbildung der Erdoberfläche in die DFE unter Verwendung aller verfügbarer Informationen den Interpretationsprozeß qualitativ und quantitativ positiv beeinflußt. Andererseits wäre der rechen-technische Aufwand bei der Arbeit mit einem solchen Modell unverträglich hoch, abgesehen davon, daß gegenwärtig weder die entsprechenden Daten zur Verfügung stehen, noch die exakte Formulierung eines solchen Modells existiert. Der entscheidende Einfluß von Zusatzinformationen wird damit gegenwärtig über die Art und Qualität der Etalondaten wirksam.

Bewährt hat sich die Verwendung von durch Begehungen abgesicherten Resultaten der gegebenenfalls auch nur stichprobenartigen visuellen Auswertung des gleichen Datenmaterials /5/. Bei Einführung eines OSFE wäre die Verwendung unter ständiger Kontrolle stehender Testgebiete eine Möglichkeit, jederzeit über gesicherte Bodeninformationen zu verfügen. Das zu bearbeitende Datenmaterial beeinflußt sowohl über seine geometrische als auch über die radiometrische und spektrale Auflösung das Klassifizierungsergebnis. Aussagen dazu sind u. a. /3, 5/ zu entnehmen.

Als Schlußfolgerung daraus ist an zukünftige operative Systeme der Fernerkundung die Forderung zu stellen, störungsfreie Daten bereitzustellen, die in geometrischer Auflösung und angebotenen Spektralbändern die zu lösenden thematischen Aufgaben optimal unterstützen.

Aussagen zum Einfluß von Klassifizierungsverfahren werden im folgenden Kapitel gemacht.

3. Methodik und Verfahren der Klassifizierung von DFE

3.1. Resultate von Untersuchungen (1979 - 1983)

Gegenstand der Untersuchungen des ZIPE waren die in der DDR verfügbaren Arten von DFE (MKF-6: Kosmos- und Luftfoto, KATE, Flugzeugscanner, FRAGMENT-Scanner) und die meisten auch aus der Literatur /2, 4, 6/ bekannten Klassifizierungsverfahren (Maximum-Likelihood-, Quader-, Minimum-Distance-Klassifikator). Danach können folgende Schlußfolgerungen abgeleitet werden:

1. Alle Datenarten sind mit Klassifizierungsverfahren bearbeitbar und liefern thematisch relevante Aussagen. Probleme entstehen bei der Verwendung fotografischer Materialien durch die Ungenauigkeit der Passung (Matching) der digitalisierten Bilder.
2. Das Maximum-Likelihood-Verfahren (ML) und das Quader-Verfahren (QU) liefern weitgehend gleichwertige Ergebnisse, während das Minimum-Distance-Prinzip i. a. eine geringere Güte aufweist. Der wesentlich höhere Rechenzeitbedarf für das ML-Verfahren gegenüber dem QU-Verfahren wird weitgehend durch den höheren Zeitaufwand für das Letztere in der Be-
lehrungsphase kompensiert, da die Festlegung optimaler, d. h. separabler Quader, die aber noch ausreichend gut die Klassen beschreiben, äußerst kompliziert ist.
3. Die in der Literatur gelegentlich vorgeschlagenen festen Werte für die Parameter der Klassifikatoren (z. B. $\mu_1 \pm 2\sigma$; als Quadergrenzen) haben sich nicht bewährt. Hier,

wie auch in allen anderen Phasen der Klassifikatorbelehrung, ist die Möglichkeit einer interaktiven Beeinflussung der Parameterwahl von entscheidender Bedeutung für die Güte der Bearbeitungsergebnisse.

4. Die sichere Ableitung von Objektarten auf dem Niveau mittlerer Gliederungstiefe erscheint möglich, so z. B. Hauptnutzungsarten bei Aufgaben der Flächennutzungsanalyse. Eine tiefere Gliederung ist hinsichtlich der Güte kompliziert, wird aber durch die Verwendung von Zusatzinformationen unterstützt. Als Beispiel sei hier die Ausgliederung von "Rapsfeldern" aus der übergeordneten Klasse "Ackerland, begrünt" durch multitemporale Analyse der FRAGMENT-Daten vom 13. 5. 1981 und vom 20. 5. 1981 angeführt /5/. Da die Rapsflächen zum zweiten Zeitpunkt in Blüte standen und sich dadurch spektral signifikant von anderen begrünter Flächen unterschieden, konnte eine Aufgliederung der Hauptnutzungsart vorgenommen werden.
5. Die mittlere erreichbare Güte schwankt um 85 - 95 %.
6. Die Verwendung von aus den spektralen Informationen abgeleiteten Merkmalen (Struktur-, Texturmerkmale, Vegetationsindex, ...) kann sowohl die Gliederungstiefe als auch die Güte verbessern. Untersuchungen dazu sind gegenwärtig noch nicht abgeschlossen.

Ausgehend von diesen Erfahrungen wurden am MDZ/FE des ZIPE eine Methodik zur Bildklassifizierung und verschiedene Algorithmen entwickelt, die durch eine konsequente Orientierung auf einen interaktiven Prozeß der Bildaufwertung die Ableitung optimierter Aussagen ermöglichen:

3.2. Methodik der Bildklassifizierung

Für die Erarbeitung dieser Methodik wurden folgende Prämissen gesetzt:

1. Eine interaktive Arbeitsweise ist auf allen Ebenen zu unterstützen.
2. Der gesamte Auswerteprozess muß unter vertretbarem Zeitaufwand iterativ gestaltbar sein.
3. Sowohl bezüglich der anzuwendenden Klassifikatoren als auch bezüglich der Klassenstruktur ist eine hierarchische Vorgehensweise zu ermöglichen.

Diesen Forderungen konnte durch die Anwendung des Maskenprinzips, bei dem der ursprüngliche Merkmalsvektor $V = (V_1, \dots, V_n)$ durch spezielle Zusatzbänder Z_1 zu einem Vektor $V' = (V_1, \dots, V_n, Z_1, \dots, Z_n)$ erweitert wird, entsprochen werden. Die Werte der Zusatzbänder Z_1 dienen in allen Operationen mit diesem Vektor als "Maske", über die entschieden wird, ob der jeweilige Vektor zu verarbeiten ist oder nicht.

Dabei sind "Etalonkomponenten" und "Klassenkomponenten" zu unterscheiden. Etalonkomponenten geben die Zugehörigkeit eines Vektors zu einer von maximal 255 verschiedenen Etalonmengen an. Analoges gilt für die Klassenkomponenten. Durch die Einführung der Etalonkomponenten ist die Möglichkeit gegeben, die Belehrung und Optimierung des Klassifikators ausschließlich mit den Etalonvektoren durchzuführen, was nur einen Bruchteil des Rechenaufwandes für das Gesamtbild verlangt. Da für die Etalondaten die Klassenzugehörigkeit als bekannt vorausgesetzt wird, kann mit Hilfe der klassifizierten Etalonvektoren eine Gütematrix für den jeweiligen Klassifikator erstellt werden, deren Auswertung Hinweise für eine weitere Variation der Klassifikatorparameter gibt. Unter Gütematrix wird dabei eine Matrix

$$i = 1, \dots, \text{Etalonanzahl}$$

$$(1) \quad G = (g_{ij}) \quad j = 1, \dots, \text{Klassenanzahl}$$

mit g_{ij} = Anzahl der Elemente des Etalons E_i , die der Klasse K_j zugewiesen wurden

verstanden.

In Anbetracht der relativ langsamen, rechentechnisch nicht optimierten Klassifikatoren und der hohen Datenzugriffszeiten der im MDZ/FE verfügbaren Rechentechnik werden die Etalonvektoren außerdem in einer gesonderten Etalondatei abgespeichert. Mit dieser Etalondatei ist

der gesamte Prozeß der Klassifikatorbelehrung und -optimierung durchzuführen. Daraus resultiert folgende Methodik der Bildklassifizierung:

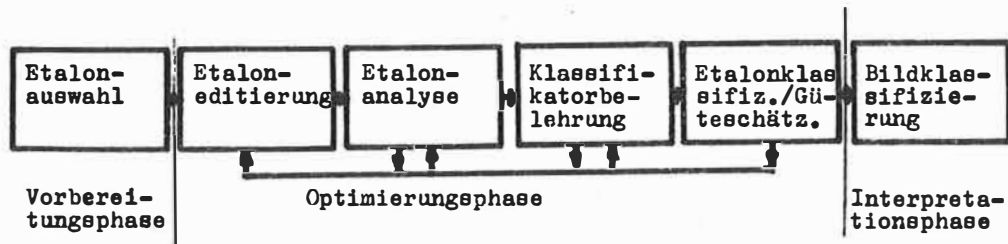
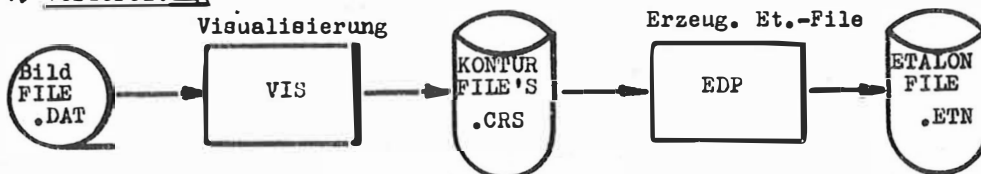
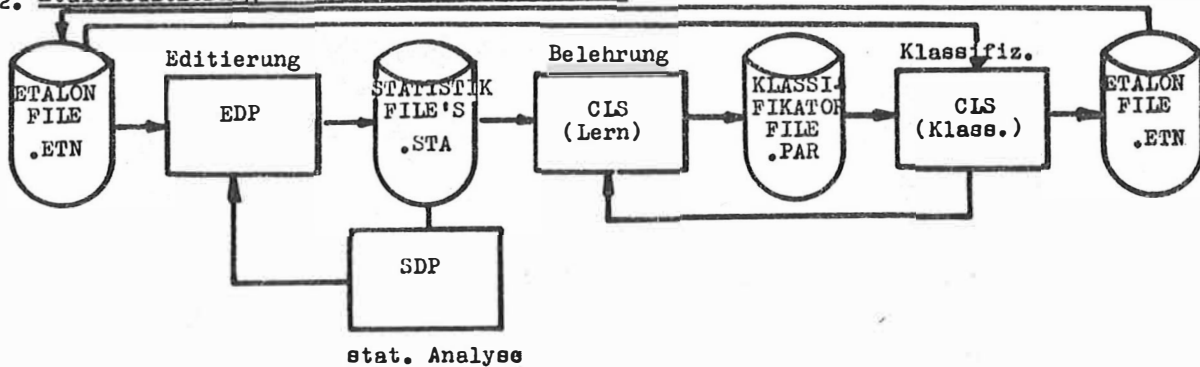


Abb. 1

1. Vorbereitung



2. Etaloneditierung und Klassifikatorbelehrung



3. Bildklassifizierung

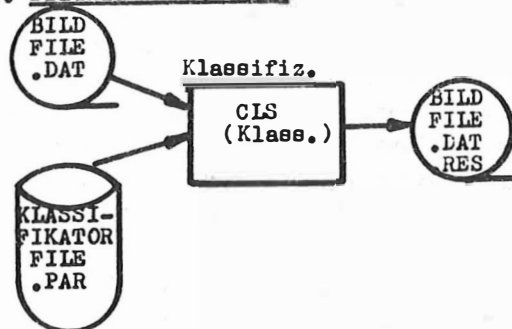


Abb. 2 Ablaufschema Bildklassifizierung

Für die gesamte Optimierungsphase, die beliebig oft durchlaufen werden kann, ist somit die Verfügbarkeit der Etalondaten ausreichend. Dies ist nicht nur für relativ langsame Bildverarbeitungsanlagen, sondern auch für zwar schnelle, aber durch die Parallelarbeit an unterschiedlichen Bildern datenmäßig überlasteten Anlage von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Ein weiterer Gesichtspunkt ist, daß so auch rechentechnisch äußerst aufwendige und damit langsame Klassifikatoren an einer für interaktive Arbeit zugänglichen Anlage optimiert werden können, während die eigentliche Bildklassifizierung im Stapelbetrieb an einer beliebigen kommerziellen Großrechenanlage durchgeführt werden kann.

Die Umsetzung dieser Methodik in ein am MdZ/FE verfügbares Programmpaket wird in Abb. 2 dargestellt. Auf die in dieses Paket implementierten Klassifizierungsverfahren wird weiter unten eingegangen. Eine Aufnahme weiterer Algorithmen ist problemlos möglich und wird durch die modulare Struktur des Paketes unterstützt.

Die Forderung nach einem hierarchisch gestaltbaren Ablauf resultiert aus folgenden Überlegungen. Zum einen sind fachwissenschaftliche Auswertungen oft nur für einige der im Bild vorhandenen Klassen durchzuführen. Es hat sich aber gezeigt, daß die Zahl von Fehlzuweisungen bei bestimmten Klassifikatoren wesentlich wächst, wenn nicht alle auftretenden Klassen der jeweiligen Gliederungstiefe erfaßt werden. Dem kann durch eine schnelle und in hoher Güte durchführbare Grobrayonisierung niedriger Gliederungstiefe begegnet werden. Alle weiteren Untersuchungen sind dann innerhalb der eigentlich interessierenden thematischen Klasse durchzuführen (s. Abb. 3a).

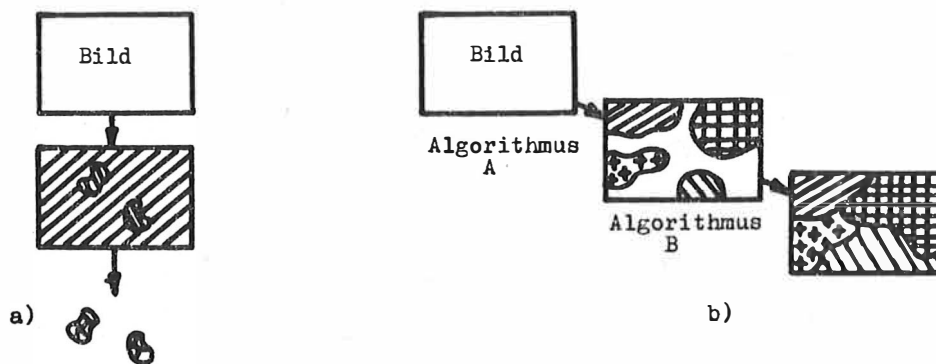


Abb. 3 Hierarchische Klassifizierung

Zum anderen sind die Cluster unterschiedlicher Klassen im Merkmalsraum oft nur mit Trennflächen höherer Ordnung, d. h. mit komplizierten Klassifikatoren, sauber zu trennen, während es aber meist nicht schwierig ist, einfache Klassifikatoren zu konstruieren, die mehr oder weniger große separable "Kernbereiche" der Cluster beschreiben. Unter Ausnutzung dieses Sachverhaltes ist es naheliegend, eine hierarchische Klassifizierung eines Bildes mit immer komplizierteren Klassifikatoren durchzuführen, bei denen jeweils nur die im vorherigen Schritt nicht klassifizierten Vektoren untersucht werden (Abb. 3b). Diesem Zweck dient die Einführung der Klassenkomponente als Verarbeitungsmaske.

Bestandteil der erarbeiteten Methodik ist außerdem ein Ansatz zur Behandlung des Mischpixelproblems für den Fall, daß ein Wertevektor im Überlappungsbereich mehrerer Cluster liegt. Im Gegensatz zur herkömmlichen Vorgehensweise, bei der dieser Vektor zurückgewiesen oder auf Grund einer optimierenden Entscheidungsregel über seine Klassenzuordnung entschieden wird, erhält der Vektor dabei einen Klasseencode, der ausdrückt, zu welchen Klassen eine Zuordnung möglich ist. In einer nachfolgenden Bearbeitung ist dann für diese Vektoren

z. B. eine kontextbezogene Klassenzuordnung oder die Anwendung komplizierterer Entscheidungsregeln nach dem Hierarchieprinzip möglich. Realisierbar ist diese Vorgehensweise allerdings nur für deterministische Verfahren (Quader-, Manuelles Clusterverfahren).

3.3. Verfahren der Bildklassifizierung

Auf die in das Programmpaket implementierten Quader- und Maximum-Likelihood-Verfahren soll hier nicht weiter eingegangen werden, da sie an anderer Stelle /2, 4, 6/ ausführlich beschrieben sind.

Aufgenommen wurde ebenfalls ein als "Manuelles Clusterverfahren" bezeichneter Algorithmus, der seiner Idee nach ein einfacher Tabellenklassifikator ist, aber die Möglichkeiten moderner interaktiver Bildverarbeitungsanlagen nutzt. Das Verfahren geht davon aus, daß die Cluster durch die Projektion auf eine oder mehrere Koordinatenebenen des Merkmalsraumes oder durch einen oder mehrere 2-dimensionale Schnitte beschrieben werden.

Diese Projektionen oder Schnitte können modelliert werden durch eine Visualisierung der entsprechenden Komponenten der Etalonvektoren auf einem Farbmonitor. Der mit der Klassifizierung beschäftigte Fachwissenschaftler kann den für die jeweilige Klasse zu verwendenden Zulässigkeitsbereich interaktiv markieren und damit die "Belehrung" des Klassifikators durchführen. Dieses vollständig verteilungsfreie Verfahren erlaubt die Konstruktion komplizierter, auch mehrgipfliger Cluster, die mit anderen Algorithmen nicht trennbar sind. Als Klassifikatortabelle wird dabei der Bildspeicher der Bildverarbeitungsanlage genutzt, da der Hauptspeicher verfügbarer Rechner zu klein ist (eine Projektion = $256 \times 256 = 64 \text{ K}$ Elemente!).

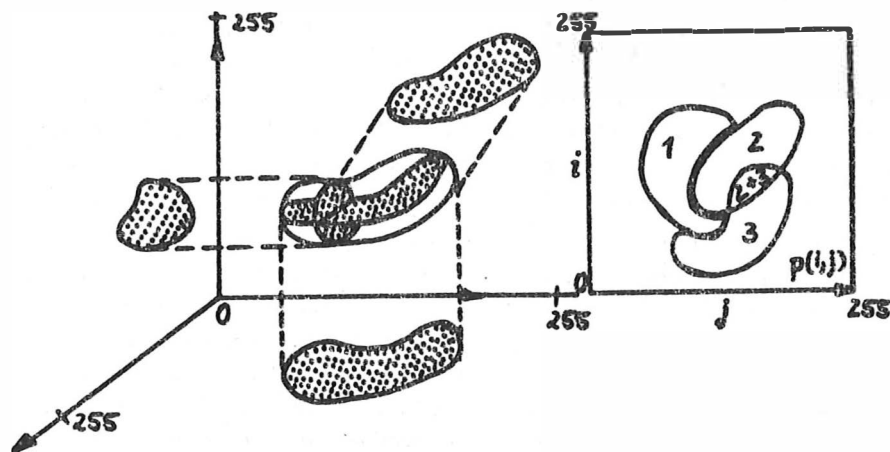


Abb. 4 Manuelles Clusterverfahren

Es sind vielfältige Entscheidungsregeln möglich, so z. B.

(2) $p \in K_1$ wenn für $V^P = (v_1, \dots, v_n)$ $(v_{1k}, v_{jk}) \in P^{(1,k, j_k)}$ für alle $k = 1, \dots, m$

(3) $p \in K_1$ wenn für $V^P = (v_1, \dots, v_n)$ $a_1 \leq v_1 \leq b_1$ und $(v_1, v_j) \in S^{(1,j)}$

(P - Projektion, S - Schnitt)

Prinzipiell ist dieses Verfahren dem Quaderklassifikator überlegen, da bei letzterem die Projektionen auf die Merkmalebene durch Rechtecke approximiert werden. Allerdings kön-

nen bei höherdimensionalen Merkmaleräumen nicht alle möglichen Projektionen genutzt werden. Dies erscheint aber unkritisch, da zum einen in vielen Fällen selbst mit einer Projektion eine gute Trennung zumindest bei Problemen geringer Gliederungstiefe erreicht wurde, andererseits aber eine Dimensionverringering auf 2 bis 3 Bänder mit Hilfe der Hauptkomponententransformation möglich ist /8/. Bei Verwendung eines ROBOTRON-Bildspeichers BSP K3567 mit 640 msec Zugriffszeit pro Speicherelement bedarf die Klassifizierung eines Bildes mit 10^6 Bildpunkten und 4 Projektionen, d. h. 4 Zugriffe / Bildpunkt, ganzer 2,7 sec reiner Klassifizierungszeit!

3.4. Beispiele

Abschließend soll die Effektivität der hier vorgestellten Verfahren mit Hilfe einiger Gütematrizen belegt werden. Klassifiziert wurde ein Ausschnitt der FRAGMENT-Aufnahme F4881-1 vom 13. 5. 1981 (Stralsund - Darß).

Tab. 1a zeigt die Gütematrix für die Anfangsklassifizierung nach dem Maximum-Likelihood-Prinzip, Tab. 1b die optimierte Version. Obwohl die Ergebnisse der Startklassifizierung im Bezug auf Fehlklassifizierungen zufriedenstellend sind, ist es Ziel der Optimierung, neben einer Senkung der Rückweisungquote auch die Fehlklassifizierungen weiter zu verringern. Dazu wurden für die A-priori-Wahrscheinlichkeit Schätzungen der Häufigkeiten in der realen Szene eingesetzt und eine geeignete Variation des Zulässigkeitsbereiches vorgenommen. Dabei erwies sich, daß Änderungen der A-priori-Wahrscheinlichkeiten das Ergebnis wesentlich geringer beeinflussen als die Variation des Zulässigkeitsbereiches. Für letzteren gilt als Faustregel, daß die Größe des Zulässigkeitsbereiches umgekehrt proportional zur Streuung der jeweiligen Klassen festzulegen ist. Weitere Variationen sind dann so vorzunehmen, daß eine optimale Klassifizierung der Etalondaten erreicht wird. Tab. 1b belegt, daß eine entscheidende Senkung der Rückweisungsquoten möglich ist. Parallel dazu konnten Fehlzuweisungen vor allem zu den Siedlungsklassen verringert werden. Dadurch, daß für die Klassifizierung der Etalondaten nur etwa 1/10 der Rechenzeit für das Gesamtbild benötigt wird, können unter vertretbarem Aufwand eine Vielzahl unterschiedlicher Varianten berechnet und eingeschätzt werden. Die mit dem optimierten Klassifikator durchgeführte Klassifizierung des Gesamtbildes weist eine sehr gute Übereinstimmung mit den Resultaten der visuellen Auswertung des gleichen Datenmaterials auf.

Das zweite Beispiel illustriert die Anwendung des "Manuellen Clusterverfahrens". Klassifiziert wurden die Hauptnutzungsarten - Wasser, Wald, begrünte Böden, unbegrünte Böden, Siedlungsgebiet - unter Verwendung der gleichen Etalondaten, wie im 1. Beispiel. Klassifiziert wurde auf der Grundlage der Projektion auf die Merkmalsebene der Bänder 3 und 5 ($0,6-0,7$; $0,8-1,1/\mu m$). Tab. 2a gibt die Gütematrix für die Anwendung des "Manuellen Clusterverfahrens" wieder. Die Klassen (1+2), (2+4), (2+8), (4+8), (1+16), (2+16), (2+8+16) enthalten Vektoren, die mehreren Klassen zugeordnet werden können. Diese und die zurückgewiesenen Vektoren können anschließend nach verschiedenen Prinzipien weiterverarbeitet werden. Das Resultat nach der Anwendung des im Beispiel 1 optimierten ML-Klassifikators gibt Tab. 2b wieder. Die so erreichte Güte ist kaum noch zu übertreffen und entspricht weitestgehend den Werten, die man durch Addition der entsprechenden Werte der Tab. 1b erhält. Wenn man bedenkt, daß nur 9,0 Prozent aller Etalonvektoren nachklassifiziert werden mußten, zeigt dies deutlich die Möglichkeiten des vorgeschlagenen Verfahrens. Zu beachten ist allerdings, daß mit wachsender Gliederungstiefe die Anwendung des Verfahrens komplizierter wird, wobei auf jeden Fall die Anzahl der zu verwendenden Projektionen wächst.

Zusammenfassend kann eingeschätzt werden, daß die in dieser Arbeit vorgestellten Methoden und Algorithmen eine weitgehende Optimierung des Klassifizierungsergebnisses ermöglichen.

Sie unterstützen die interaktive Arbeit des Fachwissenschaftlers mit dem Rechner und garantieren so die umfassende Nutzung der Erfahrungen des Interpreten. Die hiermit erzielbaren

Tab. 1a Gütematrix für die Anfangsklassifizierung nach dem Maximum-Likelihood-Prinzip

Start	Wasser			Wald		Acker			Acker, unbegr.			Siedlung	
	0	Tief	Flach	Nadel	Misch	Begr.	T.begr.	Gr.1.	1	2	3	Lock	Dicht
Bodden	0,5	97,6	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pütter See	10,3	0,0	53,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	33,3
Borgwallsee	0,0	4,2	95,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nadelwald	0,7	0,0	0,0	86,3	11,6	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mischwald	3,0	0,0	0,0	9,1	76,2	0,0	0,0	11,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mischwald	0,3	0,0	0,0	18,0	76,3	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0
Acker, begrünt	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	94,1	2,5	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Acker, teil.begr.	1,2	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	86,4	7,4	2,5	0,0	1,6	0,0	0,0
Wiese	1,6	0,0	0,0	0,0	1,6	1,6	20,6	73,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0
Acker, unbegrünt	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	7,0	12,4	77,3	0,5	0,0
Siedlung locker	1,9	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	1,9	72,8	19,8
Siedlung dicht	4,3	0,0	2,2	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	84,8

Tab. 1b Optimale Gütematrix für die Anfangsklassifizierung nach dem Maximum-Likelihood-Prinzip

optimiert	0	Tief	Flach	Nadel	Misch	Begr.	T.begr.	Gr.1.	1	2	3	Lock	Dicht
Bodden	0,1	97,6	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pütter See	0,0	0,0	84,6	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	10,3
Borgwallsee	0,0	4,2	95,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nadelwald	0,7	0,0	0,0	80,8	15,8	0,7	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mischwald	1,2	0,0	0,0	1,8	81,1	0,0	0,0	15,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mischwald	0,0	0,0	0,0	4,6	92,1	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0
Acker, begrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	95,6	1,5	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Acker, teil.begr.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	88,5	7,8	1,6	0,0	1,6	0,0	0,0
Wiese	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	1,6	13,5	82,5	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0
Acker, unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	5,4	11,9	82,2	0,0	0,0
Siedlung locker	1,2	0,0	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	2,7	73,9	15,2
Siedlung dicht	6,5	0,0	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	75,0

Tab. 2a Gütematrix für die Anwendung "Manuellen Clusterverfahrens"

MC	0	Wasser		Wald		Begr.La.		Unbegr.		Siedl.				
		(1)	(2)	(1+2)	(4)	(2+4)	(8)	(2+8)	(4+8)	(16)	(1+16)	(2+16)	(2+8+16)	
Bodden	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Pütter See	2,6	79,5	2,6	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	7,7	0,0	
Borgwallsee	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Nadelwald	0,0	1,4	93,8	2,1	1,4	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	
Mischwald	0,0	0,0	90,2	0,0	0,0	9,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Mischwald	0,0	0,0	95,8	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	
Acker, begrünt	2,5	0,0	0,0	0,0	97,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Acker, teil.begr.	0,4	0,0	0,8	0,0	84,8	11,5	2,1	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	
Wiese	0,0	0,0	11,1	0,0	54,0	33,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	
Acker, unbegrünt	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	95,7	1,6	1,6	0,0	0,0	0,0	0,5	
Siedlung locker	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	0,8	1,2	0,0	0,0	13,6	0,4	79,8	0,4	
Siedlung dicht	0,0	3,3	2,2	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,7	3,3	44,6	0,0	

Tab. 2b Gütematrix des optimierten manuellen Clusterverfahrens

MC + ML	0	(1)	(2)	(1+2)	(4)	(2+4)	(8)	(2+8)	(4+8)	(16)	(1+16)	(2+16)	(2+8+16)
Bodden	0,0	100,0	0,0		0,0		0,0			0,0			
Pütter See	0,0	89,7	5,1		0,0		0,0			5,1			
Borgwallsee	0,0	100,0	0,0		0,0		0,0			0,0			
Nadelwald	0,0	1,4	97,3		1,4		0,0			0,0			
Mischwald	0,0	0,0	93,3		6,7		0,0			0,0			
Mischwald	0,0	0,0	96,7		0,4		0,0			2,9			
Acker, begrünt	0,0	0,0	0,0		100,0		0,0			0,0			
Acker, teil.begr.	0,0	0,0	1,2		95,9		2,9			0,0			
Wiese	0,0	0,0	11,1		87,3		0,0			1,6			
Acker, unbegrünt	0,0	0,0	0,5		0,0		98,9			0,5			
Siedlung locker	0,0	0,0	6,6		0,4		2,3			90,7			
Siedlung dicht	2,2	4,3	4,3		0,0		0,0			89,1			

Resultate stellen eine gute Grundlage für eine weitere visuelle Auswertung bzw. für eine direkte Umsetzung in eine thematische Karte dar.

Literatur

- /1/ PRATT: Zifrowaja obrabotka isobraschenii (aus dem Engl.)- Isd. Mir, 1982.
- /2/ PEIPMANN: Grundlagen der technischen Erkennung.- In: Berlin: Technik, 1975
- /3/ BARSCH; WIRTH: Landnutzungskartierung im Tiefland der DDR auf der Grundlage von Satellitendaten.- In: Vermessungstechnik 7(1984)
- /4/ WIRTH; SCHILBACH; WEICHELT: Rechnergestützte Analyse von MKF-6-Aufnahmen durch überwachte Klassifizierung.- In: Vermessungstechnik (1980)6
- /5/ Rechnertechnologie zur Gewinnung und Darstellung thematischer Sachverhalte aus Fernerkundungsdaten.- In: Forschungsbericht ZIPE/PH Potsdam 1984 (unveröffentlicht)
- /6/ HABERACKER: Untersuchungen zur Klassifizierung multispektraler Bilddaten aus der Fernerkundung.- In: Forschungsbericht DFVLR 1977
- /7/ STILLER; SAGDEJEV u. a.: Sojus-22 erforscht die Erde.- Akad. Verl., Berlin 1980
- /8/ SÜLLNER; SCHILBACH: Ergebnisse der Hauptkomponententransformation an MKF-6-Aufnahmen.- In: Vermessungstechnik (1980)3

Die hierarchische Mehretufenklassifikation

A. GESCHKE, P. ULBRICH

1. Zusammenfassung

Die vorgestellte Methode zeigt einen Weg auf, die bei der Auswahl von Trainingsgebieten für lernende Klassifizierungsverfahren auftretenden Schwierigkeiten zu reduzieren und zugleich zu sowohl detaillierteren als auch zuverlässigeren Klassifizierungsergebnissen zu gelangen; als mit den klassischen Klassifizierungsansätzen.

Grundlage für das Verfahren ist die These, daß die auftretenden Klassen hierarchisch gruppierbar sind (Haupt- und Unterklassen). Durch mehrstufige Anwendung verschiedener Klassifizierungsalgorithmen lassen sich die Vorteile der Verfahren kombinieren.

Für ein Testgebiet (Sudan) wurden die Klassifizierungsergebnisse für einen BAYES-Klassifikator, einen Entscheidungsbaumklassifikator und für die hierarchische Mehretufenklassifizierung verglichen. Bei sechs Klassen war die Übereinstimmung zwischen BAYES und BAUM 85 %, bei nur vier Hauptklassen betrug sie 91 %. Durch die Mehretufenklassifizierung konnten die sechs Klassen der ersten Stufe in 24 sinnvoll interpretierbare Unterklassen aufgespalten werden.

Die hierarchische Mehretufenklassifizierung ist besonders für die Feststellung realer Unterklassen in unvollständig bekannten Gebieten, zum Nachweis von Inhomogenitäten in bekannten Klassen und zur Behandlung von Mischpixeln und der dadurch hervorgerufenen Probleme geeignet.

Alle Untersuchungen wurden an einem ROBOTRON-Bildverarbeitungssystem A 6471 durchgeführt.

2. Einleitung

Die Pixelklassifikation von Multispektralaufnahmen stellt in der Fernerkundung ein wichtiges Hilfsmittel zur Informationsgewinnung dar. Die Schwärzungsintensitäten in den Spektralkanälen werden für die einzelnen Pixel sowohl durch die Bodenbedeckung (räumlich, zeit-

lich variabel) als auch durch Faktoren, wie atmosphärische Streuung, Sonnenwinkel, Sichtwinkel usw. bestimmt. Diese Einflüsse entziehen sich einer determinierten Beschreibung und erschweren die Klassifizierung.

Ein weiteres Problem bilden Mischpixel, die dadurch entstehen, daß die Bodenaufklärung der Aufnahmen nicht die Größe der klassenbestimmenden Einzelobjekte erreicht. Somit entstehen Überlagerungen der spektralen Remissionen entsprechend dem prozentualen Anteil der klassenbestimmenden Einzelobjekte im jeweiligen Pixel. Die Behandlung dieser Mischpixel führt bei allen klassischen Klassifizierungsverfahren zu Schwierigkeiten. Wir nehmen an, daß die Mischpixel zu einer Abweichung der Wahrscheinlichkeitsverteilung von der Normalverteilung führen. Es wird somit verständlich, daß in einer Reihe von Arbeiten - wie auch durch eigene Untersuchung bestätigt - eine gewisse Überlegenheit des parameterfreien Entscheidungsbaumklassifikators (die Wahrscheinlichkeitsverteilungen werden während der Belichtung aus der Stichprobe geschätzt) gegenüber den parametrischen Klassifizierungsverfahren, wie z. B. BAYES-Klassifikator (hier werden nur noch Mittelwerte und Streuungen geschätzt), festgestellt wird /2, 3, 4, 7/.

Um die Klassifizierungsergebnisse zu verbessern, ist es zweckmäßig, a priori-Wissen zu nutzen. Die im Rahmen der FE-Klassifizierung auftretenden Klassenanteile lassen sich leicht hierarchisch ordnen. In Abb. 1 ist in Anlehnung an /4/ eine solche Klassenhierarchie aufgezeigt.

3. Klassifizierung

Für die Demonstration der Klassifizierung eines wenig erschlossenen Gebietes wurde ein Fragment einer Scanneraufzeichnung des US-amerikanischen Satelliten LANDSAT-2 gewählt. Die Aufzeichnung lag auf Computer-kompatiblen Magnetband (CCT) vor, stammte vom Oktober 1979 und zeigt ein Gebiet des südlichen Sudan. Das Fragment umfaßt 256 x 256 Bildpunkte (Pixel) und gibt somit bei der geometrischen Auflösung des Landsetzereore von 57 x 79 m² eine Fläche von ca. 15 x 20 km² wieder.

Um eine Grobklassifizierung entsprechend der obersten Ebene des in Abb. 1 dargestellten Objektklassenebaumes durchführen zu können, muß vom Bearbeiter festgestellt werden, welche Klassen in der Szene hauptsächlich vorkommen und wo die entsprechenden Trainingsgebiete einzutragen sind. Die optimale Auswahl der Trainingsgebiete hat entscheidenden Einfluß auf das Resultat der Klassifikation. Aus diesem Grunde ist nicht die reine Rechenzeit des Klassifizierungsprogramms, sondern die Zeit und Sorgfalt, die für die interaktive Auswahl und Festlegung der Trainingsgebiete aufgewendet wird, von Bedeutung. Wesentlich ist die Auswahl homogener Gebiete.

Es wurden für die weitere Untersuchung sieben Trainingsgebiete ausgewählt, die vorerst folgende Klassenbezeichnungen erhielten: Wasser, feuchter Boden 1, feuchter Boden 2, Vegetation, Boden 1, Boden 2 und Boden 3. Die statistische Analyse der Trainingsgebiete, die auch den Ausgangspunkt für die nachfolgende Klassifizierung darstellt, kann im coincident spectral plot (Abb. 2) veranschaulicht werden.

Auf Grund der Ergebnisse der Analyse wurde der Kanal 1 aus der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen. Um den Einfluß der Größe und Homogenität der Trainingsgebiete auf die Klassifikation zu untersuchen, wurde mit veränderten Trainingsgebieten gearbeitet. Nach der Klassifikation wurde die Wiedererkennungsraten innerhalb dieser Gebiete in Form einer Matrix dargestellt.

Vor der Darstellung der Ergebnisse noch eine kurze Bemerkung zu den Klassifikationsalgorithmen. Im allgemeinen wird in der Fernerkundung, wie in der Klassifikation überhaupt, der BAYES-Klassifikator sehr häufig angewandt. Die Verteilung der Grauwerte einer Klasse wird dabei als Gaußverteilung angenommen. Der hierarchische Baumklassifikator schätzt die Ver-

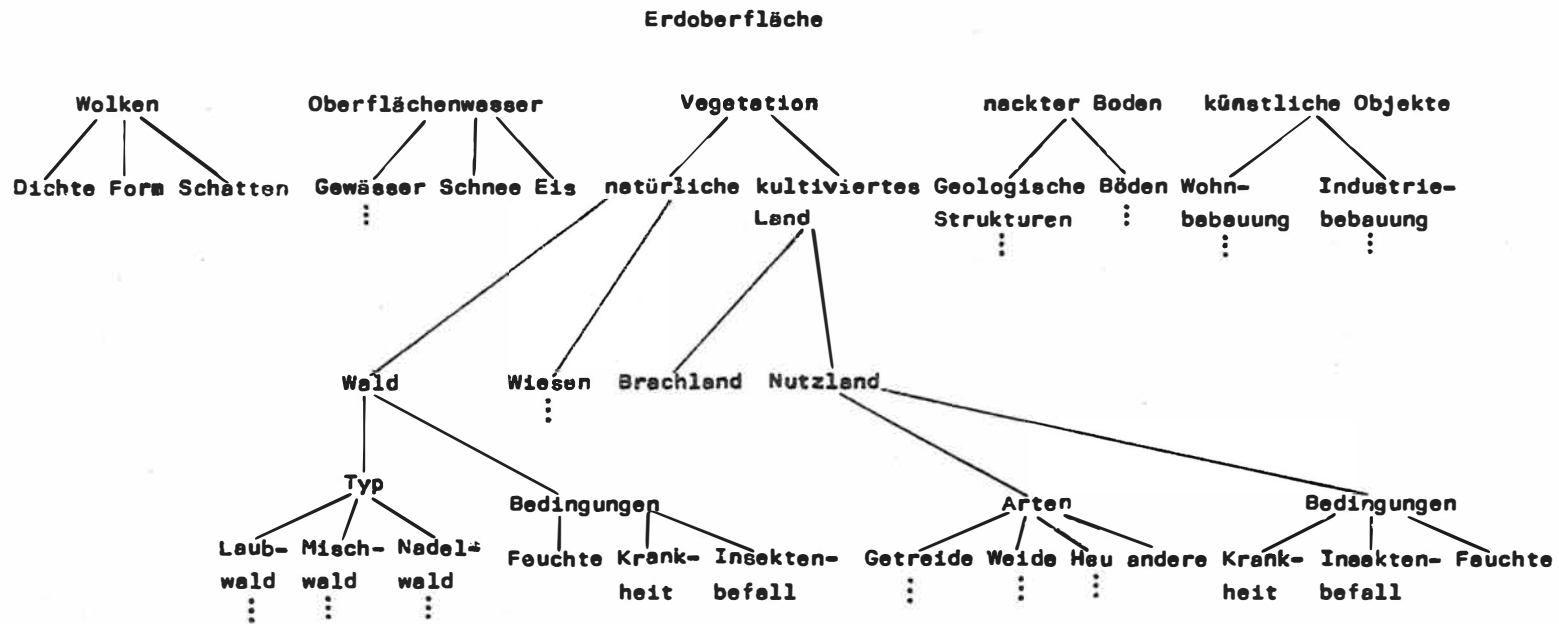


Abb. 1 Informationsbaum für Klassen in der Fernerkundung

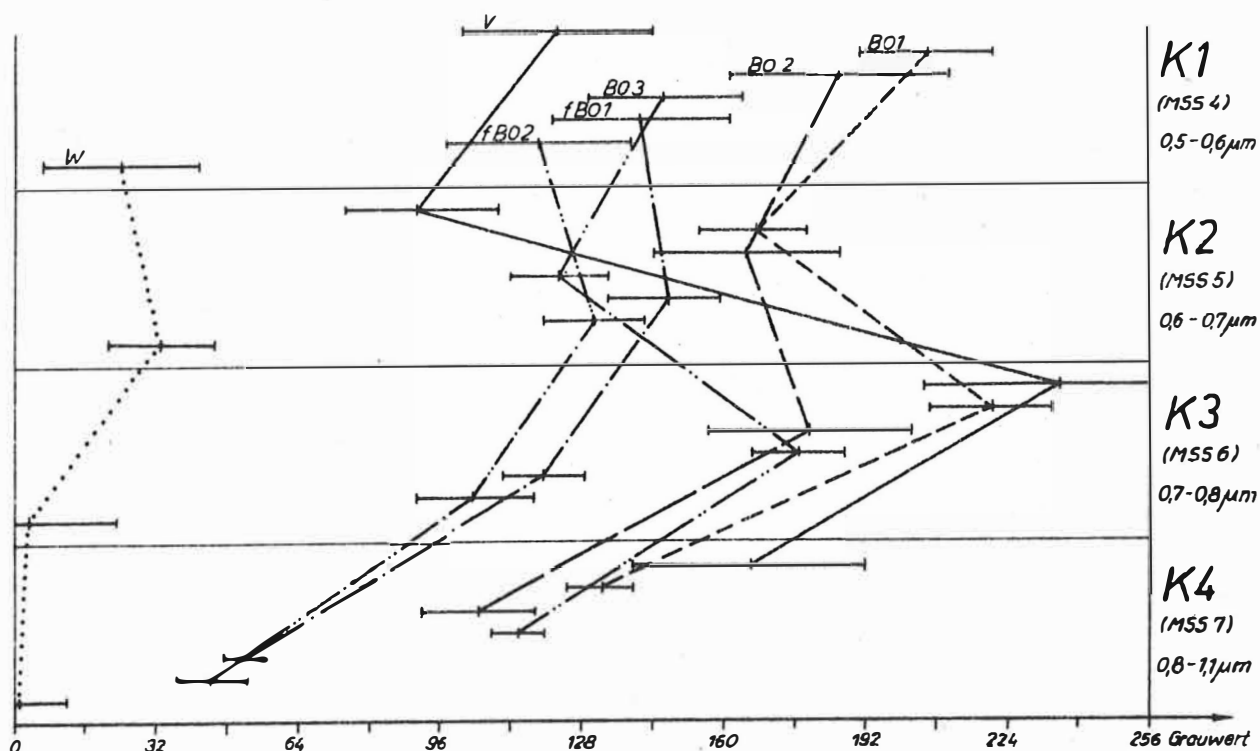


Abb. 2 Coincident spectral plot für 7 Trainingsklassen

teilung nach den Trainingsproben ab. Daraus ergeben sich bereits wesentliche Unterschiede in der Arbeitsweise und Empfindlichkeit der beiden Klassifikatoren. Da im vorliegenden Falle die Bestimmung homogener Trainingsgebiete für feuchter Boden 1 und 2 sehr kompliziert war, wurde die Wiedererkennungserate auch für den Fall angegeben; wenn diese beiden Klassen nach der Klassifikation zu einer Klasse feuchter Boden zusammengelegt worden waren. Das Resultat der Klassifikation mit einem Trainingsatz für 7 Klassen ist in Tabelle 1 aufgeführt.

Zur weiteren Einschätzung der Resultate wurde die Übereinstimmung zwischen den beiden in Tab. 1 angegebenen Klassifikationsergebnissen untersucht. Die summierte Übereinstimmung (bei der Zusammenfassung der beiden feuchten Böden) betrug 85 % aller Pixel. Bei der weiteren Zusammenfassung in vier Hauptklassen (feuchter Boden, Boden 1 und 2, Vegetation und Boden 3 sowie Wasser); die für eine erste Information über wenig erschlossene Gebiete ausreichend erscheint, beträgt die übereinstimmend klassifizierte Zahl der Pixel bereits 91 % der Gesamtpixelzahl.

Andererseits sind gerade die unterschiedlich klassifizierte Flächen von Interesse, um eine Vorstellung von der Leistungsfähigkeit der beiden Klassifikatoren zu erhalten. Einen ersten Anhaltspunkt lieferte die Vergleichsmatrix. Dabei werden alle Pixel des einen Klassifikationsergebnisses mit dem anderen verglichen. Zur Demonstration ist in Abb. 3 die Ver-

Tab. 1 Klassifikationsresultate und Wiedererkennung der Trainingsmengen mit dem Trainingsatz II für 7 Klassen

Klasse	Klassifikator		Trainingsmenge in		Einzelwiedererkennung	
	Baum in %	Bayes in %	Pixeln und Gebieten		Baum in %	Bayes in %
f. Boden 1	5	6	114	1	94	89
f. Boden 2	9	11	143	3	80	88
f. Boden	14	17				
Vegetation	12	16	281	4	93	100
Boden 3	30	24	220	3	98	96
V + Bo 3	42	40				
Boden 1	17	17	271	2	98	97
Boden 2	12	12	203	2	93	92
Bo 1 + 2	29	29				
Wasser	15	14	219	2	100	100
Wiederer- kennung:	95 %	95 %				
Wiederer- kennung m.f.Bo:	96 %	96 %				

gleichsmatrix für die in Tab. 1 gezeigten Klassifikationsresultate angeführt. Um diese Gegenüberstellung anschaulicher zu gestalten und auch die bildmäßige Zuordnung unterschiedlicher Klassifikationsergebnisse zu ermöglichen, wurde von uns ein spezieller Algorithmus für die Darstellung der Matrix konzipiert und erprobt:

Algorithmus zur farblichen Kodierung der Ergebnisse zweier Klassifizierungsalgorithmen an einem Multibild

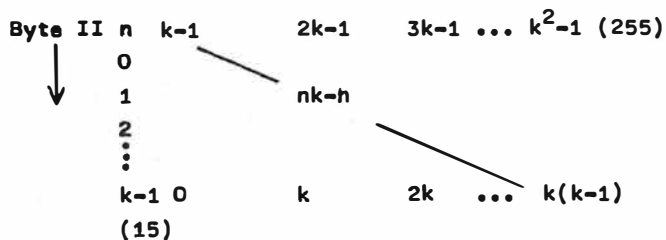
Voraussetzung

$k \leq 16$ Klassen. Für die Klasseninformation stehen je Pixel 1 Byte je Klassifikator zur Verfügung.

Methode

- Klassifizierung mit Algorithmus I im Ergebnisbyte I, Klassenkode = 1,...,16 (ersten k natürliche Zahlen)
- Klassifizierung mit Algorithmus II im Ergebnisbyte II gleiche Klassenkodierung
- Multiplikation: $16 \times \text{Byte I} \Rightarrow \text{Byte I}$
- Subtraktion: $\text{Byte I} - \text{Byte II} \Rightarrow \text{Byte I}$
- Histogramm über Ergebnisbyte I aller Pixel
- Grauwertmatrix für den Ausdruck $16 \text{ Byte I} - \text{Byte II}$

Grauwertcodierung Byte I \longrightarrow



- Bilden einer Look-up-Taballe, die die Diagonale in Graustufen und die "wichtigen" Nichtdiagonalelemente in signifikanten Farben (Wichtigkeit folgt aus Histogramm) darstellt.

Um diese Darstellung übersichtlich zu erhalten, wurden nur die 8 wesentlichsten Abweichungen farblich codiert. Die Summe aller anderen unterschiedlich klassifizierten und somit nicht berücksichtigten Pixel lag bei 1,2 % der Gesamtpixelzahl. Die Mehrzahl der unterschiedlich klassifizierten Pixel liegt unterhalb des Flusses in einem anfänglich als Sumpf eingestuften Gebiet. Da jedoch Sumpfgebiete eine Mischung von Oberflächenwasser, Vegetation (Gras, Büsche, teilweise auch Bäume) und feuchten Boden darstellen, wurde von einer speziellen Klasse abgesehen.

Nach diesen Überlegungen lassen in den Sumpfgebieten vor allem die Klassen feuchter Boden, Vegetation, Wasser und Boden 3 die stärksten Abweichungen beim Vergleich der Klassifikationsresultate erwarten, was durch die visualisierte Vergleichsmatrix bestätigt wurde. Ähnlich verhält es sich beim Fluß. Da er im Gegensatz zu stehenden Gewässern, besonders nach der Regenzeit, mit Sedimenten angereichert ist und auch die Flußbreite gegenüber der Pixelabmessung kritisch werden kann, sind Fehlklassifizierungen im Rahmen der genannten Klassen sehr leicht möglich.

Somit ist es nicht verwunderlich, daß diese Klassen mit 8,4 % an den 15 % unterschiedlich klassifizierten Flächen beteiligt sind. Die Konfusion zwischen den Klassen Boden 1 und Boden 2, die an ihrem Grenzbereich auftritt, beträgt 2,25 % der Gesamtpixelzahl. Die unterschiedlichen Klassifizierungen auf Grund dieser "schwierigen" Gebiete betragen 71 % der insgesamt unterschiedlich eingeordneten Flächen.

Diese Resultate zeigen, daß eine Klassifikation von Aufnahmen unerschlossener Gebiete bis zur zweiten Ebene des in Abb. 1 dargestellten Informations- oder Klassenbaumes möglich ist. Das Resultat der Baumklassifikation ist in Abb. 4 wiedergegeben. Trotzdem ist es selbst bei verminderter Genauigkeit - oft von Interesse, auch die Feinuntergliederung der Klassen zu erhalten, um auf diese Weise zu qualifizierteren Aussagen über die Szene zu gelangen. Außerdem würde die verringerte Genauigkeit sich ebenso wie bei den Klassen feuchter Boden 1 und 2 hauptsächlich auf das Verhältnis dieser beiden Klassen, nicht aber zu anderen Klassen beziehen. Zum Beweis, daß in den Szenendaten durchaus noch weitergehende Informationen enthalten sind, wurden in Abb. 5 die Histogramme einiger Trainingsgebiete in den Kanälen 2, 3 und 4 wiedergegeben. Eine Interpretation dieser Unterschiede, die noch dazu statistisch nicht repräsentativ für die Gesamtklasse sind, ist ohne Zusatzinformation, z. B. über die vorkommenden Vegetationsarten und ihre spektralen Unterschiede, sehr schwierig. Einer Trennung der Klasse Vegetation in mehrere Unterklassen - u. a. auch zur besseren Näherung an die Forderung nach einer Gaußverteilung der Grauwerte bei der BAYES-Klassifikation - wirkt die sehr geringe homogene Trainingsmenge je Unterklasse und ihre kaum mögliche Separierbarkeit entgegen. Von den Autoren wird vorgeschlagen, in solch einem Falle eine hierarchisch aufgebaute Mehrstufenklassifikation durchzuführen. Während die erste Stufe der hier beschriebenen überwachten Klassifizierung entspricht, wird in der 2. Stufe unter Einbeziehung des bildmäßigen Klassifikationsergebnisses als zusätzlicher Kanal des Ausgangsbildes eine faktisch unüberwachte Klassifizierung jeder der in der ersten Stufe als jeweils eine Klasse erkannten Gebiete durchgeführt. Somit können bei 7 Klassen als Resultat der ersten Stufe durch 7 gleiche, sich wiederholende Verarbeitungsschritte, die nacheinander auf alle Pixel nur der jeweiligen Klasse angewandt werden, nochmals in Unterklassen zerlegt werden. Allerdings wird es nicht immer sinnvoll sein, alle Grundklassen nochmals zu untergliedern. Wenn man das als zusätzlichen Kanal einbezogene Klassifikationsergebnis der 1. Stufe als Schalter auffaßt, der jeweils alle anderen Klassen bis auf die zu erweiternde ausblendet, kann diese Grundmenge separat bearbeitet werden. Dabei kann ein Histo-

gramm der gesamten Grundklasse berechnet werden. Beispielsweise hat auch ein density eliciting eine Berechtigung für die Bildung von Unterklassen. Der Grund dafür liegt darin, daß die Varianz der entsprechenden Grundklassen innerhalb eines Kanals oft nicht nur auf die statistische Vielfalt einer Klasse zurückzuführen ist (Blattrichtung bei Vegetation oder Wellen bei Wasseroberflächen), sondern auch "echte" Abstufungen, z. B. in der Dichte oder Art der Vegetation, repräsentieren kann. Wenn nur der erste Fall wirksam ist, wird eine Aufspaltung der Grundklasse zu einem Rauschen führen, ist der zweite Fall ebenso wirksam, ergeben sich mehr oder weniger homogene Gebiete, die einen realen Zustand der Szene widerspiegeln. Die Zahl der sinnvollen Unterklassen ist u. E. am sichersten aus dem Histogramm der Hauptklasse bzw. ihrer Trainingsgebiete durch den Bearbeiter zu bestimmen und kann dann für die Weiterverarbeitung dem Rechner interaktiv eingegeben werden. Die "Echtheit" einer Unterklasse ist oft aus dem Kontext - der Beziehung zur Umgebung - erkennbar. So werden sich Grenzgebieteklassen herausbilden und feste "Inseln" entstehen. Am besten läßt sich dies bei der 2-Stufenklassifikation des zu Beginn bearbeiteten Beispiels erläutern. Dabei wurden die Klassen Wasser sowie feuchter Boden 1 und 2 nicht weiter aufgespalten. Bei der Unterteilung der Klasse Boden 1 in vier Untergruppen zeigte sich, daß über 14 % von den ehemals 17 % in eine Gruppe fielen und 2,5 % in die zweite. Es handelt sich also um eine relativ homogene Klasse. Da bei der Untergliederung aller Klassen der Kanal 4 auf Grund der Inhomogenität seiner Histogramme besondere Berücksichtigung fand, sind die Unterklassen bei allen Böden für die Farbdarstellung so codiert, daß die dunkelste Farbschattierung der geringsten Reflexion, also wahrscheinlich der größten Feuchte entspricht. Bei der Klasse Boden 2 ist dies offensichtlich, da die Grenzgebiete zur Klasse feuchter Boden erwartungsgemäß von dunkel codierten Pixeln des Bodens 2 gebildet werden.

Die Klasse Boden 3 wurde in 7 Unterklassen aufgespalten. Hierbei sind sowohl die Grenzgebiete zum Boden 1 (hellere Pixel; sie gelb dargestellt) als auch die zum Fluß (dunkelste Pixel; braun wiedergegeben) und im Sumpfgebiet aufschlußreich, da sie eindeutig kontextmäßig sinnvolle Gebieteuntergliederungen ergeben. Auch die Vegetation wurde in 7 Unterklassen aufgespalten. Das Resultat wurde als Rotabstufung dargestellt. Somit konnten insgesamt 24 Klassen aus den ursprünglich 7 Grundklassen gebildet werden.

4. Schlußfolgerungen

Obwohl bei der durchgeführten Klassifikation eines unbekanntes Gebietes nur spektrale Merkmale Berücksichtigung fanden, zeigt sich bei der Betrachtung des bildhaften Klassifizierungsergebnisses, daß kontextmäßig ein erklärbarer Bildaufbau vorliegt. Die Resultate stehen mit Aussagen von Satellitenbildinterpretationen dieses Gebietes (/1, 6/) in Übereinstimmung.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, daß mit geringem Aufwand bei sorgfältiger Trainingsgebietesauswahl eine hinreichend genaue Grobklassifizierung des unbekanntes Gebietes in 4 Hauptklassen bzw. 7 genauer unterteilte Klassen erfolgen konnte. Dabei bewies sich die Stabilität des Baumklassifikators, wobei die Klassifizierungsergebnisse dieses hierarchischen Klassifikators denen des BAYES-Klassifikators nicht nachstehen.

Auf Grund der vielfältigen Bodenbedeckungsfrage weichen die Grauwertverteilungen der Trainingsgebiete von einer Gaußverteilung ab, was die BAYES-Klassifikation benachteiligt. Durch die Anwendung einer hierarchischen Mehrstufenklassifizierung konnten 24 sinnvolle Klassen gebildet werden.

Die hierarchische Mehrstufenklassifizierung stellt eine universell einsetzbare Methode zur Klassifizierung vor allem bei FE-Multispektralaufnahmen dar.

Zur Separation nur der Unterklassen einer Hauptklasse lassen sich i. a. wesentlich einfachere Separationsmethoden anwenden als beim ursprünglichen Problem.

Die beschriebene Methode ist bis auf die Auswahl der Trainingsgebiete weitestgehend automatisierbar und läßt durch Einbeziehung kontextbezogener Auswerteverfahren (der pixelbezogenen Klasseifizierung nachgeschaltet) hocheffektive Bildauswertungen zu.

≤ Bayes	Wasser	f. Boden	Boden 1	Boden 2	Boden 3	Vegetation
14 % Wasser	<u>8621</u> weiß	527 grün				
17 % f. Bo	1462 blau	<u>7954/320</u> schwarz		320 -	1510 cyan	
17 % Bo 1			<u>9513</u> hell- grau	410 dkl. viol.	930 dkl. cyan	
12 % Bo 2			1064 gelb	<u>6590/83</u> mittel- grau	83 -	
24 % Bo 3	2 -	20 -	148 -	290 -	<u>15342/708</u> dkl.grau	248 -
16 % Veg	1 -	280 -	516 braun	2 -	1990 rot	<u>7711/283</u> sehr dkl. grau
≤ Baum	15 %	13 %	17 %	12 %	30 %	12 %

Beispiel: - f. Boden/f. Boden: 7954/320 schwarz

7954 Pixel sind von beiden Klassifikationen als f. Boden klassifiziert und mit "schwarz" codiert. 320 ursprünglich anders klassifizierte Pixel wurden zugunsten der Übersichtlichkeit den identisch klassifizierten Pixeln zugeordnet.

- Vegetation/Boden 1: 516 braun

516 Pixel, die nach der Zeile zur Vegetation nach Bayes gehören, wurden vom Baum als Boden 1 eingeordnet und braun codiert.

Abb. 3 Wiedererkennungsmatrix der Resultate der Baumklassifikation in bezug auf die Resultate der Bayes-Klassifikation

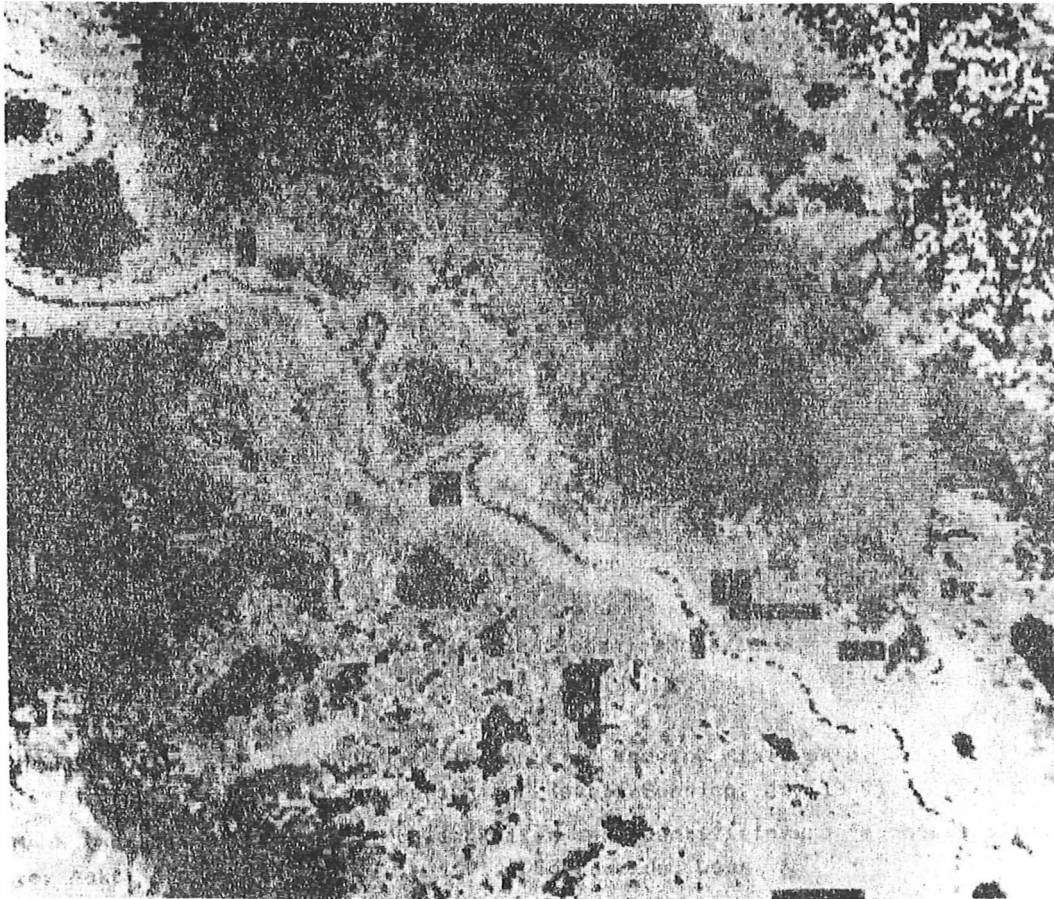


Abb. 4a Bildhafte Darstellung des Resultats der Baumklassifikation mit 7 Klassen sowie den Trainingsgebieten

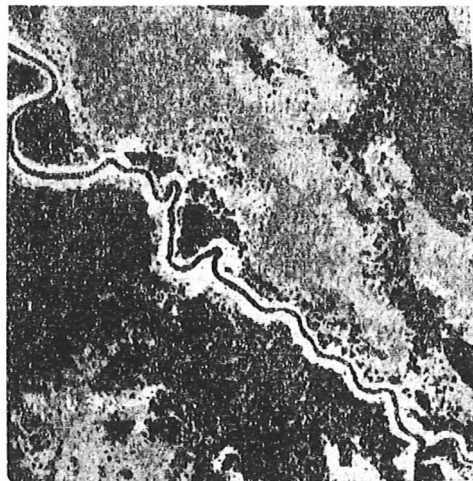


Abb. 4b Bildhafte Darstellung des Resultats der Baumklassifikation

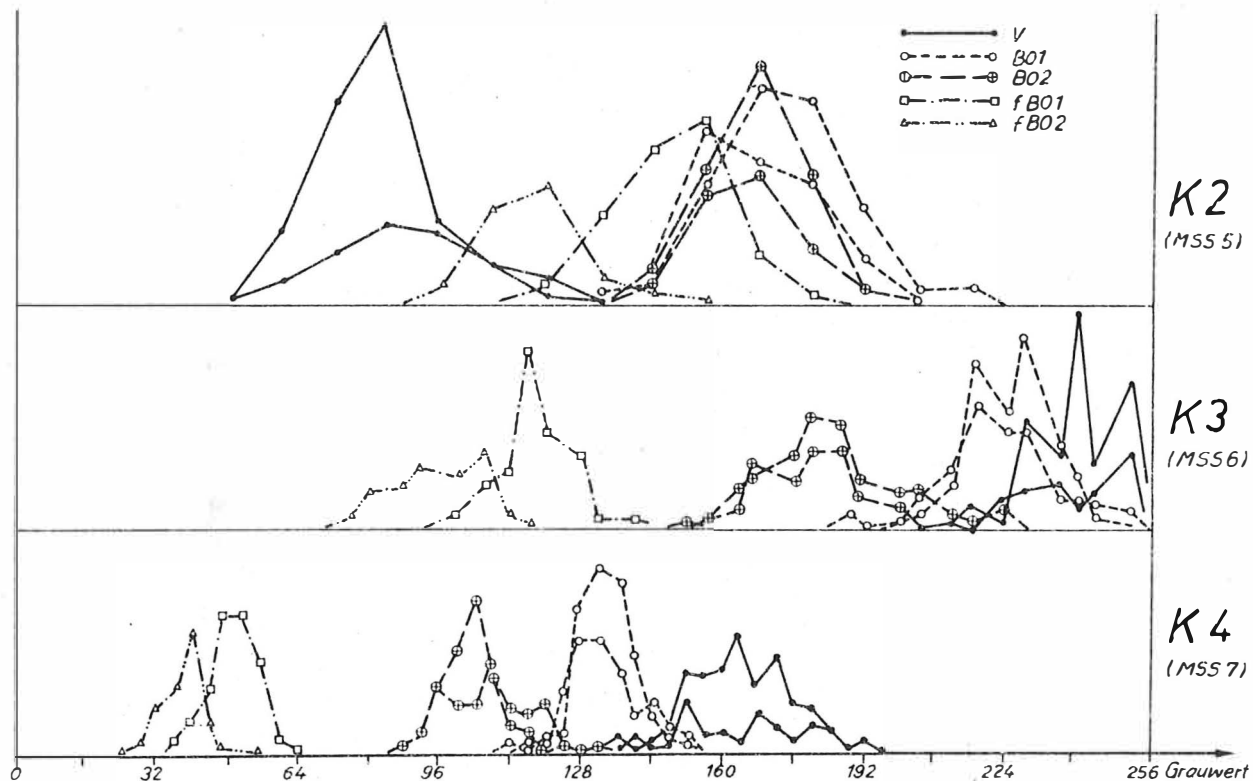


Abb. 5 Histogramme der Trainingsgebiete 5 ausgewählter Klassen in den Spektralkanälen MSS 5, 6 und 7

Literatur:

- /1/ EL SHAZLY, E. M.; et al.: Jonglei Canal Project; Sudan - a Landsat imagery approach.- In: 12th Symposium on Remote Sensing of Environment 1978, Manila
- /2/ GESCHKE, A.; P. ULBRICH: The linked multistage classification approach.- In: 18th Symposium on Remote Sensing of Environment 1984, Paris
- /3/ SWAIN, P. H.; H. HANSKA: The decision tree classifier: design and potential IEEE Tr. on Geoscience Electronics, GE-15, No 3, July 1977
- /4/ SWAIN, P. H.; SHIRLEY, M. D.: Distancionnoje zondirovanije: Količestvennyj podchod.- Moekva: Nedra, 1983
- /5/ UNGER, S.; F. WYSOTZKY: Lernfähige Klassifizierungssysteme.- Akad.-Verl., Berlin, 1981
- /6/ WORCESTER, B. K.; D. G. MOORE: Delineation of soil - landscapes in the Sudd region of Sudan on Landsat imagery. In: 12th Symposium on Remote Sensing of Environment 1978, Manila
- /7/ YOU, K. C.; K. S. FU: An approach to the design of a linear binary tree classifier.- In: Proc. of Machine Processing of Remotely Sensed Data 1976 West Lafayette, Indiana

Zu einigen Grundfragen bei der rechnergestützten Interpretation kosmischer Multispektraldaten zur Analyse der Flächennutzung

U. HENGELHAUPT

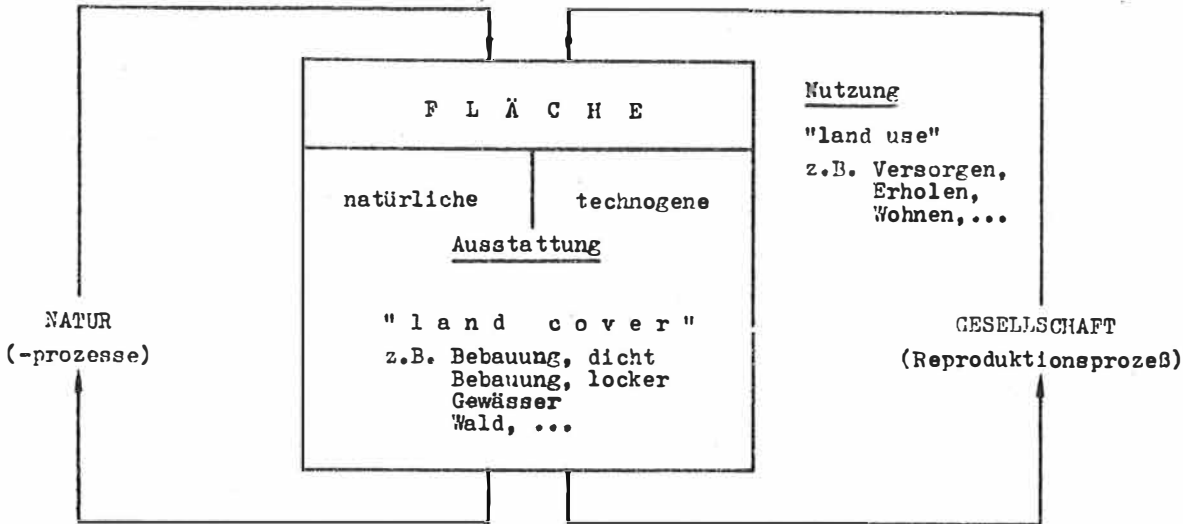
Wie eine ansehnliche Zahl einschlägiger Publikationen belegt; haben Verfahren und Methoden zur digitalen Verarbeitung kosmischer Multispektraldaten (MSD) für Zwecke der Flächennutzungsanalyse, sowohl international wie auch national gesehen, einen Stand auf bemerkenswert hohem Niveau erreicht. Demgegenüber muß man feststellen; daß die Einbeziehung von auf digitalem Wege aus kosmischen MSD gewonnenen Informationen zur Flächennutzung (FN) in die geographische Forschung der DDR - wie in anderen entwickelten Ländern auch - nur in relativ bescheidenem Maße voranschreitet.

Neben einer Vielzahl objektiver und subjektiver Momente, die als Ursachen in diesem Zusammenhang zu diskutieren wären, soll auf ein wissenschaftliches Problem prinzipieller Natur aufmerksam gemacht werden; dessen Bewältigung einen positiven Impuls für die Gewinnung neuer geographischer Erkenntnisse zur FN in Forschung und Planung auslösen könnte.

Dieses Grundproblem ergibt sich n. E. aus den unterschiedlichen Aspekten, unter denen das Objekt "Flächennutzung" auf der einen Seite von Geographie und Territorialplanung betrachtet, und andererseits aus der Sicht der Geofernerkundung gesehen wird. Die Diskussion dieser Problematik kann sich auf Ansätze stützen, die bereits von KRÜNERT, HENGELHAUPT u. a. bzw. von SCHMIDT und STOYE /8, 7, 9, 14/ niedergelegt und unter maßgeblicher Mitwirkung c. g. Autoren weitergeführt wurden.

1. Flächennutzung als Gegenstand der geographischen Forschung und Territorialplanung

In Anlehnung an Auffassungen von HAASE und LÜDEMANN; MINC und PETRJAKOVA; KRAUSE, JÄNCKEL und ZINKE und HERRMANN /2, 13, 6, 5/ soll unter FN ein georäumlich differenzierter, gesellschaftlicher Prozeß verstanden werden, dessen Wesen in der gesellschaftlich notwendigen Inanspruchnahme der an eine Fläche gebundenen natürlich-technogenen Ausstattung zur Gewährleistung des gesellschaftlichen Reproduktionsprozesses besteht (vgl. Abb. 1).



bb. 1 Flächennutzung im Zusammenhang Gesellschaft-Fläche-Natur (Überarbeitet nach HAASE, 1979) /1/

Aus geographischer Sicht macht demnach die Nutzung der flächengebundenen natürlich-technogenen Ausstattung als gesellschaftlicher Prozeß - d. h. für die Gesellschaft und durch die Gesellschaft - das Wesen der FN aus. Dieser Sachverhalt wird mit dem aus dem angelsächsischen Sprachraum stammenden Terminus "land use" treffend gekennzeichnet.

Aus den bisherigen Darlegungen folgt, daß jede Fläche im Rahmen des Reproduktionsprozesses gesellschaftlich notwendige Funktionen erfüllt. Solche "Funktionen" können z. B. mit den Begriffen "Versorgen", "Wohnen", "Erholen" usw. bezeichnet werden. Regel- und Gesetzmäßigkeiten in der funktional-räumlichen Differenziertheit eines Territoriums sind u. a. Untersuchungs- und Erkenntnisgegenstand der geographischen Forschung. Die Gewährleistung bzw. Herausbildung einer unter bestimmten Bedingungen als optimal geltenden funktional-räumlichen Organisation bzw. Gliederung eines Territoriums ist eine Aufgabe staatlicher Planungs- und Leitungsgänge.

Hieraus ergibt sich zwangsläufig das besondere Interesse von Geographie und Territorialplanung an der funktionalen Kennzeichnung und Beschreibung von Flächen. Das heißt, es steht die Frage im Vordergrund, welche Funktion eine Fläche im Rahmen der gesellschaftlichen Reproduktion erfüllt bzw. zu erfüllen vermag.

2. Flächennutzung als Objekt der Geofemerkung

Im Ergebnis der rechnergestützten Auswertung (Klassifikation) kosmischer MSD erhält man Pixelklassen, denen Klassen von Bodenelementen gleichen bzw. ähnlichen spektralen Reflexionsverhalten entsprechen. Das Reflexionsverhalten der Bodenelemente hängt von ihrer stofflich-physikalischen Qualität, d. h. von der Art ihrer natürlich-technogenen Ausstattung ab. Das Ergebnis der MSD-Klassifikation widerspiegelt demnach die sachliche und räumliche Differenziertheit eines Territoriums nach Flächen unterschiedlicher natürlich-technogener Ausstattung. Der hierfür im angelsächsischen Sprachraum gebräuchliche Begriff "land cover" kann im Deutschen nicht mit "Flächennutzung" und nur bedingt durch die Begriffe "Flächenwidmung" oder gar "Bodenbedeckung" wiedergegeben werden.

Es ist offensichtlich, daß durch digitale MSD-Klassifikationen aus der Spektralinformation zunächst nur Aussagen über die Art der natürlich-technogenen Ausstattung, d. h. über die Qualität von Flächen gewonnen werden können. Dies findet in solchen Bezeichnungen wie "dichte Bebauung", "lockere Bebauung" aber auch "Wald", "Gewässer" usw. seinen Niederschlag. Durch Ausnutzung der geometrischen Information der MSD ist man in der Lage, die Lokalisation der klassifizierten Pixel zu rekonstruieren, wodurch die Konfiguration von Flächen gleicher bzw. die räumliche Anordnung von Flächen unterschiedlicher Qualität sichtbar wird. Aus Flächenqualität und Lage der Flächen zueinander erhält man Kenntnis über die Struktur von Nutzflächengefügen. Die Möglichkeiten der MSD-Klassifikation beschränken sich somit in erster Linie auf eine stofflich-physikalisch determinierte Beschreibung von Flächengefügen.

Der Unterschied zwischen dem Bedarf an einer funktionalen Flächenkennzeichnung (land use) für Zwecke der geographischen Forschung und Territorialplanung und den Möglichkeiten einer primär stofflich-physikalischen Flächenbeschreibung (land cover) durch die Ergebnisse einer MSD-Klassifikation liegt auf der Hand.

3. Methodischer Ansatz: Struktur und Funktion von Nutzflächengefügen

Ein Ansatz zur Ableitung geographisch relevanter FN-Informationen aus klassifizierten MSD kann auf den dialektischen Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion gegründet werden.

Einerseits ist es zweifelsfrei so, daß die heute zu beachtende Struktur von Nutzflächengefügen das Resultat vergangener gesellschaftlicher Nutzung ist, in einem historischen Prozeß herausgebildet wurde und unter dem Einfluß einer historisch auch wechselnden Funktion entstanden ist. Mit Recht darf für diesen Zusammenhang das Philosophenwort "Struktur ist geron-

nene Funktion" /10, 11/ in Anspruch genommen werden. Andererseits ist davon auszugehen, daß die aktuelle Struktur eines Nutzflächengefüges auch die Bedingung und Voraussetzung für aktuelle und zukünftige Nutzungsprozesse darstellt. Das heißt mit anderen Worten, daß die aktuelle Struktur eines Nutzflächengefüges die Funktion der entsprechenden Fläche bestimmt.

Bei bewußter Ausnutzung der dialektischen Einheit von Struktur und Funktion ist die Möglichkeit gegeben, im Sinne einer geographischen Interpretation von einer durch MSD-Klassifikation erkundeten Struktur des Nutzflächengefüges auf die entsprechende Flächenfunktion zu schließen. Allerdings ist dabei von vornherein zu berücksichtigen, daß der Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion nicht trivial und selten eindeutig ist. Es dürfte nicht schwierig sein, Beispiele zu finden, die belegen, daß gleichartige Nutzflächengefüge in einem Territorium doch unterschiedliche Funktionen realisieren. Gleiches gilt sicher auch für den umgekehrten Fall. Diese Einschränkungen unterstreichen jedoch nur die Notwendigkeit, bei geographischen Grundlagenuntersuchungen dem Zusammenhang zwischen der Struktur eines Nutzflächengefüges und einer Funktion größere Aufmerksamkeit zu widmen. Geographische Arbeiten dieser Richtung blieben bisher leider allzuoft bei der analytischen Beschreibung von Nutzflächengefügen bzw. bei den sogenannten Realnutzungskartierungen stehen. Anzuerkennen ist demgegenüber, daß vor allem Flächennutzungskartierungen, die sich besonders auf die Auswertung von Materialien der Geofernerkundung stützen, in hohem Maße die Einheit von struktureller (stofflich-physikalisch) und funktionaler Seite der Kartierungseinheiten berücksichtigen. Dies bringt z. B. auch das LAND USE AND LAND COVER CLASSIFICATION SYSTEM des US GEOLOGICAL SURVEY /12/ sehr anschaulich zum Ausdruck.

4. Ein Verfahren der digitalen Bildverarbeitung zur Kartierung von Nutzflächengefügeklassen

Der oben dargestellte Ansatz kann auf verschiedene Weise genutzt werden, um aus klassifizierten MSD geographisch relevante FN-Informationen abzuleiten.

Eine Möglichkeit der Analyse der Mikrostruktur von Mischpixeln (Aufklärung der sachlichen Differenziertheit stofflich heterogener Bodenelemente) zur Ableitung planungsrelevanter Aussagen wurde von HENKER /4/ dargelegt. Eine methodisch andere Herangehensweise besteht darin, die klassifizierten Pixel bzw. Bodenelemente als homogene Einheiten zu betrachten und ihre räumliche Anordnung, die in einem Mosaik als Makrostruktur zum Ausdruck kommt, zu analysieren. Zu diesem Zweck wurde ein Bildverarbeitungsverfahren entwickelt /3/, das aus klassifizierten MSD (Abb. 2) Merkmale der Inventar- und Arealstruktur in quantitativer Form extrahiert und unter Berücksichtigung dieser Strukturmerkmale das Klassifikationsergebnis nachbearbeitet. Das Verfahren liefert Klassen unterschiedlicher Nutzflächengefüge, die sich durch ihr Inventar bzgl. der Pixelklassen und durch die areale Verteilung bzw. Anordnung des Inventars signifikant voneinander unterscheiden. Jede Gefügeklasse kann durch ein Strukturschema charakterisiert werden.

Als Beispiel (Abb. 3) sei auf ein Nutzflächengefüge verwiesen, das sich durch einen hohen Anteil Flächen lockerer Bebauung und Ackerflächen (Inventar), die u. a. mit flächenmäßig weniger Stadtgrün- und Grünlandflächen ein relativ kompliziertes räumliches Gefüge bilden (Areal), auszeichnet.

In dem nachbearbeiteten Klassifikationsergebnis (Abb. 4) bilden sich die Gefügeklassen als relativ geschlossene räumliche Einheiten ab, die als funktional-räumliche Einheiten höherer Ordnung im Range von Funktionsgebieten interpretierbar sind. Unser Beispiel (Abb. 3) widerspiegelt die Nutzflächenstruktur der Stadtperipherie (Klasse "locker bebaut/Acker" in Abb. 4), die als attraktives Wohngebiet nahezu die gesamte Stadt ringförmig umgibt und sich in Bändern strahlenförmig in westlicher und östlicher Richtung ausbreitet.

Einschätzend läßt sich feststellen, daß dieses Ergebnis (Abb. 4) eine recht gute Übereinstimmung mit den Resultaten geographischer Untersuchungen zur funktional-räumlichen Gliederung

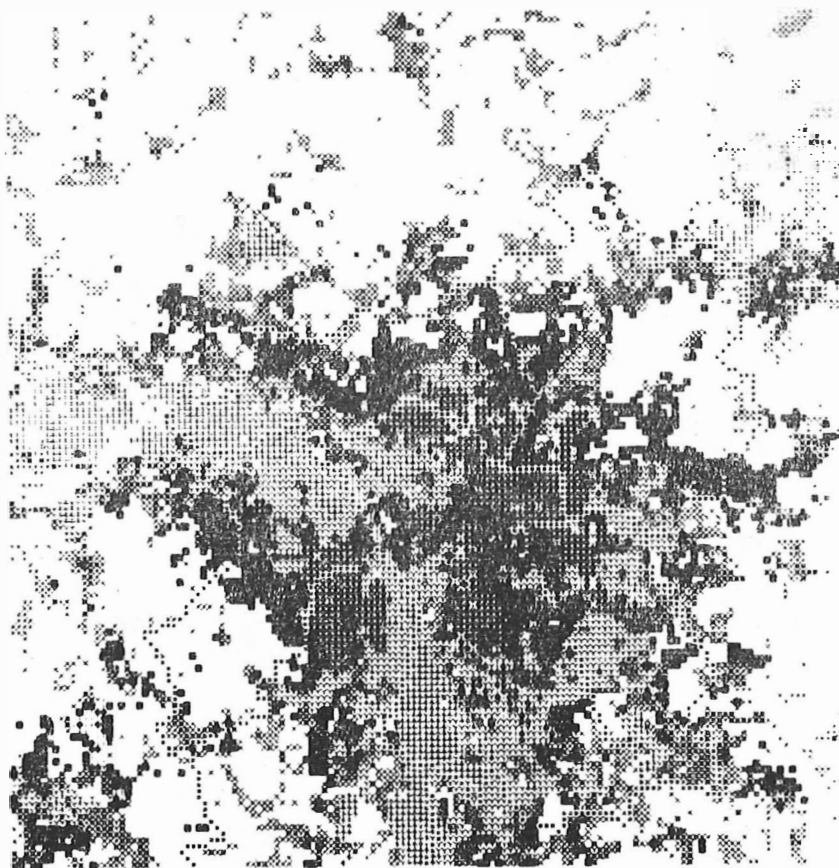


Abb. 2 Ergebnis einer MSD-Klassifikation "Leipzig-Stadt"
Freigegeben unter LFB-Nr. 163/79

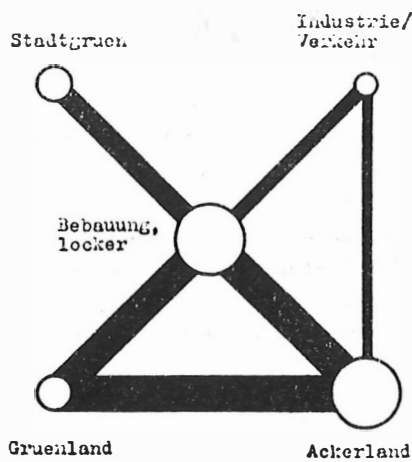


Abb. 3 Nutzflächengefüge als
Strukturschema



Abb. 4 Ergebnis der Nachbearbeitung unter Berücksichtigung von Strukturmerkmalen

derung des Stadtgebietes von Leipzig /15/ zeigt. Die in Kartierungen dieser Type dargestellten Raumeinheiten haben als Bezugs- und Basiseinheiten für weiterführende geographisch orientierte FN-Untersuchungen auf gebietlicher Dimensionsebene besondere Bedeutung. Darüber hinaus ist diese Art der FN-Kartierung gegenüber der Realnutzungskartierung als

eine generalisierte Form der kartographischen Darstellung anzusehen, die auch als methodisches Prinzip für die kartographische Darstellung der FN in kleinen Maßstäben von besonderem Interesse ist.

5. Schlußfolgerungen

Aus den Überlegungen ergibt sich der Schluß, daß ein Fortschritt bei der Nutzung kosmischer MSD in der geographischen FN-Forschung in nicht geringem Maße mit davon abhängt, inwieweit es gelingt, stärker als bisher geographische Aspekte der FN-Problematik der rechnergestützten Auswertung kosmischer MSD zugrunde zu legen und geographische Untersuchungsmethodik bei der Erarbeitung von Algorithmen und Programmen für Bildverarbeitungsprozesse mit einzubeziehen. Ebenso ist es erforderlich, in geographischen Arbeiten zur Theorie und Methodologie der FN ein Niveau anzustreben, das es erlaubt, die potentiellen Vorzüge der digitalen Verarbeitung kosmischer MSD in vollem Umfang zur Geltung zu bringen.

Literatur

- /1/ HAASE, G.: Theoretische und methodologische Grundlagen für die Lösung der Aufgaben des RGW-Themas I.3. In: Informationen der Forschungsleitstelle (für Territorialplanung, 9(1979)3.- S. 9 - 19
- /2/ HAASE, G. u. H. LÜDEMANN: Flächennutzung und Territorialforschung - Gedanken zu einem Querschnittsproblem bei der Analyse und Prognose territorialer Strukturen.- In Geogr. Ber.- 17(1972)1.- S. 13 - 25
- /3/ HENGELHAUPT, U.: Analyse der Struktur von Nutzflächengefügen städtischer Räume auf der Grundlage digital-automatisch dechiffrierter kosmischer Multispektraldaten. Leipzig, IGG der AdW der DDR, Bereich Geofernerkundung/Thematische Kartographie, unveröff. Manuskript, 1984
- /4/ HENKER, S.: Methodische Untersuchungen zur rechnergestützten kartographischen Analyse und Bilanz der Flächennutzung auf der Grundlage kosmischer MS-Aufnahmen.- 1983.- Dresden, TU, Dipl.-Arb.
- /5/ HERRMANN, H.: Zu einigen Fragen der Flächennutzung unter besonderer Berücksichtigung des territorial-organisatorischen Aspektes.- In Wiss. Mitt. des IGG der AdW der DDR, 4(1981).- S. 13 - 19
- /6/ KRAUSE, K.-H.; JÄNCKEL, R.; u. G. ZINKE: Methodische Untersuchungen zur Flächennutzungserfassung und -darstellung in den Maßstäben 1 : 10 000 - 50 000 und Möglichkeiten ihrer Anwendung in der Planungspraxis und in der geographischen Forschung.- 1980.- Halle-Wittenberg, Sektion Geogr., Forsch.-Ber. G 4 (NfD)
- /7/ KRÜNERT, R.: Nutzung von Daten der Fernerkundung in der Geographie.- In Geogr. Ber. 112(1984)3.- S. 153 - 163
- /8/ KRÜNERT, R.: Geographischer Hintergrund für die Untersuchung der Flächennutzung mit Methoden der Geofernerkundung. Wiss. Mitt. des IGG der AdW der DDR.- 5(1981) S. 47 - 56
- /9/ KRÜNERT, R.; HENGELHAUPT, U.; SCHMIDT, I. u. L. SCHUBERT: Geographisch-kartographische Analyse der Flächennutzung nach multispektralen Luftbildern und Satellitenaufnahmen.- In: Petermanns Geogr. Mitt. 127 (1983)3.- S. 181 - 190
- /10/ KOSING, A.: Stichwort Struktur.- In: Philos. u. Naturwiss. Hrsg. H. Hörz; Liebscher, H. u. a. Berlin: 1983.- S. 284 - 286
- /11/ LIEBSCHER, H.: Stichwort Funktion.- In: Philos. u. Naturwiss. Hrsg. H. Hörz; Liebscher, H. u. a. Berlin: 1983.- S. 284 - 286
- /12/ LILLESAND, T. M. u. R. W. KIEFER: Remote sensing and image interpretation.- New York: 1979. S. 119

- /13/ MINC, A. A. u. a.: Ispol'zovanie territorii kak geografičeskaja problema.- In: Izv. AN SSSR, serija geogr.- Moskva 22(1973)4
- /14/ SCHMIDT, I. u. H. STOYE: Großmaßstäbige Flächennutzungskartierung Leipzig-Süd. Leipzig, IGG der AdW der DDR, Bereich Geofernerkundung/Thematische Kartographie, 1984 unveröffentlichtes Manuskript
- /15/ SCHOLZ, D.: Die Siedlungen des Leipziger Landes: ein Beitrag zur Kenntnis der Siedlungsstruktur in großstädtischen Ballungsgebieten.- In: Das Leipziger Land.- Leipzig: 1964.- S. 347 - 380

Ableitung planungsrelevanter Flächennutzungsinformation aus digital-automatisch dechiffrierten kosmischen Multispektraldaten

S. HENKER

1. Problemstellung

Ausgangspunkt für die Hinwendung zum Problem der Ableitung planungsrelevanter Flächen-nutzungs(FN)-Information aus digital-automatisch dechiffrierten kosmischen MS-Daten war die Tatsache, daß die aus solchen Daten entnehmbaren Informationen bislang zu wenig Planungsrelevanz besitzen /1, S. 33/.

Dies offenbart sich vor allem in

- numerischen Ungenauigkeiten,
 - zu geringen inhaltlichen Differenziertheiten und
 - terminologischen Unstimmigkeiten bei der Ansprache
- der interpretierten Daten. Der Grund ist vorwiegend in der bisherigen Interpretationsmethodik zu suchen, weshalb nachfolgend auf eine neue Methode eingegangen werden soll.

2. Ableitung planungsrelevanter FN-Information aus einem digital-automatischen Dechiffrierungsergebnis durch Mischpixelanalyse

2.1. Datengrundlage und Mischpixelanalyse

Als Grundlage für die Ableitung von planungsrelevanter FN-Information diente im vorliegenden Fall das bei /5, S. 189, Abb. 6/ vorgestellte digital-automatische Dechiffrierungsergebnis aus dem Leipziger Raum. Als planerischer Bereich wurde die Generalbebauungsplanung gewählt, denn die dechiffrierten kosmischen MS-Daten entstammen aus einem vorwiegend städtischen Raum.

Da bei den z. Zt. verwendeten geometrischen Auflösungen von Satellitensystemen die Existenz von Mischpixeln sich insbesondere in gesellschaftlich intensiv genutzten Gebieten, wie z. B. städtische Räume häuft /3, S. 37, 4, S. 7/, richteten sich die Überlegungen darauf, diese einmal näher zu analysieren. Bisher ist eine Analyse der Mischpixel, die im digital-automatischen Dechiffrierungsergebnis in bestimmten Mischpixelklassen verkörpert sind, bezüglich ihres Gehaltes an FN-Information stets umgangen worden, obwohl ihr Vorhandensein allgemein bekannt ist. So wurde hier nun mittels einer mathematisch-statistischen Analyse, der sogenannten Mischpixelanalyse, der Gehalt der Mischpixelklassen an solcher FN-Information bestimmt, die bezüglich der Problemstellung planungsrelevanten Charakter trägt.

Die Qualität des Gehaltes an FN-Information wurde durch die nachfolgend aufgeführten 11 planungsrelevanten FN-Arten bestimmt, während sich die Ermittlung der Quantität auf mathematisch-statistischem Wege vollzog.

1. fließender und ruhender Kfz-Verkehr
2. Eisenbahnverkehr
3. versiegelte Höfe

4. Wohngebäude
5. Industriegebäude
6. Lagerflächen
7. Stadtgrün (Parks, Friedhöfe, Kleingärten)
8. Wald
9. Gewässer
10. Ertragsflächen I (Grünland)
11. Ertragsflächen II (Ackerland)

Aus den Ergebnissen der Mischpixelanalyse heraus ließ sich nun die qualitative und quantitative Zusammensetzung jedes Bildelementes über seine zugehörige digital-automatisch dechiffrierte Klasse ermitteln. So setzt sich z. B. ein Bildelement der Klasse "dichte Bebauung" im Durchschnitt zu 28 % aus Flächen des fließenden und ruhenden Kfz-Verkehrs, zu 15 % aus Eisenbahnverkehrsflächen, zu 24 % aus Wohngebäudeflächen, zu 13 % aus versiegelten Hofflächen, zu 7 % aus Industriegebäudeflächen, zu 11 % aus Stadtgrünflächen und zu 2 % aus sonstigen Flächen zusammen. Da aber in der Generalbebauungsplanung nicht das Bildelement, sondern solche Flächen wie die administrative Stadtfläche, die Stadtfunktionsfläche, Baugbietsflächen, Freiflächen usw. für den räumlichen Bezug verwendet werden /2/, ist eine Übertragung derartiger planungsrelevanter räumlicher Bezugsgrundlagen in die Bildmatrix des digital-automatischen Dechiffrierungsergebnisses notwendig.

Für den vorliegenden Fall wurde mit dem Stadtkreis Leipzig und seinen sieben Stadtbezirken eine mögliche Form von den o. g. Bezugsgrundlagen vereinbart und durch Digitalisierung auf Bildelementflächenbasis anschließend in die Bildmatrix übertragen.

2.2. Ableitung von Bebauungs- und Begrünungsindizes

Nach dem Vollzug des zuletzt genannten Schrittes konnten nun für alle vereinbarten administrativen Einheiten die anteilmäßigen Zusammensetzungen an den festgelegten 11 planungsrelevanten Nutzungsarten berechnet und daraus einige Bebauungsindizes abgeleitet werden (Tab. 1, Spalte 1).

Über die in Tabelle 1, Spalten 2 und 3 dargestellten Verknüpfungen zwischen einigen Nutzungsarten waren weitere in der Generalbebauungsplanung verwendete Bebauungsindizes, wie z. B. der Verkehrsflächenindex, sowie auch Begrünungsindizes, wie z. B. der Erholungsflächenindex, ableitbar.

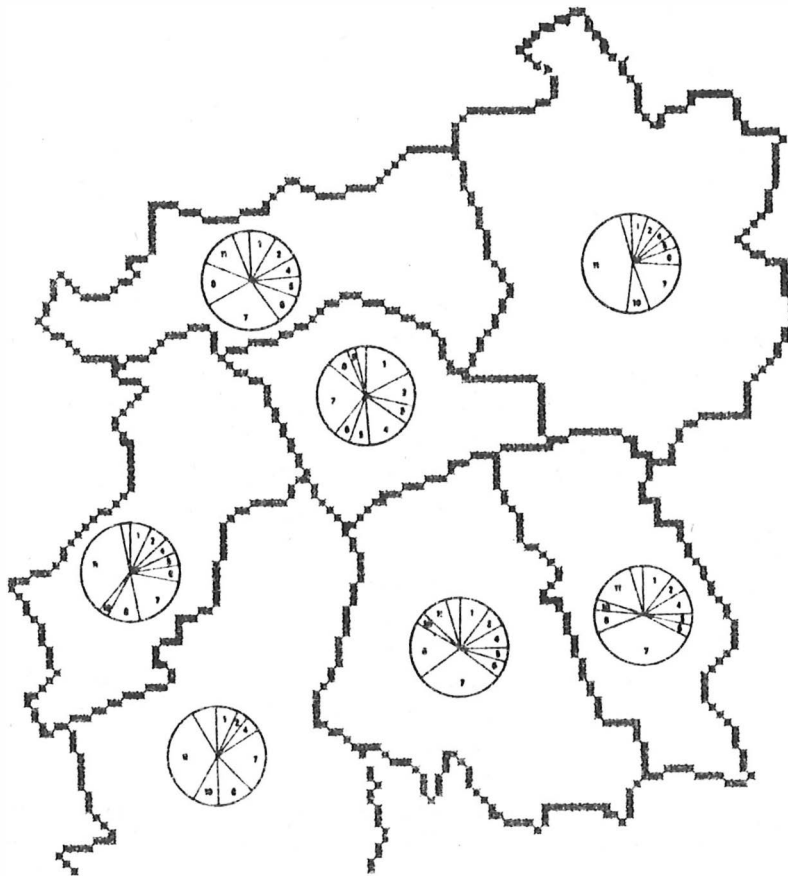
Tab. 1 Planungsrelevante Nutzungsarten und daraus ableitbare Bebauungs- bzw. Begrünungsindizes

1	2	3
1. <u>Flächen des fließenden und ruhenden Kfz-Verkehrs</u>	<u>Verkehrsflächen</u>	} <u>Baugebietsflächen</u>
2. <u>Eisenbahnverkehrsflächen</u>		
3. <u>versiegelte Hofflächen</u>		
4. <u>Wohngebäudeflächen</u>	<u>Industrieflächen</u>	} <u>Baugebietsflächen</u>
5. <u>Industriegebäudeflächen</u> und ind. Anlagen		
6. Lagerflächen	<u>Erholungsflächen</u>	} <u>Freiflächen</u>
7. Stadtgrünflächen		
8. Waldflächen		
9. Gewässerflächen	<u>Ertragsflächen</u>	} <u>Freiflächen</u>
10. Ertragsflächen I (Grünland)		
11. Ertragsflächen II (Ackerland)		

----- Nutzungsarten, aus denen Bebauungsindizes ableitbar sind
 ----- Nutzungsarten, aus denen Begrünungsindizes ableitbar sind

2.3. Flächenbilanzierung

Außerdem ließ sich aus den Ergebnissen o. g. Berechnungen eine Flächenbilanz für alle vereinbarten administrativen Einheiten erstellen. Abb. 1 zeigt die Bilanzen von 11 Nutzungsarten für die sieben Stadtbezirke Leipzigs mit ihrer räumlichen Bezugsgrundlage.



1=VERK. - STRASSEN	2=VERK. - SCHIENEN	3=HOEFFE. VERSIEG.	4=WOHN- GEBAUDE	5=INDU. - GEBAUDE	6=INDU. - LAGERFL.
7=STADT- GRUEN	8=WALD	9=WASSER	10=GRUEN LAND	11=ACKER LAND	12=GRENZE

Abb. 1 Flächenbilanz für planungsrelevante Nutzungsarten (Leipzig nach Stadtbezirken)

Mit diesem auf analysierter Mischpixelinformation beruhenden Bilanzergebnis konnte vor allem aus planerischer Sicht eine zweifellos neue Qualität gegenüber anderen auf digital-automatisch dechiffrierten kosmischen MS-Daten basierenden Bilanzierungen, wie z. B. bei /1, S. 87 ff., 6/ zu finden, erreicht werden. Diese neue Qualität drückt sich nicht nur in erstmals daraus entnehmbaren planungsrelevanten Bebauungsindizes, wie z. B. dem Wohngebäude-flächenindex von Stadtbezirken einer Großstadt aus (siehe Abb. 2, Zahlencode Nr. 4), sondern auch in einer planungsrelevanteren terminologischen Ansprache der Bilanzinhalte.

Über die 11 bilanzierten Nutzungsarten wurde eine höhere inhaltliche Differenziertheit erreicht als mit den beispielsweise acht Nutzungsarten in /1/. Außerdem sind die numerischen Genauigkeiten mit größerer Exaktheit behaftet, da über das analysierte Mischpixel in die Berechnung Nutzertenanteile eingegangen, die in ihrer räumlichen Ausdehnung weit unter dem Naturmaß des gesamten Bildelementes liegen.

3. Kartographische Darstellung der abgeleiteten FN-Information

Den Planungsanforderungen nach kurzen Kartenbearbeitungsfristen entsprechend, sind für die kartographische Umsetzung der abgeleiteten Bebauungs- und Begrünungsindizes rechnergestützte Ausgabeformen mittels Schnelldrucker realisiert worden.

Beispielsweise wird aus Abb. 2 die räumliche Verteilung des bildelementweisen Erholungsflächenindex über den Stadtkreis ersichtlich. Derartige Darstellungen erlauben eine konkrete Analyse der räumlichen Verteilung von bestimmten Bebauungs- und Begrünungsindizes innerhalb einer zu untersuchenden planungsrelevanten räumlichen Bezugseinheit. Sie sind für die Erschließung von Überblicksinformation mit hohem Aktualitätsgrad gedacht und können als Hilfsmittel zu planerischen Entscheidungsfindungsprozessen herangezogen werden.

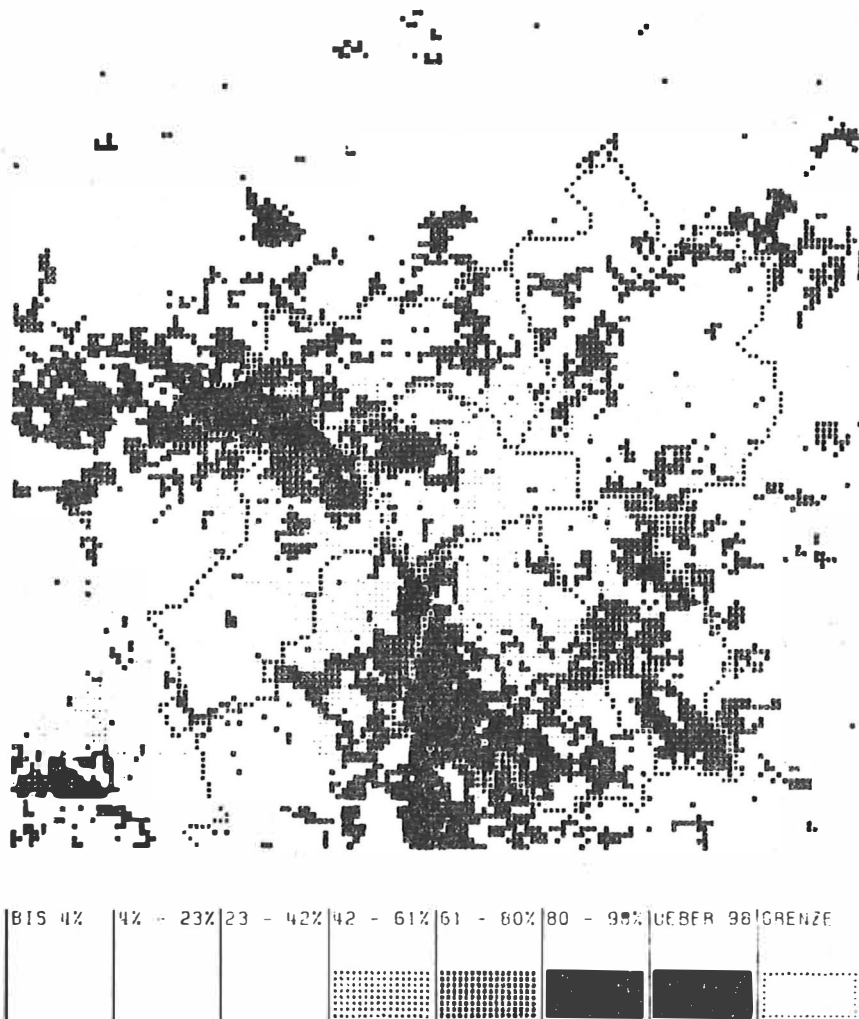


Abb. 2 Kennziffern der Erholungsflächen Leipzig-Stadt nach Bodenelementen
LFB-Nr. 163/79

4. Schlußfolgerungen

Anhand abgeleiteter Bebauungs- und Begrünungsindizes aus dem Bereich der Generalbebauungsplanung und dem Ergebnis einer Flächenbilanzierung wurde in der DDR erstmals der Nachweis erbracht, daß unter bewußter Ausnutzung des Informationsgehaltes der Mischpixel ein direkter Bezug zwischen verarbeiteten kosmischen MS-Daten und planungsrelevanter FN-Information hergestellt werden kann. Gleichzeitig stellt die Methode der Mischpixelanalyse einen neuen möglichen Weg der MS-Dateninterpretation dar.

Mit einer abschließenden rechnergestützten kartographischen Darstellung wird eine hohe Effektivität innerhalb der gesamten technologischen Kette der Gewinnung von planungsrelevanter FN-Information aus kosmischen MS-Daten erreicht.

Literatur

- /1/ AUTORENKOLLEKTIV: Auswertung von Satellitenaufnahmen zur Gewinnung von Flächennutzungsdaten.- In: Schriftenreihe des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau - Raumordnung.- Bonn - Bad Godesberg (1979)O.039
- /2/ BERGELT, K.: Flächennutzung der Städte.- In: Schriftenreihe Städtebau und Architektur; Bauinformation der DDR.- Berlin(1975)64
- /3/ BODECHTEL, J.: Derzeitige Möglichkeiten und Grenzen automatischer Landnutzungsinterpretation. In: Auswertung von Satellitenaufnahmen zur Gewinnung von Flächennutzungsdaten In: Schriftenreihe des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau - Raumordnung.- Bonn - Bad Godesberg (1979)O.039
- /4/ HENKER, S.: Methodische Untersuchungen zur rechnergestützten kartographischen Analyse und Bilanz der Flächennutzung auf der Grundlage kosmischer Multispektralaufnahmen.- 1983.- Dresden, Dipl.-Arb.
- /5/ KRÖNERT, R.; HENGELHAUPT, U. u. a.: Geographisch-kartographische Analyse der Flächennutzung nach multiepektralen Luftbildern und Satellitenaufnahmen.- In: Petermanna Geogr. Mitt. (1983)3
- /6/ Land Cover Map From Landsat, 1973, With Place Names.- Washington: Urban Area, D. C., MD.; and VA. US Geol. Survey, 1978.

FERNERKUNDUNG ALS METHODE DER LANDSCHAFTSANALYSE

Lösungsansätze und Probleme der physischgeographischen Landschaftsforschung mit Fernerkundungsdaten

H. KUGLER

1. Einleitung

Publikationen und in anderer Form vorgelegte Arbeitsergebnisse wie die Vorträge dieser Tagung zeigen die Fortschritte der Nutzung von Fernerkundungsdaten (FED) bei der Analyse, Beurteilung und Überwachung der Landschaft.

Die Ansätze und Lösungswege sind vielfältig. **Ausgeprägte Schwerpunkte sind die Erfassung von Nutzflächenklassen, von land- und forstwirtschaftlichen Kulturen nach Art und Zustand, von Boden-, Relief- und Bodenerosionsmerkmalen ausgewählter Ackerflächen und schließlich von Überflutungsarealen hochwasserbeeinflusster Flußauen. Obarwiegend verwendet werden Daten aus multispektralen, Farbinfrarot- und panchromatischen Luftbildern und aus multiepektralen fotografischen und mit Spegnern gewonnenen kosmischen Aufnahmen; d. h. Daten, wie**

Die unter Nutzung des visuellen und des nahinfraroten Spektralbereichs der elektromagnetischen Strahlung gewonnen werden. Vor dem Hintergrund breiter entwickelter analoger Auswertung der FED durch visuelle Verfahren und mit gerätegestützten optisch-mechanischen, optisch-elektronischen und fotografischen Techniken haben sich gute Lösungsansätze zur Nutzung digitalautomatischer Datenauswertung entwickelt.

Dieser erreichte Stand gestattet und erfordert eine Gegenüberstellung der Aufgaben und Ziele der Landschaftsforschung und der bisher erkannten und genutzten Möglichkeiten der Fernerkundung mit Blick auf langfristig tragfähige Arbeitsansätze für die Lösung stehender Aufgaben. Die Darstellung von Grundtatsachen bei der Abbildung bestimmter wesentlicher Merkmale der Landschaft und ihrer Elemente durch dechiffrierbare und interpretierbare Merkmale der Fernerkundungsaufzeichnungen (FEA) erscheint über die allgemeine Bedeutung hinausgehend wichtig als Ausgangsbasis für automatisierte Auswertung von FED. Diese hängt ab von eindeutigen Objekt-Abbild-Beziehungen und zuverlässigen Interpretationsalgorithmen und ist vor allem dort effektiv, wo auf größere Flächen bezogene wichtige Informationen schnell und in zeitlicher Folge bereitzustellen sind.

2. Objekt und Aufgabe

Objekt der physischgeographischen Landschaftsforschung ist die Landschaftesphäre mit ihren Landschaften und ihren gesellschaftlich wichtigen natürlichen Ressourcen für die Realisierung der Nutzungsansprüche durch Produktion und Verkehr, Wohnen und Erholung.

Inanspruchnahme der natürlichen Ressourcen durch Flächennutzung in Vergangenheit und Gegenwart hat zur Herausbildung unserer realen Kulturlandschaft mit ihren vielfältig anthropogen beeinflussten und veränderten Ökosystemen und den natürlichen Gunst- und Störfaktoren für die Nutzung unter den oben genannten Aspekten geführt.

Geographische Landschaftsforschung (vgl. Abb. 1) erfaßt die Landschaften in ihren konkreten räumlichen Dimensionen und mit ihrem Geosystemcharakter. Dieser wird bestimmt durch die allgemeinen Stoff- und Prozeßkomponenten und die arealen Teilglieder der Landschaften sowie durch deren vielfältige allgemeine und areale Interaktionen. Mit der Analyse der kurz- und längerfristigen zyklischen und progressiven Wandlungen geht sie zeitbezogen vor. Mit der ökologischen und in weiterem Sinn ökonomischen Auffassung und Beurteilung der Landschaften mit ihrem Inventar und ihren zeitlichen Wandlungen erfaßt sie diese funktionsbezogen speziell unter dem Aspekt der Produktions- und Lebensgrundlagen der Gesellschaft.

Mit diesen Fragestellungen ist Landschaftsforschung ein wesentlicher Teil geographischer Umweltforschung. Sie bedarf eines ausreichenden Fundus an flächenbezogenen Daten über Zustände und zeitliche Veränderungen, die wiederum Grundlage sind für Erkenntnisentwicklung und Modellbildung und zusammen mit diesen für geplante Nutzung und Gestaltung der landschaftlichen Umwelt sowie für Landschaftsdiagnosen und Gebietstypisierungen unter ökonomischen und ökologischen Aspekten.

Innerhalb dieses Aufgabenrahmens zeichnen sich gegenwärtig einige Schwerpunkte der Grundlagenforschung ab. Zu ihnen gehören

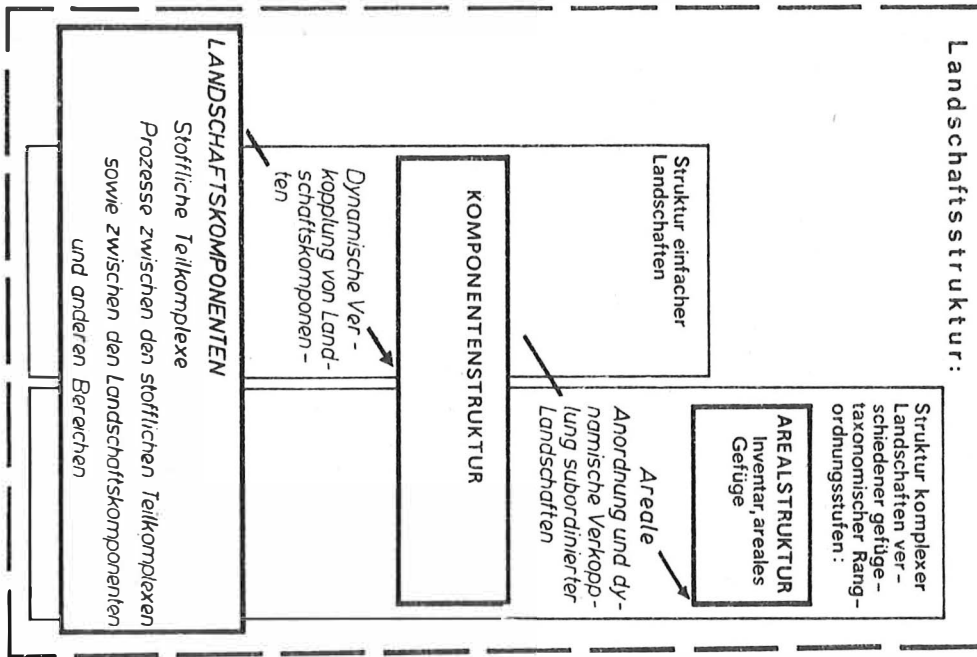
- die messende, quantifizierende Analyse stofflicher und dynamischer Komponenten der Landschaft sowie arealer Stoffumlagerungen bis hin zu Ansätzen zur quantitativen Erfassung ganzer landschaftlicher Geosystemkomplexe /vgl. 12, 13/.
- die Analyse der landschaftlichen Arealstruktur nach Inventar-, Gefüge- und Prozeßmerkmalen /vgl. 5, 6, 4, 17/.
- die komplexe Diagnose der landschaftsgebundenen gebietlichen Reproduktionsbedingungen /vgl. 14, 15/.

Regionale Wandlung der natürlichen und gesellschaftlichen determinierenden Faktoren
(Regionaler Fazieswandel)

Regionale Wandlung der Landschaften

Zeitliche Wandlung der natürlichen und gesellschaftlichen determinierenden Faktoren
(Zeitlicher Fazieswandel)

Funktion der Landschaften und ihrer Komponenten
Gesellschaftliche (Humanökologische, soziologische, ökonomische) Bedeutung, Ressourcenfunktion, Biökologie, Bedeutung



Zeitliche Veränderung der Landschaft (Genese, zukünftige Weiterentwicklung)

Spezielle Strukturmerkmale

Allgemeine Strukturmerkmale

Landschaftskomponenten- und komplexbezogenes Inventar an subordinierten Landschaften und kleinsten elementaren landschaftlichen Komplexen (Art/Qualität, Anzahl, Verteilung, Heterogenität/interner Kontrast);
Arealer Gefügestil (areale Anordnung u. dynamische Verkopplung subordinierter Landschaften, kleinster landschaftlicher Komplexe, und deren Komponenten

Komponenteninventar (Art/Qualität),
allgemeiner dynamischer Gefügestil

D y n a m i k (Art/Qualität, Intensität) von Objekten, Merkmalsarealen

z. B. des Bodens, des Reliefs, des Grundwassers, des Wasser-, Stoffhaushalt der Landschaft;

Bodenerosive Stoffumlagerungen u.a.

S t o f f l i c h e A u s b i l d u n g von Objekten

z. B. des Bodens, des Oberflächenwassers u.a.

areal heterogene stoffliche Komponentenausbildung u.a.

F o r m (Gestalt, Größenausmaße) von Objekten, Merkmalsarealen

z. B. des Georeliefs, der Wasserkörper von Seen u.a.

z. B. Grundriformgestalt, Flächenausdehnung d. Landschaften u. deren Merkmalsarealen

A r e a l e V e r b r e i t u n g, H ä u f i g k e i t von Objekten, Merkmalsarealen

von Komponenten, Landschaften u. deren Merkmalsarealen

L a g e von Objekten, Merkmalsarealen

der Komponenten (z. B. Böden, Relief-formen u.a.)

der Landschaften u. ihrer Komponenten, von Merkmalsarealen (z. B. v. grundvernahten Arealen, Prozessfeldern d. Bodenerosion)

Abb. 1 Landschaftsmerkmale

Gegenwärtig vorwiegend auf Agrarräume konzentriert, beginnen sich solche Arbeiten urbanen Räumen zuzuwenden und sind sie nach wie vor auch auf Flußeinzugsgebiete bezogen wichtig.

Methodische und Erkenntnisfortschritte sind heute gebunden an eine Innovation der Analysetechniken, speziell der Feldmeßtechnik sowie an den Ausbau der Labortechnik und den gezielten Einsatz der Fernerkundung und schließlich an die Speicherung und Verarbeitung entsprechender territoriale bezogener Daten in EDVA sowie, in Verbindung mit solchen, an die Erzeugung und Bereitstellung aktueller maschinell erzeugter Karten mit volkswirtschaftlich wichtigen Daten.

3. Landschaftsforschung und Fernerkundung

Spätestens seit TROLL (1939) /22/ ist der Wert der Luftbildnutzung für geographische Landschaftsforschung erwiesen. Die wesentlich erweiterten vielfältigen Möglichkeiten moderner Fernerkundung auch im Rahmen geographischer Landschaftsforschung sind in monographischen Darstellungen /26, 21, 23/ und zahlreichen speziellen Arbeiten dargestellt und kommen auch in den Beiträgen dieses Bandes zum Ausdruck.

Mit ihren Möglichkeiten der synchronen Aufzeichnung von Meßdaten für zusammenhängende Areale und der Wiederholung der Aufnahmen in zeitlicher Folge erfüllt die Fernerkundung wesentliche Forderungen der geographischen Landschaftsforschung nach flächendeckenden Daten, vor allem für die Erfassung arealer stoff- und prozeßgebundener Strukturen und Differenzierungen und zeitlicher Wandlungen. Dabei kommt der Oberflächenbezug der direkten Informationen der FED der Erfassung des landschaftlichen Hauptstockwerkes im Sinne von RICHTER (1979) /15/ entgegen und lassen erschließbare indirekte Informationen auch Aussagen über Oberflächen-Untergrund-Beziehungen zu.

Geofernerkundung ist bei gezieltem Einsatz vor allem als flächen- bzw. arealbezogene Methode effektiv. Sie liefert flächendeckende Meßdaten über Oberflächenmerkmale bzw. Merkmalsareale der Landschaften und ihrer Komponenten insoweit, als diese durch aufgezeichnete Remission und Emission von Strahlung erfaßt und abgebildet bzw. repräsentiert werden. Mit zeitlichen Aufnahmesequenzen werden bestimmte zeitliche Wandlungen von Stoff- und Raum-Merkmalen erfaßter Objekte und damit bestimmte Erscheinungsformen der Landschaftsdynamik direkt faßbar. Ebenso wie landschaftsogenetische Vorgänge bildet sich Dynamik in einmaligen Aufnahmen nur begrenzt durch Indizien, prozeßabhängige Zustandsmerkmale (z. B. Oberbodenmächtigkeit und -feuchtigkeit), Prozeßspuren (z. B. Spülfurchen, Erdfälle) sowie durch dynamisch interpretierbare Catenen und areale Muster (z. B. Catenen an konvex-konkaven Erosions-Sedimentations-Hängen; abtragungsbedingte dendritische Muster) von Prozeßfeldern ab. Funktionelle Zusammenhänge sind mit Hilfe ausreichender Sachkenntnis partiell erschließbar aus abgebildeten Lagezusammenhängen erfaßter Objekte und Merkmale und aus der zeitlichen Wandlung solcher räumlich zusammenhängender landschaftlicher Phänomene. Prinzipiell unproblematisch ist die Bestimmung der Lage, der arealen Verteilung und Häufigkeit sowie der Flächenausdehnungen erfaßter Erscheinungen.

Generelle Grenzen gesetzt sind der Fernerkundung bekanntlich dort, wo Aufnahmedistanz und geometrische Auflösung die Erfassung unter der Auflösungsgrenze liegender Objekte und Merkmalsareale ausschließen und dort, wo sich Objekte und Merkmale nicht durch geometrische Informationen in den Aufzeichnungen unterscheiden lassen.

In unserer Kulturlandschaft sind Gebäude, Straßen, befestigte Freiflächen und andere technisch gebaute Objekte, die Kulturvegetation der Agrar-, Forst- und Siedlungsflächen, sonstige Vegetation und die Oberflächengewässer die häufigsten Objektkategorien der Erdoberfläche. Boden und Gestein treten nur örtlich und zeitweilig unbedeckt zutage. Diese Tatsache hat zur Folge,

- daß kleine Reliefformen und Böden, Gesteine unter Wald-, Wasser-, künstlicher Bedeckung und Überbauung in der Regel nicht durch FED erfaßbar sind;
- daß Böden und Gesteinseubeträge nur kurzzeitig im Jahr und niemals flächendeckend und unbeeinflußt direkt erfaßbar sind und daß bei ihrer Erfassung meist die Indikationsfunktion der Vegetation und deren Anteil an Remission und Emission mit zu nutzen sind;
- daß Merkmale des Unterbodens und tieferer Bereiche der oberflächennahen Erdkruste nur im Rahmen ihrer Abbildung durch Oberflächenmerkmale auf der Basis geklärter Kausalzusammenhänge erfaßbar sind;
- daß in den Aufzeichnungen areale Strukturen der Flächennutzung solche Strukturen natürlicher Genese diskordant - seltener kongruent - überlagern.

Abhängig von den erfaßbaren Remissions- und Emissionsunterschieden lassen sich die erfaßten Objekte und Merkmale klassifizieren. Die so möglichen gebildeten Klassen sind in der Regel nicht identisch mit gewohnten Klassifizierungsergebnissen nach wissenschaftssystematischen und zweckorientierten Klassen. Deshalb sind anschließende Transformationsprozesse unter Zuhilfenahme ergänzender Daten aus anderer Quelle nötig, sofern sich nicht nach kritischer Überprüfung der Notwendigkeit traditionell gewohnter Klassenbildungen in bestimmten Fällen die unmittelbare Nutzung der mit FED möglichen Klassifizierungen als zweckmäßiger darstellt.

4. Abbildung von Landschaftsmerkmalen und methodische Interpretationsansätze

Ausgehend von den auswertbaren Merkmalen und Informationsträgern der Fernerkundungsaufzeichnungen lassen sich bezogen auf interessierende Merkmale der Landschaft bestimmte Dechiffrierungs- und Interpretationsansätze, in Abb. 2 am Beispiel der Luftbildinterpretation mit teilweiser Übertragbarkeit auf die Auswertung anderer FEA gezeigt, herausstellen /vgl. 10/. Gegenwärtig überwiegt die Nutzung der spektralen bzw. radiometrischen Informationen. Der durch die Photogrammetrie seit langem vorgezeichnete und auch in der Fotogeologie und der Geomorphologie /vgl. 3/ bekannte geometrische formbezogene Interpretationsansatz ist u. a. wegen der Rolle des Regelfaktors Relief bei allgemeinen und arealen Strukturzusammenhängen in der Landschaft auch bei der komponenten- und komplexbezogenen Landschaftsanalyse stärker zu beachten. Gleichfalls bietet die Bildmuster- und -texturanalyse gute und bisher nicht ausgeschöpfte Möglichkeiten zur Erfassung auch solcher Landschaftsmerkmale und -objekte, die durch zeitlich variable, oft durch Mischsignale bestimmte Dichtewerte allein nicht sicher faßbar und unterscheidbar sind.

Die radiometrischen Informationen sind meist mehrdeutig, und ihre Auswertung bedarf in der Regel gezielt gewonnener Referenzdaten durch Spektrometrie, Fototests, Laboranalysen und andere Methoden /vgl. u. a. 16/. Mathematisch-statistische Bearbeitung multispektraler Datensätze erweitert die Aussagemöglichkeiten /vgl. 19/. Mit Hilfe des "spektralen Ansatzes" gelangen vor allem mit multispektralen Luftbildern die Erfassung und Kartierung von Oberbodenmerkmalen, bodenerosiver Oberbodenveränderungen, Naßstellen, Kulturpflanzenbeständen und Flächennutzungsklassen /vgl. 16, 19, 2, 8, 10/ als wesentlichen landschaftlichen Zustandsmerkmalen und Prozeßzeugen. Erfolgreich wurde automatisierte Klassifikation von Kulturarten und Flächennutzungsarten durchgeführt /vgl. 8, 1/.

Interpretationsprobleme entstehen durch schwer oder nicht trennbare konforme oder konträre Einflüsse auf entstehende Mischsignale (z. B. Humus, Feuchte und Vegetation, Substrateigenfarbe, Düngemittel) und durch das Zusammenspiel langfristig konstanter (Substrat, Humus) und kurzfristig variabler (Feuchte, Vegetation) Faktoren zum Aufnahmezeitpunkt. Multitemporale Ansätze und Nutzung reliefbezogener geometrischer Bildinformationen können hier helfen. Gängbar für bestimmte Fragestellungen erscheint auch der u. a. von VINOGRADOV und VERSTAPPEN gezeigte Weg, areale landschaftliche Komplexe ganzheitlich mit bewußter Ver-

Informationsträger → Direkt oder indirekt repräsentierte Landschaftsmerkmale

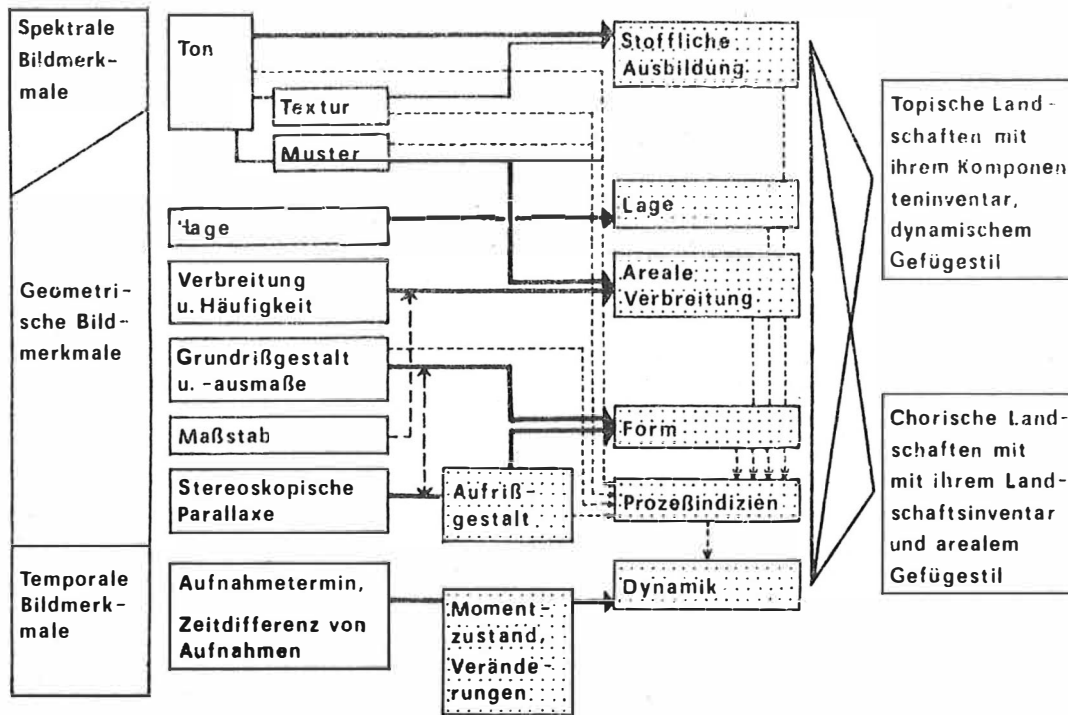


Abb. 2 Landschaftsrepräsentation mit fotografischen FE-Aufzeichnungen (vereinfachte Auswahl)

wendung der Mischsignale zu erfassen. Er gewinnt bei der Auswertung kosmischer Aufnahmen mit geringerer Bodenauflösung für die Erkundung chorischer Landschaften zweifelsohne an Bedeutung.

Die Merkmale der von der geometrischen Auflösung abhängigen und durch das klein- und großräumig differenzierte spektrale Verhalten der Objekte entstehenden, von absoluten Dichtewerten generell unabhängigen flächigen Dichtestrukturierung als Textur und Muster in den FEA repräsentieren in der Regel über längere Zeiträume konstante und mit größerer Sicherheit und Eindeutigkeit erfassbare Landschaftsmerkmale. Durch geometrische und radiometrische Parameter beschreibbar /7/, ermöglichen sie die Bestimmung und Kartierung von Nutzflächen und land- und forstwirtschaftlichen Kulturen, von naturnahen Pflanzengesellschaften, Bebauungsstrukturen, arealen Nutzungsstrukturen und schließlich auch von relief- und bodengebundenen natürlichen landschaftlichen Arealstrukturen /vgl. 3, 10/, wie sie u. a. von SCHMIDT und DIEMANN (1974) /18/ mit Bezug auf die landwirtschaftliche Nutzfläche formuliert wurden. Auf die Erkennbarkeit solcher Muster hat wiederum die Art der landwirtschaftlichen Kulturen Einfluß /16/.

Mittels Bildmusteranalyse lassen sich lithologisch, technisch oder landschaftsdynamisch bedingte Arealstrukturen /vgl. 11, 24, 20/ und mit solchen verbundene Kontraste innerhalb heterogen gestalteter arealer Landschaftsausschnitte (chorische Naturraumeinheiten, Schläge der landwirtschaftlichen Nutzfläche /vgl. 24/ erfassen und weitergehende Aussagen über im Muster angezeigte laterale Prozeßzusammenhänge in der Landschaft treffen.

Störungen innerhalb regelmäßiger Bildtexturen und -muster sind häufig als natürlich oder anthropogen verursachte Störeinflüsse im Objektbereich interpretierbar.

Zeitliche Musterveränderungen können als zeitweilige saisonale oder längerfristige Veränderungen im Geosystem interpretiert werden.

Während deutliche Fortschritte bei der automatisierten Texturerfassung (z. B. Kulturarten; s. Beitrag von SÜLLNER, SIEBERT u. SCHMIDT in diesem Heft) zu verzeichnen sind, konzentriert sich die gerätegestützte und automatisierte Musteranalyse bisher auf die Extraktion linearer Musterelemente (Nutzflächengrenzen; geotektonische Lineationen) und bietet sich für die flächige Mustererfassung bisher kein brauchbarer Ersatz für die visuell-analoge fachwissensochäftliche Interpretation an.

Vielfältige, weitgehend eindeutige und von absoluten Dichtewerten weitgehend unabhängige Informationen erbringt die Auswertung der geometrischen Informationen der FEA, speziell die stereoskopische Auswertung mit ihren bekannten Vorzügen; die bis hin zu kosmischen fotografischen Aufnahmen mit Gewinn nutzbar ist. Unschwer erfaßbar mit ihrer Hilfe sind Grund- und Aufrißkonfiguration, Arealauadehnung und -enteile, Verteilung und Häufigkeit von Objekten und Merkmalsarealen, Lagemerkmale und speziell die Position landschaftlicher Phänomene im dreidimensionalen räumlichen Lage- und Prozeßzusammenhang sind gut bestimmbar. Stereokartierung des künstlichen und gebauten Reliefs ermöglicht Ableitungen unter gelände- und stadtklimatologischen Aspekten. Kartierung geomorphologischer Objekte und deren zeitliche Veränderung ermöglicht über deren Erfassung hinausgehende Aussagen über geomorphologische Landschaftsdynamik (z. B. Erdfallentwicklung, Entwicklung von Erosionsschluchten oder Rutschungen an Halden /vgl. 9, 3/). Digitale automatisierte Interpretation erscheint unter diesen Aspekten möglich durch Adaption photogrammetrischer Verfahren und Programme.

Zweifelsohne erfordert landschaftsbezogene Auswertung der FED in der Regel kombinierte bis komplexe Interpretationsansätze wie Dichte- und Texturanalyse bei der Kartierung von Nutzflächen; Kulturarten oder Pflanzengesellschaften sowie temporale Analyse nach Dichte- und Musterkriterien bei der Analyse zeitlich veränderlicher Varnässungs- und Bodenerosionsareale. Bei der struktur- und funktionsbezogenen Analyse der Flächenausstattung der LN mit landeskulturell wesentlichen Flurelementen mit ihren vielfältigen landschaftsökologischen Funktionen (Habitatfunktion, Geländeklima, Einfluß auf Bodenabtrag und -sedimentation) wie gehölzbestandenen Feldrainen, gehölzumsäumten und wassergefüllten Restlöchern sind geometrische, spektrale und temporale Interpretationsansätze gemeinsam wichtig (vgl. Poster von GASSERT und WALDENBURGER auf dieser Tagung). Erfolgreich genutzt wurden komplexe Interpretationsansätze durch VILLWOCK /24/ bei der Schaffung achlagbezogener großmaßstäbiger thematischer Betriebskarten für die Landwirtschaft mit dem Ausweis wichtiger ertragsbeeinflussender Standortbedingungen.

Abgesehen von seiner Verwendung im Rahmen der Flächennutzungskartierung mit FED wurde der u. a. von VINOGRADOV empfohlene und dargestellte mehretägige Ansatz der Fernerkundung durch kombinierte Nutzung von Luftbildern und kosmischen Aufnahmen bei uns noch nicht in breitem Umfang erprobt. Einige Aspekte lassen ihn wichtig und förderlich erscheinen:

- regionale Einordnung von Testgebieten, Vergleiche großmaßstäbiger Aufnahmen und Interpretationen in einzelnen Untersuchungsgebieten mit Hilfe geeigneter Informationen aus beiden Aufnahmegruppen;
- Extrapolation von Schlüsselgebieten, Etalonflächen auf große Areale;
- Herausarbeitung des Informationsverlustes und des Informationsgewinnes in kosmischen Aufnahmen gegenüber Luftbildern, z. B. für die großräumig vergleichende Bodenerosionserfassung unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Kulturarten oder die Analyse kausaler Bindungen landschaftlicher Strukturen an strukturgeologische Bedingungen;

- Heräusarbeitung tragfähiger Ansätze und Zielstellungen für die landschaftsbezogene praxisorientierte Nutzung kosmischer FED einschließlich der Nutzung ausgewählter, mit großmaßstäbigen Luftbildern und Bodenenschlußmessungen zu kontrollierender Schlüsselgebiete als notwendige wissenschaftliche Grundlegung für die effektive Nutzung eines operativen Systems der Fernerkundung mit kosmischen Aufnahmen.

5. Stand und weitere Aufgaben der fernerkundungsgestützten Landschaftsforschung

Wie schon eingangs erwähnt, wurden gute Fortschritte erzielt bei der Erkennung und Kartierung von Nutzflächenklassen; bei der Erfassung arealer Bodenunterschiede und Bodenerosionswirkungen, bei der Erfassung geomorphologischer und geologischer Komponenten der Landschaft sowie bei der Erfassung landschaftsökologisch wichtiger Flurelemente der LN, bei der Differenzierung von Kulturpflanzenbeständen nach Entwicklungszustand und Vitalitätsdifferenzierung. Praxisrelevante Ergebnisse erzielt wurden in Richtung auf landwirtschaftliche Standortbedingungen und potentielle Ertragsdifferenzierungen, Erstellung aktueller Flächennutzungsdokumentationen und Erfassung von hochwassergeschädigten Arealen. In Verbindung mit diesen Sachkomplexen wurden methodische Fortschritte erreicht bei der Klärung grundlegender Objekt-Abbild-Beziehungen (Boden- und Pflanzenmerkmale, Reliefmerkmale u. a.) und bei der Formulierung von Algorithmen für die automaten-gestützte Klassifikation nach FED (Flächennutzung, Waldzustand, Ackerkulturen).

Dieser Stand und die in Beispielen angerissenen Möglichkeiten der landschaftsbezogenen Interpretation von FED lassen in Verbindung mit dem breiten Aufgabenfeld geographischer Landschaftsforschung aus jetziger Sicht eine Fülle weiterer Aufgaben- und Einsatzfelder erkennen.

Notwendig ist die Weiterführung der genannten Arbeiten sowohl zwecks Erweiterung der Erfahrungsbasis durch Einbeziehung andersartig ausgestatteter Gebiete (z. B. Abbildung anderer Böden und deren bodenerosiver Veränderungen) als auch im Interesse erweiterter Praxisnutzung gewonnener Erfahrungen (z. B. landwirtschaftliche Standortkartierung).

Weitergehend auszuschöpfen sind die Möglichkeiten der Erfassung der arealen Landschaftsstruktur einschließlich des arealen Prozeßgefügemusters, der Dokumentation mittel- und kurzfristiger Landschaftsveränderungen einschließlich der Erfassung von Folgewirkungen meliorativer Einwirkungen und technogener Störeinflüsse und der Erfassung im VIS und NIR dokumentierter gelände- und stadtklimatologisch relevanter Faktoren und Folgen. Auch praktisch bedeutsam ist die fernerkundungsgestützte Erfassung und Kontrolle von Hazardprozessen im Territorium (Bodenerosion, Hochwässer, geotechnische Phänomene).

Von kartographischen Dokumentationen begleitete territoriale Datenspeicher (vgl. Beitrag von SCHUBERT u. GÄRTNER in diesem Heft) müssen für landschaftbezogene Planung und Ressourcennutzung und andere Zwecke zusammen mit Daten zur Flächennutzung, Infrastruktur, Bevölkerungsstruktur auch solche über natürliche Landschaftsmerkmale enthalten. In der Überführung solcher mit Fernerkundung gewonnener Daten in diese Datenspeicher liegt eine weitere wichtige Aufgabe.

Schließlich eröffnet die mit den Beiträgen von BRÜHLKE und GRIESS in diesem Heft angesprochene zielgerichtete Synthese von Fernerkundung und Kartographie ein weiteres erfolgversprechendes Aufgabenfeld, das vor allem die Entwicklung konzeptionell und herstellungstechnisch neuartiger Karten unter Nutzung von Fernerkundungsdaten und die Kombination von kartographischen und Bildelementen (Bildkarten; vgl. /11/) umfaßt. Dabei kommt es darauf an, die spezifischen Wesensunterschiede und Gemeinsamkeiten und die jeweiligen Vorzüge der beiden Informationsträger gezielt zu nutzen.

Erforderlich erscheinen Untersuchungen zur Aussagefähigkeit und Nutzung von Aufnahmen im TIR und MW-Bereich (Thermographie, SLAR) speziell bei der Erfassung von Feuchte- und

Substratmerkmalen der Bodendecke und von Gelände- und Stadtklimamerkmale (Temperaturverteilungen in zeitlicher Folge, Ableitungen für Kaltluftgefährdung, Durchlüftung, Windsysteme) sowie von Oberflächenwassertemperaturen .

Für die Klärung von Grundlagenproblemen geeignete und zugleich volkewirtschaftlich wichtige Untersuchungsräume sollten vorrangig sowohl die Nutzflächen der Landwirtschaftsbetriebe als auch Kerne und Randzonen unserer großen Städte und anderer Wohn- und Produktionszentren sowie auch Bergbaufolgelandschaften mit ihrer schnellen Dynamik und Problemfülle sein. Daneben sind komplexe Untersuchungen in Flußeinzugsgebieten landschafts-ökologisch und wasserwirtschaftlich nützlich.

Wichtig erscheint die Anwendung der Fernerkundung auf dem Gebiet der Kontrolle landschaftlicher Zustände und Veränderungen (z. B. Biomonitoring - vgl. Beitrag von KALLWEIT in diesem Heft; Bodenerosionskontrolle; Hochwasserkontrolle u. a.).

Im Rahmen der hier nicht vordergründig zu erörternden Techniken der analogen und digitalen Verarbeitung von FED kommen der rechnergestützten Datenverbesserung und der automatisierten Klassifikation, der Zusammenführung von FED mit Daten aus anderen Quellen in digitalen territorialen Datenspeichern und der Umsetzung solcher Daten in nutzergerecht gestaltete Automatenkarten sicher grundlegende Bedeutung zu. Wichtig dabei ist die Konzentration dieser Methoden auf Sach- und Aufgabenbereiche, die ihren effektiven Einsatz ermöglichen und erforderlich machen. Generell wird es sich dabei immer um Phänomene handeln, die bei eindeutiger Dechiffrierbarkeit größere Flächenverbreitung zeigen (z. B. nutzungsabhängige Bodenerosion in bestimmten Naturräumen und Nutzflächen, Entwicklungsgrad bestimmter Kulturen, areale Verbreitung bestimmter Nutzflächenklassen u. a.) oder um solche, die eine schnelle Dokumentation - z. B. durch Automatenkarten - von Zeitpunktzuständen und zeitlichen Veränderungen (z. B. Überflutungsflächen, Schad- und Ausfallflächen in bestimmten Forst- und Ackerkulturen) erfordern.

Da die Dechiffrierung und Interpretation von FED bekanntlich sowohl einer ausreichenden Fach- und Methodenkenntnis als auch zuverlässiger Labordaten und im Gelände gewonnener Meßdatenreihen bedarf, führt die landschaftsbezogene Fernerkundung zu spürbaren Impulsen für die Entwicklung dieser Techniken, die sich mit grundsätzlichen Forderungen an die Weiterentwicklung vor allem der physischgeographischen Feldmeßmethodik weitgehend decken. Dieser Entwicklung ist in den nächsten Jahren deshalb ebenfalls verstärkte Aufmerksamkeit zu widmen.

Literatur

- /1/ BARSCH, H. u. H. WIRTH: Methodische Untersuchungen zur Auswertung multispektraler Fernerkundungsdaten für Flächennutzungskartierungen in der DDR.- In: Petermanns Geogr. Mitt. 127(1983)3.- S. 191 - 202
- /2/ BARSCH, H., R. SÖLLNER u. H. WEICHELT: Diagnose des Entwicklungszustandes von Getreide- und Grünlandflächen im Potsdam-Brandenburger Havelgebiet mit Hilfe der Multispektraltechnik. In: Geogr. Ber. 29(1984)3.- S. 187 - 206
- /3/ DEMEK, J., C. EMBLETON u. H. KUGLER (Hrsg.): Geomorphologische Kartierung in mittleren Maßstäben.- Gotha: 1982
- /4/ HAASE, G. u. a.: Kennzeichnung und Kartierung von Naturraumtypen im mittleren Maßstabebereich.- In: Wiss. Mitt. Inst. f. Geogr. u. Geoökol. d. AdW d. DDR, (1982) Sonderheft 1
- /5/ HERZ, K.: Die Evolution der Landschaftesphäre.- In: Geogr. Ber. 29(1984)2.- S. 81 - 90
- /6/ HERZ, K.: Beziehungen zwischen Korrelationsdynamik und Autometamorphose der Landschaftseinheiten.- In: Petermanns Geogr. Mitt. 128(1984)2.- S. 127 - 132
- /7/ KAZMIERCZAK, H.: Erfassung und maschinelle Verarbeitung von Bilddaten.- Berlin: 1980

- /8/ KRÖNERT, R.: Nutzung von Daten der Fernerkundung in der Geographie.- In: Geogr. Ber. 29(1984)3.- S. 153 - 163
- /9/ KUGLER, H., G. MARKUSE, C. RIEDEL, H. SCHRÜDER u. G. VILLWOCK: Interpretation von Fernerkundungsdaten für geomorphologische Landschaftsanalyse (= 7. Lehrheft Geofern- erkundung .- Dresden: 1983
- /10/ KUGLER, H., C. RIEDEL u. G. VILLWOCK: Landschaftsanalyse mit multispektralen Luft- bildern in der Umgebung von Halle (Saale).- In: Geogr. Ber. 29(1984)3.- S. 165 - 184
- /11/ KUGLER, H.: Landschaftsdarstellung mit thematischen Luftbildkarten. In: Wiss. Abh. Ges. d. DDR (1985)10
- /12/ LESER, H.: Methodische Probleme beim räumlichen Ansatz der Ökosystemforschung.- In: Angew. Botanik 55(1981).- S. 309 - 320
- /13/ NEUMEISTER, H.: Zur Belastbarkeit und zur Kontrolle von Prozessen und Effekten in der genutzten Landschaft der DDR.- In: Wiss. Mitt. Inst. f. Geogr. u. Geoökol. d. AdW d. DDR, (1984)11.- S. 7 - 82
- /14/ PREOBRAŽENSKIJ, V. S. u. a.: Geoökologische Grundlagen für die Projektierung natür- lich-technischer Geosysteme.- In: Petermanns Geogr. Mitt. 128(1984)1.- S. 13 - 18
- /15/ RICHTER, H.: Geographische Aspekte der sozialistischen Landeskultur.- Gotha: 1979
- /16/ RIEDEL, G.: Untersuchungen zur bodengeographischen Interpretation von multispektralen Luftbildern.- 1981.- Halle; Univ., Diss. A
- /17/ SCHMIDT, R.: Die Struktur der Bodendecke der Grundmoränengebiete der DDR.- In: Petermanns Geogr. Mitt. 126(1982)3.- S. 153 - 170
- /18/ SCHMIDT, R. u. R. DIEMANN: Richtlinie für die mittelmaßstäbige landwirtschaftliche Standortkartierung.- Eberswalde-Finow: 1974
- /19/ SCHRÜDER, H.: Musterausprägung und spektrales Abbildungsverhalten von Lössböden im Mittelsächsischen Lösshügelland.- Geogr. Ber. 29(1984)3.- S. 185 - 196
- /20/ SCHRÜDER, H. u. G. VILLWOCK: Fernerkundung arealer Verteilungsmuster in der Agrar- landschaft - Methode zur physisch-geographischen Prozeßanalyse.- Wiss. Mitt. Inst. f. Geogr. u. Geoökol. d. AdW d. DDR (1984)11.- S. 137 - 153
- /21/ TOLČELNIKOV, I. S.: Optičeskije svojstva landsafta.- Leningrad: 1974
- /22/ TROLL, C.: Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. Ges. Erdkde. Berlin (1939) 7/8.- S. 241 - 300
- /23/ VERSTAPPEN, H. Th.: Remote sensing in Geomorphology.- Amsterdam; Oxford; New York: 1977
- /24/ VILLWOCK, G.: Die Erfassung von Merkmalen der standörtlichen Heterogenität landwirt- schaftlicher Nutzflächen mit Methoden der Geofern- erkundung.- 1983.- Halle, Univ. Diss. A
- /25/ VILLWOCK, G.: Erkundung pleistozäner Polygonstrukturen in Lössablagerungen des östli- chen Harzvorlandes mit Methoden der Geofern- erkundung.- In: Hall. Jb. f. Geowiss. (1984)9 (i. Dr.)
- /26/ VINOGRADOV, B. V.: Praobrazovannaja zemlja. Aerokosmičeskije issledovanija.- Moskva: 1981

H. BARSCH, K. KADEN, H. WIRTH

1. Zielstellung und Möglichkeiten der Landschaftediagnose mit Hilfe von Satellitendaten

Leistungsvermögen und Belastbarkeit von Landschaften im Reproduktionsprozeß sind Gegenstand der Landschaftediagnose. Ihr Ziel ist die Bewertung des Naturpotentials und der naturbedingten Risiken der Landnutzung. Das verlangt Untersuchungen zur Landschaftsdynamik, zur Kennzeichnung von landschaftsverändernden Prozessen. Damit verbunden sind Beobachtungen des Landschaftszustandes in bestimmten Zeitintervallen. Verfährt man dabei prospektiv /7/, so geht man von einem Ausgangszustand aus, registriert die Zustandsänderungen bei den nachfolgenden Beobachtungsterminen und schließt daraus auf Prozeßabläufe. Meßreihen spielen dabei eine wesentliche Rolle, wobei die Meßwerte im Gelände punkthaft gewonnen werden und zu prüfen ist, für welche Räume sie beim jeweiligen Beobachtungstermin als repräsentativ anzusehen sind. Es hat sich gezeigt /2, 4, 10/, daß zur Kontrolle der arealen Verbreitung von Zustandsmerkmalen land- und forstwirtschaftlich genutzte Gebiete mit Erfolg spektrale Textur- und Strukturmerkmale der Vegetation herangezogen werden können, die sich aus multitemporalen Flugzeugaufnahmen extrahieren lassen. So erhebt sich die Frage, in welchem Umfang dies auch auf der Grundlage von Satellitendaten möglich ist, die ohnehin multitemporal anfallen.

Der Versuch, diese Frage zu beantworten, muß davon ausgehen, daß die Dimension der zu betrachtenden Räume eine ganz andere ist als beim Vergleich terrestrischer Messungen mit Flugzeugaufnahmen. Die Beobachtung der kleinräumigen Differenzierung von Prozeßabläufen ist aus dem Kosmos gegenwärtig nur in Ausnahmefällen möglich. Für die synchrone Erfassung großräumig verfolgbare Entwicklungsphasen der Vegetation bieten sich Satellitendaten jedoch an. Insbesondere sind hierbei spektrale Kennzeichen interpretierbar. In erster Linie ergeben sie sich aus der Tatsache, daß zur Photosynthese in der Pflanze Energiezufuhr von außen erforderlich ist, weil in diesem Prozeß, in dem durch Reduktion des Kohlendioxids der Luft mit Wasser als Reduktionsmittel Kohlenhydrate gebildet werden, der Elektronenfluß entgegen dem Gefälle des Redoxpotentials verläuft. Die Chlorophyllpigmente absorbieren Lichtquanten im Bereich von 0,66 bis 0,69 μm Wellenlänge, also im roten Bereich des sichtbaren Lichtes. Im optischen Infrarot dagegen, vor allem bei Wellenlängen zwischen 0,72 und 1,12 μm , remittieren die prall gefüllten Zellen wachsender Pflanzen sehr stark. Sie weisen einen hohen Turgordruck auf. Ein zweites, allerdings weit geringeres Remissionsmaximum ist im grünen Bereich des sichtbaren Lichtes, bei 0,50 bis 0,55 μm ausgebildet. Daraus ergibt sich die Chlorophyllkurve als die charakteristische Remissionskurve wachsender Pflanzen mit einem schwachen grünen Peak, einer kräftigen Rotbande und einem ausgeprägten Plateau im optischen Infrarot. Beim Eintritt von Reife oder beim Verwelken schwächt sich zunächst die Rotbande ab, dann fällt das Infrarotplateau zusammen und der grüne Peak verschwindet (Abb. 1). Das heißt, daß zunächst Photosynthese erlischt, danach die Zellen sich verfärben und ihre Spannung verlieren. Berechnungen des Korrelationskoeffizienten zwischen Chlorophyllgehalt und spektraler Remission im roten Bereich des sichtbaren Lichtes ergaben Werte um 0,9 /9/.

Darüber hinaus zeichnet sich der Entwicklungszustand der Vegetation auch durch die bestandstypische Eigenstrahlung ab. Der Strahlungsumsatz an der Erdoberfläche wird durch die Pflanzendecke im thermischen Infrarot deutlich modifiziert. Je dichter der Pflanzenbestand ist, desto stärker wird die Ausstrahlung von der Boden- an die Pflanzenoberfläche verlagert. Je höher sich ein dichter Bestand ausgebildet hat, desto stärker entwickeln sich interne Wärmeströme innerhalb der Pflanzendecke. Das kommt in bestandstypischen Temperaturgängen zum Ausdruck. Wälder zeigen niedrigere Extremwerte im Tagesgang der Temperatur als Wiesen oder Felder. Auf den Feldern treten die höchsten täglichen Temperaturamplituden dort auf,

Remission von Getreide

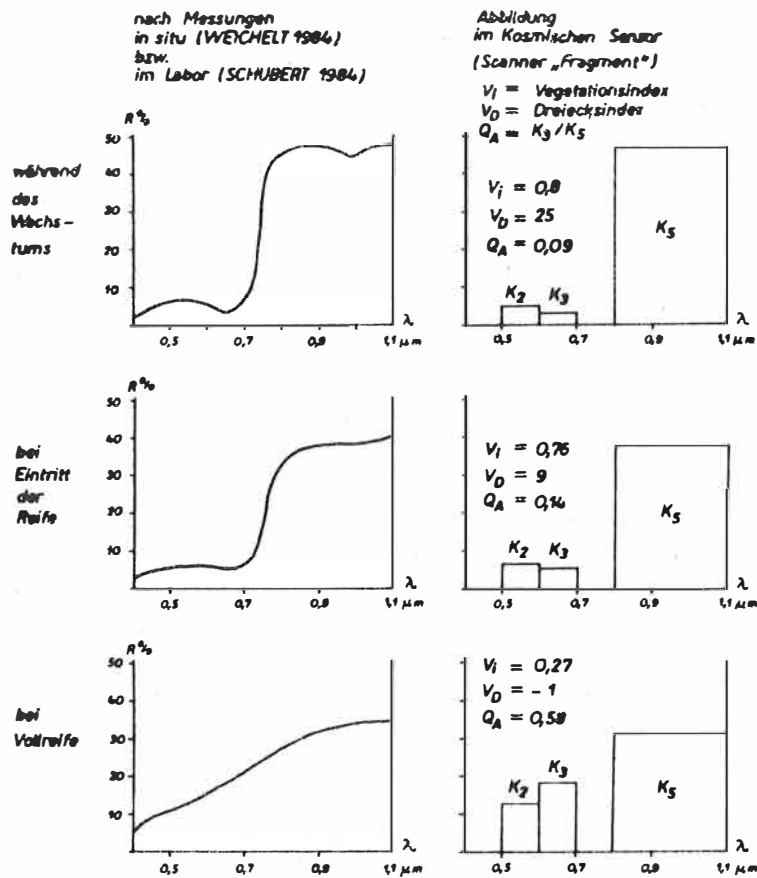


Abb. 1 Beziehungen zwischen phänologischen Phasen der Vegetationsentwicklung und Spektralcharakteristika

wo die Bestandsdichte am niedrigsten ist. Eine weitere Differenzierung des täglichen Temperaturganges ergibt sich aus dem Feuchtegehalt der Pflanzen. Je stärker sie transpirieren, desto höher ist der Anteil latenter (nicht fühlbarer) Wärme im Wärmestrom. Das heißt, innerhalb der gleichen Beestandart zeichnen sich die feuchteren Gebiete durch geringere tägliche Temperaturamplituden, die trockneren durch höhere ab. Verfolgt man diese Erscheinungen mit Hilfe von Satellitendaten, muß man allerdings deren Dimensionsspezifität beachten. Lokalklimatische Effekte in Forsten sowie bei landwirtschaftlicher Großflächennutzung werden überlagert von großräumigen Prozessen des Witterungsablaufes. Das Bestandsklima ist nur interpretierbar, wenn man seine makroklimatische Einbindung beachtet.

Unter Berücksichtigung dessen kann man bei wolkenfreiem Himmel vor allem im großen atmosphärischen Fenster, bei Wellenlängen zwischen 10,5 und 11,5 μm , aus der räumlichen Differenzierung der Eigenstrahlung der Erde Schlüsse auf die Art und den Zustand der Vegetationsbedeckung schließen. Etwas problematischer ist dies im Bereich des kleinen atmosphärischen Fensters, bei Wellenlängen um 4,5 bis 4,1 μm . Hier überlappen sich die Eigen- und Rückstrahlung der Erde, so daß bestandstypische Kennwerte des Wärmeumsatzes nur nachts deutlich werden. Allerdings ist bei der Auswertung nächtlicher Aufnahmen die genaue Kenntnis der im

Untersuchungsgebiet vorhandener Bewölkung erforderlich, um Fehlinterpretationen weitgehend auszuschließen.

2. Methoden

Gemessene Werte der spektralen Strahldichte sind die Grundlage für die möglichst exakte Ermittlung der bestandstypischen Rück- und Eigenstrahlung. Die Mehrkanal-Radiometer der in Satelliten installierten Scanner liefern solche Werte. Sie sind repräsentativ, wenn die Untersuchungsobjekte das momentane Blickfeld des Sensors ausfüllen. Ist das nicht der Fall, ergeben sich Mischpixel, die beim Vergleich bestandstypischer Spektralcharakteristika ausgesondert werden müssen. Berücksichtigt man außerdem, daß durch die Trübung der Atmosphäre die objektspezifischen Strahldichtewerte modifiziert werden, so folgt, daß weniger die absoluten Größen der vom kosmischen Sensor erfaßten Strahldichtewerte, vielmehr aber die Relationen zwischen den Strahldichtewerten in den einzelnen Spektralbereichen für die Interpretation von Interesse sind (Abb. 1).

Relationen zwischen der Strahldichte in unterschiedlichen Spektralbändern können durch Quotienten oder Indizes ausgedrückt werden. Ein erprobtes Verfahren zur Kennzeichnung des Entwicklungszustandes der Vegetation auf der Basis der Remissionsunterschiede im Rot (R) und nahen Infrarot (IR) stellt die Berechnung des Vegetationsindex (V_1) nach MIGUET, BARET, GUYOT (1983) /6/ dar:

$$(1) \quad V_1 = \frac{IR - R}{IR + R}$$

Dabei werden Werte zwischen -1 und +1 erreicht. Die höchsten treten auf, wenn die biologische Aktivität der Pflanze am größten ist. Die Chlorophyll-Kurve wird dann am besten ausgebildet, Rotbande und Infrarotplateau treten deutlich hervor.

Will man darüber hinaus noch den grünen Peak in der Chlorophyllkurve zur Berechnung von Indexwerten heranziehen, so läßt sich das dadurch realisieren, daß der Flächeninhalt eines Dreiecks bestimmt wird, dessen Eckpunkte die Strahldichtewerte im grünen (x_1), roten (x_2) und infraroten (x_3) Spektralband darstellen, bezogen auf diejenige Wellenlänge (y_1, y_2, y_3), die in der Klassenmitte des jeweiligen Bandes liegt. Danach läßt sich der Dreiecksindex V_D für die Ausbildung der Chlorophyllkurve aus den Determinanten zur Berechnung des Flächeninhaltes von Dreiecken ableiten:

$$(2) \quad V_D = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \end{vmatrix}$$

V_D kann entsprechend dem Verlauf der Remissionskurve und damit auch in Abhängigkeit vom Drehsinn des Dreiecks positive oder negative Werte annehmen. Die Berechnung erfolgt so, daß positive Werte dann auftreten, wenn ein von biologisch aktiven Pflanzen geprägtes Vegetationsdreieck mit grünem Peak, roter Bande und infrarotem Plateau vorhanden ist. n ist. Anhand von Vergleichsmessungen am Boden konnte SCHUBERT (1984) /9/ zeigen, daß mit dem Eintreten von Reife und Welke der Flächeninhalt des Vegetationsdreiecks gegen Null geht und damit anzeigt, daß sich die Remissionskurve einer Gerade annähert. Negative Werte sind nur dann zu erwarten, wenn im Rot das Remissionsmaximum liegt, also außerhalb der von grüner Vegetation bedeckten Flächen.

Relativ wenig Aufwand erfordert die Ermittlung von Quotienten. Dabei ist allerdings zu beachten, daß Zustandsunterschiede innerhalb von Pflanzenbeständen oder ihre Abgrenzung gegenüber anderen Vegetationseinheiten sich nur dann in der Werteverteilung widerspiegeln, wenn es dabei zu unterschiedlichen Relationen zwischen den Strahldichtewerten in den beiden betrachteten Spektralauszügen kommt. Ändert sich deren absolute Größe in beiden Kanälen

gleichartig, dann bleibt der Quotient der gleiche. In einem rechtwinkligen kartesischen Koordinatensystem bilden sich dann die Merkmalscluster unterschiedlicher Objekte auf dem gleichen Strahlenfeld ab. Erst dann, wenn die Merkmalscluster auf unterschiedlichen Strahlenfeldern liegen, werden sie über Quotienten unterscheidbar /1/. Mit diesem Problem wird man auch bei der Anwendung des Vegetationsindex V_1 konfrontiert, da hier ebenfalls Quotienten berechnet werden. Quotienten lassen sich zwischen den Strahldichtewerten aller Spektralbereiche bilden, die vom jeweiligen Sensor erfaßt werden. Dabei lassen sich optische Quotienten von thermischen Quotienten unterscheiden, je nachdem die Rück- oder Eigenstrahlung der Erde als Vergleichsbasis dient. Im optischen Bereich kann der Quotient zwischen den Strahldichtewerten im Rot und nahen Infrarot als Vegetationsquotient bezeichnet werden, da er im besonderen Maße die Ausprägung der Chlorophyllkurve und damit die biologische Aktivität der Pflanzen erfaßt. Wenn unter Einbeziehung thermischer Werte die Relationen zwischen mehreren Spektralbereichen untersucht werden sollen, ist es angebracht, die Quotienten durchlaufend zu benennen ($Q_A, Q_B \dots Q_N$), da Aussagen über die Phänologie der Vegetation auch aus anderen Kanälen abgeleitet werden können. So ist auch bei den nachfolgend dargestellten Untersuchungen verfahren worden.

3. Ergebnisse der Kennzeichnung des Zustandes von land- und forstwirtschaftlichen Nutzflächen nach Daten des Erdkundungssatelliten METEOR-PRIRODA

Das momentane Blickfeld des Scanners "FRAGMENT" im sowjetischen Erdkundungssatelliten METEOR-PRIRODA erreicht im Nadir 80 m Kantlänge. Damit kann die Entwicklung der landwirtschaftlichen Kulturen bei Großflächenbewirtschaftung schlagbezogen verfolgt werden, ebenso wie die phänologische Phasenfolge in Forsten. Das zeigt eine Analyse von FRAGMENT-Scannerdaten vom 13. 5. 1981 aus dem Küstengebiet der DDR bei Stralsund. Dabei wurde zunächst der Vegetationsindex (V_1) aus den Strahldichtewerten der Kanäle 3 (R: 0,6 bis 0,7 μm) und 5 (IR: 0,8 bis 1,1 μm) bestimmt /3/. Der Vergleich mit Testflächen ergab, daß Wintergetreide Werte um 0,5 erreichte, Sommergetreide Werte um 0,2 und die mit Hackfrüchten bestellten Äcker Werte um 0,1. Grünland wurde durch Indizes um 0,4 ausgewiesen, Wald durch Werte zwischen 0,2 und 0,4. Damit wurde für das Frühjahr 1981 eine insgesamt gute Entwicklung des Wintergetreides und des Grünlandes angezeigt. Das entsprach dem Witterungsablauf im Frühjahr 1981, in dem eine Wärmeperiode zwischen Ende März und Mitte April die Entwicklung der überwinterten Pflanzen begünstigte. Dann allerdings setzte eine merkliche Abkühlung ein. Dadurch wurde die Entwicklung des Sommergetreides gehemmt. Der Begrünungsgrad der damit bestellten Felder war noch relativ gering, wenn auch deutlich höher als auf Hackfruchtäckern. Die Blattentfaltung in den Wäldern zeichnete diese Entwicklung nach. Anhand der Testflächen war erkennbar: Buchen sind schon voll belaubt, die Blattentfaltung der Eichen verzögert sich dagegen.

Die räumliche Verteilung dieser Zustandsmerkmale über die ganze Szene konnte man am Muster der Indexwerte verfolgen. Allerdings mußten diese Werte, um überschaubar zu bleiben, in den Gruppen zusammengefaßt werden. So wurden sieben Stufen des Vegetationsindexes gebildet, wobei jeweils eine Landnutzungsart einem Intervallbereich entsprach. Das geschah unter Berücksichtigung auch der Indizes, die außerhalb von vegetationsbedeckten Flächen auftraten. So ergaben sich für die folgenden Klassen und Schwellenwerte: B (Binnengewässer) 0,3...0,05; S (Siedlungen) und A_2 (Hackfrüchte) 0,06...0,15; A_1 (Sommergetreide) 0,16...0,25; W (Wälder) 0,26...0,35; G (Grünland) 0,36...0,45; A (Wintergetreide) 0,36...0,55, 0,56...0,65. Das Ergebnis dieser Klassifizierung wird durch ein Punktraster in Abb. 2 verdeutlicht. Dabei sind die Grenzen der verschiedenen Landnutzungsarten, die parallel dazu durch eine automatisierte Flächennutzungsklassifizierung ausgegliedert wurden, mittels Hochpaßfilterung verstärkt worden. Abb. 2 zeigt, wie sich mittels des Vegetationsindexes (V_1) Unterschiede im Entwicklungszustand einheitlicher Nutzflächen verdeutlichen lassen, unbeschadet dessen, daß bei der Flächennutzungsklassifizierung die Klassen Grünland und Wintergetreide sowie Sommergetreide und Hackfrüchte jeweils zusammengefaßt wurden.

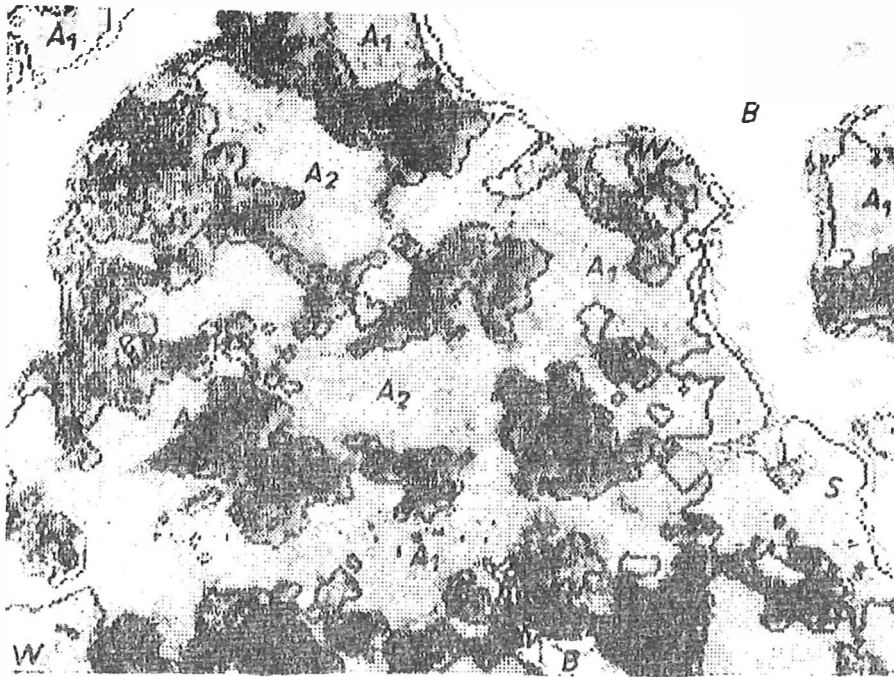


Abb. 2 Räumliche Verteilung von Stufenwerten des Vegetationsindexes (V_1) im Gebiet von Stralsund am 13. 5. 1981

Noch stärker wurden die vegetationsbedeckten Flächen mit Hilfe des Dreiecksindex (V_D) differenziert. Der Scanner "FRAGMENT" lieferte die dazu erforderlichen Werte in den Kanälen 2 (0,5 bis 0,6 μm), 3 (0,6 bis 0,7 μm) sowie 5 (0,8 bis 1,1 μm). Demzufolge ergab sich die Dreiecksfläche aus $V_D = \frac{1}{2}(3 y_1 - 4 y_2 + y_3)$. Die höchsten Indexziffern traten auch hier im Wintergetreide auf (zwischen 50 und 90), die geringsten - abgesehen von den unbegrünteren Flächen - auf den Hackfruchtäckern (zwischen 10 und 25). Bei der Zusammenfassung der Dreiecksindizes zu objektspezifischen Wertegruppen wurde diesmal die Werteverteilung im Histogramm beachtet, so daß sich unterschiedlich breite Intervalle zwischen den Schwellenwerten ergaben: B (Binnengewässer) -2,4...13,8; S (Siedlungen) und A_2 (Hackfrüchte) 13,9...24,5; A_1 (Sommergetreide) 24,6...34,0; W (Wälder) 34,1...38;4, 38,5...47,5; G (Grünland) 47,6...51,8; A (Wintergetreide) 51,9...98,8. Auch hier gilt, daß diese Indexwerte zwar charakteristisch für bestimmte Landnutzungsarten sind, daß sie aber keine Landnutzungs-klassifizierung ersetzen, weil die einzelnen Landnutzungsarten auch Areale aufweisen, deren Indizes außerhalb der hier genannten Schwellen liegen, beispielsweise bei Naß- oder Trockenstellen innerhalb von Ackerschlägen oder bei Grünflächen innerhalb von Siedlungen. Indexwerte reagieren jedoch feiner auf Zustandsunterschiede von Nutzflächen als die Klassifikation einer automatisierten Kartierung.

Vergleicht man die räumliche Verteilung der Wertegruppen des Vegetationsdreiecks V_D (Abb. 3) mit der des Vegetationsindexes V_1 (Abb. 2), so fällt auf, daß der Dreiecksindex noch stärker die innere Differenzierung der vegetationsbedeckten Flächen verdeutlicht. In den Wäldern werden deutlich die dunkleren Buchenbestände von den helleren Kiefern- und Eichenbeständen getrennt. Aus der unterschiedlichen Dichte des Punktrasters auf den Hack-



Abb. 3 Räumliche Verteilung von Stufenwerten des Vegetationsdreiecks (V_D) im Gebiet von Stralsund am 13. 5. 1981

frucht- und Sommergetreideschlägen läßt durch einen Vergleich mit den Kartenunterlagen der mittelmaßstäbigen Standortkartierung ersehen, daß - nach einem relativ trockenen April - insbesondere auf Sand-Braunerden (D 2a 4), Verzögerungen in der Abfolge der phänologischen Phasen eingetreten sind. Als Beispiel seien Ackerflächen bei Richtenberg sowie bei Zarrendorf, südlich Stralsund genannt. Im Grünland und Getreide am Barther Bodden sind insbesondere in der Nähe des Günser Sees die trockneren Flächen mit Sand-Rosterde bzw. Sand-Rostgley (D 2b 1) in ihrer Entwicklung zurückgeblieben. Schließlich lassen sich auch auf den mit Wintergetreide bestandenen Schlägen Entwicklungsunterschiede erkennen, beispielsweise nordwestlich von Stralsund, bei Prohn, wo im Bereich der Sand-Braunerden und Sand-Braungleye (D 3b 1) auf trockenen Stellen die niedrigsten Vegetationsindizes auftreten.

4. Ergebnisse der Kennzeichnung des Zustandes von land- und forstwirtschaftlichen Nutzflächen nach Daten des Wettersatelliten NOAA-6

Die hohe zeitliche Auflösung der Daten, die von Wettersatelliten registriert werden, erlaubt eine Folge von Beobachtungsterminen zur Kontrolle der phänologischen Entwicklungsprozesse auf vegetationsbedeckten Gebieten, vorausgesetzt, daß die Bewölkungsverhältnisse das zulassen. Obwohl das in der DDR nur an weniger als der Hälfte aller Tage eines Jahres gegeben ist, ist auch dann die zeitliche Dichte der Datenregistrierung beträchtlich. Hinzu kommt, daß von Wettersatelliten nicht nur die Rückstrahlung, sondern auch die Eigenstrahlung der Erde erfaßt wird. So erscheint es lohnenswert zu prüfen, ob die räumliche Auflösung von Wettersatellitendaten in Gebieten mit intensiv betriebener Land- und Forstwirtschaft eine areale Zuordnung der Interpretationsergebnisse mit hinreichender Genauigkeit zuläßt. Als Beispiel sollen Scannerdaten der NOAA-Wettersatelliten (National Oceanic and Atmospheric Administration/USA) dienen, die mit AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) aufgenommen wurden. Das momentane Blickfeld erreicht bei AVHRR im Nadir 1,1 km Kanallengänge. Welche Aussagen aus dem Vergleich zwischen den optischen und thematischen Strahldichtewerten ableitbar sind, sei anhand einer NOAA-6-Szene des Tieflandes der DDR erläutert, die am 7. 8. 1981 morgens 7.25 Uhr aufgenommen wurde.

Die Relationen zwischen den spektralen Strahldichtewerten in Kanälen 1 (Gelb/Rot: $0,55-0,68 \mu\text{m}$) und 2 (Infrarot: $0,725-1,1 \mu\text{m}$) sind zunächst durch den Quotienten A_1 , den Vegetationsquotienten bestimmt worden: K_1/K_2 . Niedrige Werte zeigten dabei, daß die Chlorophyllkurve gut entwickelt ist. Hohe Werte verdeutlichen das Gegenteil. Ein Vergleich mit Testflächen unterstreicht dies. Das Grünland in der Großen Friedländer Wiese erbrachte Quotienten um 0,6. Gleiches galt für das Ackerland zwischen Greifswald und Stralsund, auf dem das Sommergetreide infolge der kühlen und feuchten Witterung im Juli 1981 noch nicht ausgereift war, die Hackfrüchte dagegen im vollen Grün standen. Dagegen traten im Ackerland bei Magdeburg Quotienten um 0,7 auf. Dort waren auch die Hackfrüchte voll entwickelt, die Getreideernte war dagegen schon weiter fortgeschritten. Der Kiefernwald der Schorfheide zeigte Quotienten um 0,8. Hier machte sich die relative niedrige Infrarot-Remission der Nadelbäume bemerkbar. Der Wald hob sich dennoch deutlich von den größeren Städten ab, wo - wie in Berlin - Quotienten um 1,0 auftraten. Parkanlagen zeichneten sich darin durch niedrigere Werte ab. Quotienten um 1,3 waren für die Gewässer charakteristisch. Der unterschiedliche Chlorophyllgehalt der binnen- oder küstennahen und offenen Gewässer modifizierte diesen Wert etwas.

So erlaubte das Histogramm der Werteverteilung die Ausgliederung von drei Gewässerklassen mit Quotienten von $1,60 \dots 1,31$, $1,30 \dots 1,21$, $1,20 \dots 1,01$. Hinzu kommen die Klassen, die sich aus den Wertebereichen ableiten ließen, die für Siedlungen ($1,00 \dots 0,81$), Nadelwälder ($0,80 \dots 0,77$), zum Teil abgeerntete Äcker ($0,76 \dots 0,71$), nicht abgeerntete Äcker ($0,70 \dots 0,56$) und Grünland ($0,55 \dots 0,40$) charakteristisch waren. In Abb. 4 ist die räumliche Verbreitung dieser Klassen so dargestellt worden, daß die Klassen mit den höchsten Quotienten die größte Punktdichte aufweisen, die niedrigsten Quotienten dagegen durch die geringste Punktdichte ausgewiesen werden. Dabei wird an den hellen Flächen im Norden des Tieflandes der DDR sehr deutlich sichtbar, daß die Getreideernte in den Bezirken Rostock, Neubrandenburg und Schwerin zeitlichen Verzug gegenüber dem Binnentiefeland aufweist; denn im Norden zeichnen sich nicht nur die grünlandbedeckten Niederungen durch helle Streifen ab, sondern auch die dazwischen liegenden Areale bleiben hell. Ein Blick auf die Nordostspitze von Rügen weist allerdings darauf hin, daß auch Laubwälder, wie an der Stubbenkammer, in diese Klasse auf Grund ihrer optischen Eigenschaften eingegliedert worden sind.

Daß sich Wälder, Wiesen und Felder hinsichtlich ihrer thermischen Eigenschaften unterscheiden, zeigt sich bereits, wenn man den Quotienten B berechnet, zwischen der Rückstrah-



Abb. 4 Räumliche Verteilung von Stufenwerten des Vegetationsquotienten (Q_A) im Tiefland der DDR am 7. 8. 1981

lung im roten Bereich des sichtbaren Lichtes und der Rück- bzw. Eigenstrahlung der Erde im kleinen atmosphärischen Fenster, bei NOAA-AVHRR zwischen K 1 (0,55-0,68/ μm) und K 3 (3,55-3,93/ μm). Eindeutiger werden die Relationen zwischen den thermischen Besonderheiten der Pflanzenbestände und der bestandstypischen Chlorophyllabsorption abgebildet, wenn der Quotient C aus den Strahldichtewerten in K 1 und K 5 (11,5 - 12,5/ μm) berechnet wird, der das große atmosphärische Fenster erfaßt: K 1/K 5. Im großen atmosphärischen Fenster wird allein die Wärmestrahlung der Erde registriert.

An dem Augustmorgen, an dem die Aufnahme erfolgte, war auf den Äckern die Erwärmung am weitesten fortgeschritten. Da im thermischen Bereich die Komplementärwerte zur gemessenen Strahldichte wiedergegeben werden, spiegelt sich das im Verhältnis von K 1/K 5 durch hohe Quotienten wider. Auf den Testgebieten traten im Bereich der ganz oder teilweise abgeernteten Äcker Quotienten um 0,26 auf, im Bereich der noch nicht abgeernteten Ackerflächen Quotienten um 0,24. Kälter waren Grünland und Wald. Sie wurden mit Quotienten um 0,22 bzw. 0,20 ausgewiesen. Die Temperatur der Gewässer war am niedrigsten. Quotienten um 0,15 machten dies deutlich. Allerdings war hier zu beachten, daß der Quotient K 1/K 5 streng genommen nur innerhalb der vegetationsbestandenen Flächen vergleichbare Werte liefert. Außerhalb der Pflanzenbestände fällt die Chlorophyllbande weg. Dennoch erschien, bei allgemein niedrigen Remissionen für Wasser im gesamten optischen Bereich, ein Vergleich mit Pflanzenbeständen noch eher zulässig als bei Siedlungen und Freiflächen (auch auf Äckern), deren Oberflächen im Rot in der Regel stärker remittieren als begrünte Areale. Die Erwärmung der Siedlungen und Freiflächen wird deshalb durch den Quotienten K 1/K 5 zuweilen überzeichnet. Im Beispiel erreichen sie Quotienten um 0,25.

Betrachtet man das Histogramm der Werteverteilung innerhalb der gesamten Szene, so ergab sich eine Klassenbildung, in der das Wasser der offenen Ostsee mit Quotienten von 0,130... 0,150 ausgewiesen wird, Boddengewässer mit 0,151...0,180, Binnengewässer und Wälder mit 0,181...0,200, Grünland (einschließlich der städtischen Parks) mit 0,201...0,220, größere Siedlungen mit 0,221...0,230, nicht abgeerntete Ackerflächen mit 0,231...0,250, teilweise abgeerntete Ackerflächen mit 0,251...0,320. Die letztgenannten Äcker werden im Kartogramm (Abb. 5) völlig schwarz wiedergegeben, Je niedriger die objektspezifischen Quotienten werden, desto geringer ist die Dichte des Punktrasters, das ihre Verbreitung darstellt. So erscheinen die zentralen Bereiche der Ostsee völlig weiß. Dichte Punktfelder, die anzeigen, daß die Getreideernte abgeschlossen ist, treten in Küstennähe seltener als im Binnentiefenland auf. Damit wird die Aussage bestätigt, die aus dem Quotienten A, dem Vegetationsquotienten, abgeleitet werden konnte (Abb. 4).

Darüber hinaus lassen sich mit Hilfe des Quotienten C die Ackerflächen von Wäldern trennen. Beispielsweise hebt sich das Waldgebiet an der Stubbenkammer, das auf Abb. 4 nicht erkennbar war, auf Abb. 5 deutlich von den Ackerflächen der Umgebung ab. Auch die vor allem von Grünland bedeckten Gebiete der Niederungen und Talauen stehen nunmehr im stärkeren Kontrast zum Ackerland. Hier macht sich neben dem Bestandsklima auch das subtrat- und reliefbedingte Geländeklima der Talauen und Niederungen bemerkbar, in denen sich, sofern Windstille herrscht, nachts Kaltluft sammelt. Auf Mooren wird die Kaltluft auch produziert; denn Moore weisen eine geringe Wärmekapazität auf, sie können tagsüber wenig Wärme aufnehmen und nachts wenig abgeben. Morgens liegen so die Temperaturen in den Tälern und Niederungen in der Regel merklich unter denen der Umgebung. Auf diese Weise kann man das Band der Elbaue, das über den Quotienten A auf Abb. 4 nur schlecht zu verfolgen war, mit Hilfe des Quotienten C auf Abb. 5 deutlich erkennen.

5. Diskussion der Ergebnisse

Wie die Beispiele zeigen, sind für Aussagen über den Entwicklungszustand der Vegetation in erster Linie die Relationen zwischen der Rückstrahlung im roten und dem infraroten Spek-

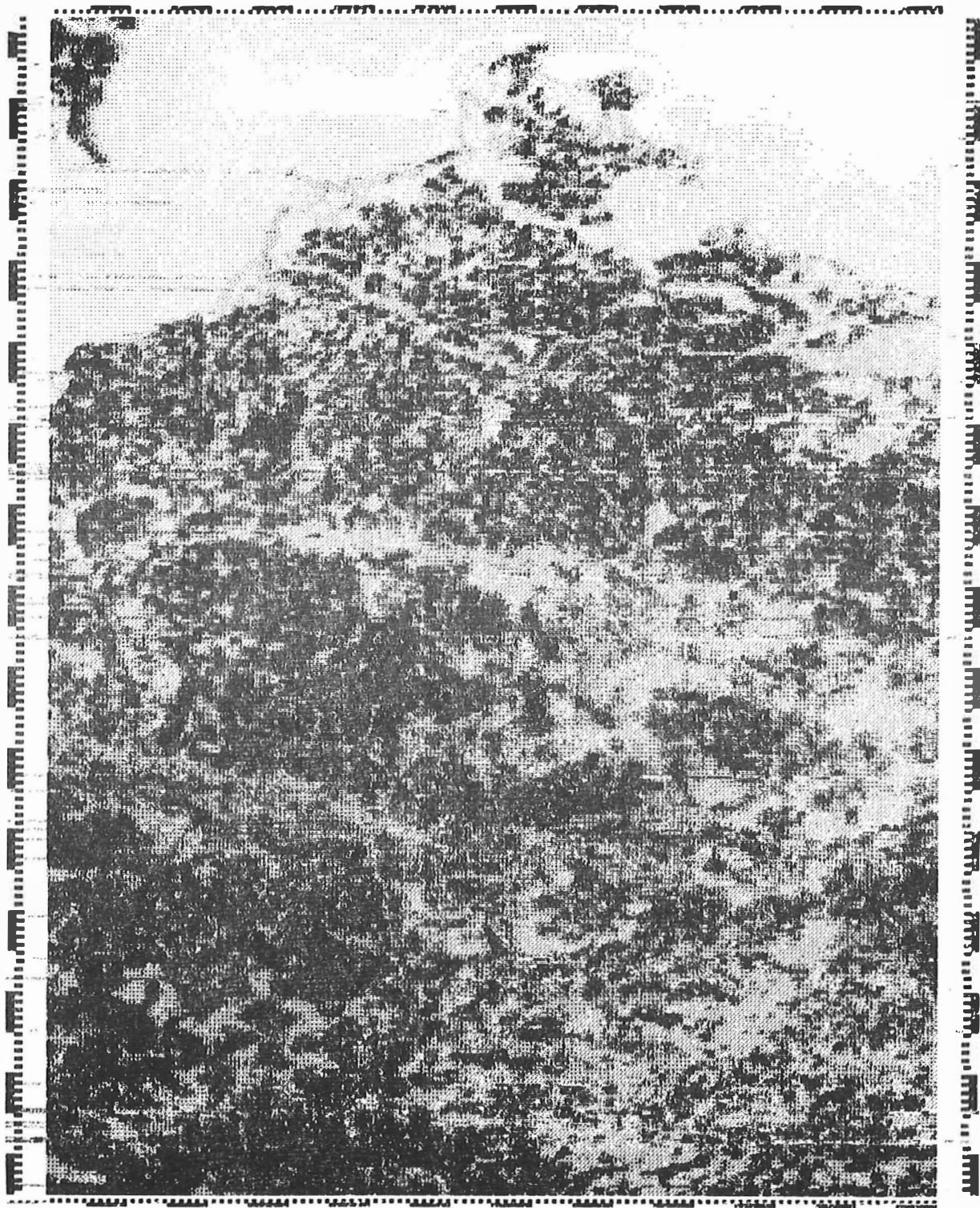


Abb. 5 Räumliche Verteilung von Stufenwerten eines thermischen Quotienten (Q_C) im Tiefland der DDR am 7. 8. 1981

tralauszug von Bedeutung. Darüber hinaus lassen sich aber auch die Werte der Rückstrahlung im grünen Spektralauszug und die der Eigenstrahlung im großen und (mit Einschränkungen) im kleinen atmosphärischen Fenster vergleichend interpretieren.

Die numerisch am besten überschaubaren Werte (zwischen -1 und +1) liefert der Vegetationsindex (V_i). Mit dem Dreiecksindex (V_D) ist man in der Lage, die verschiedenen Phasen der Reife oder Welke noch differenzierter wiederzugeben. Quotienten ($Q_A...$) lassen sich zwischen allen Kanälen bilden. Das ist auch möglich, wenn man die Verfahrensweise zur Bildung des Vegetationsindex auf andere Spektralbereiche überträgt. In beiden Fällen werden Zustandsänderungen allerdings nur dann registriert, wenn sich die gemessenen Werte der spektralen Strahldichte ungleichsinnig verlagern. Ein Überblick über die registrierten Primärdaten ist deshalb Voraussetzung für die Interpretation der daraus abgeleiteten Werte, der hier dargestellten Indizes bzw. Quotienten. Sie sollen auch auf klassifizierte Landnutzeinheiten bezogen werden, wie dies im ersten Beispiel geschehen ist. Die Bestimmung von Relationen zwischen den spektralen Strahldichtewerten erlaubt vor allem Zustandsaussagen, sie ersetzt nicht völlig die Klassifikation der Daten nach dem Vektorkonzept, durch die weit mehr kosmische Informationen berücksichtigt werden können.

An beiden Beispielen wird die Aussagekraft der derart bearbeiteten Satellitendaten erkennbar: Sie gestatten die wiederholte, synchrone großräumige Erfassung von Zustandsmerkmalen der Vegetation und deren automatisierte Darstellung in Form von Kartogrammen mit einem - im Vergleich zu anderen Informationssystemen der Land- und Forstwirtschaft - geringen zeitlichen und personellen Aufwand. Der hohen zeitlichen Auflösung dieser Daten steht allerdings eine geringe räumliche Auflösung gegenüber, insbesondere bei Wettersatelliten. Bei den Sensoren von Erdkundungssatelliten, wie dem Scanner FRAGMENT, muß man (in Anlehnung an CHITTINENT 1981) /5/ davon ausgehen, daß sie einen erheblichen Anteil von Mischpixeln registrieren, der nur dann unter 10 % bleibt, wenn die Mindestflächengröße der Untersuchungsobjekte 20 ha übersteigt. Das ist bei der land- und forstwirtschaftlichen Großflächennutzung in der DDR in der Regel der Fall. Die Einheiten der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung erreichen auch in vielen Fällen diese Flächengröße, so daß eine standortbezogene Interpretation des Entwicklungszustandes landwirtschaftlicher Kulturen aus Erdkundungssatelliten prinzipiell möglich ist.

Problematischer ist der räumliche Bezug bei der Auswertung der Daten aus Wettersatelliten. Sensoren wie AVHRR bilden nur dann weniger als 10 % Mischpixel ab, wenn die Mindestflächengröße der Untersuchungsobjekte über 10 km² beträgt. Das zumindest ergibt sich, wenn man deren Anteil in gleicher Weise abschätzt, wie das bei Erdkundungssatelliten geschehen ist. Daraus folgt, daß auf diese Weise zwar der Zustand einiger Forstgebiete in der DDR klassenrein abgebildet werden kann, der der landwirtschaftlichen Nutzflächen jedoch nicht. Dennoch spiegelt sich auch bei einem höheren Anteil von Mischpixeln die Phänologie von großflächig dominierenden Nutzungsarten relativ deutlich im Wettersatellitenbild wider, wie am Beispiel des Tieflandes der DDR zu sehen ist, zumal die Informationsbreite der Wettersatelliten - durch Einbeziehung der thermischen Werte - höher sein kann als bei Erdkundungssatelliten. Eine gebietsbezogene Interpretation des Entwicklungszustandes von landwirtschaftlichen Kulturen mit hohem Flächenanteil erscheint deshalb möglich.

Für die landschaftskundliche Prozeßforschung ist jedoch stets zu beachten, daß von Satellitendaten direkte Beziehungen zu den punkthaft am Boden gewonnenen Meßdaten nicht herstellbar sind. Jedes Signal, das vom Scanner eines kosmischen Satelliten aufgenommen wird, registriert für den jeweiligen Spektralauszug das Integral der Eigen- oder Remissionsstrahlung der Erde im momentanen Blickfeld (vgl. Abb. 1). Das heißt, die Bezugsbasis für die Landschaftsdiagnose mit Hilfe kosmischer Fernerkundungsdaten können nur landschaftliche Einheiten der chorischen Dimension sein: in der Regel Nano- oder Mikrochoren bei der Interpretation von Daten aus Erdkundungssatelliten, Mikro- und Mesochoren, möglicherweise

auch Makrochoren, bei der Auswertung des Datenmaterials von Wettersatelliten. Die Brücke von der topologischen zur chorologischen Arbeitsweise muß also am Boden oder durch die Nutzung von Flugzeugaufnahmen geschlagen werden.

Dennoch sollte die Aussagekraft kosmischer Fernerkundungsdaten für die Landschaftsdiagnose nicht unterschätzt werden, insbesondere, wenn sie in entzerrter Form vorgelegt werden können. Schon jetzt zeigt sich, daß sie eine wesentliche Grundlage für die Prüfung der Repräsentativität und die räumliche Verallgemeinerung der in Testgebieten gewonnenen Ergebnisse darstellen können /8/, für Schritte also, die bei der Anwendung dieser Ergebnisse in der volkswirtschaftlichen Praxis erforderlich sind. Es erscheint deshalb lohnenswert, die Methodik für die Einbeziehung kosmischer Fernerkundungsdaten in die Landschaftsdiagnose weiter auszubauen.

Literatur

- /1/ AMBROZIAK, R. A.: Global crop monitoring: an integrated approach.- Bordeaux: 1984
- /2/ BARSCH, H.; MAREK, K. H.; SÖLLNER, R. u. H. WEICHELT: Investigation of spectral characteristics of natural Objects in testsites of the GDR.- In: Internat. arch. Photogrammetry and remote sensing. Comiss. 7.- 25(1984) A7.- S. 75 - 84
- /3/ BARSCH, H. u. H. WIRTH: Landnutzungskartierung im Tiefland der DDR auf der Grundlage von Satellitendaten.- In: Vermessungstechnik 32(1984)7.- S. 222 - 228
- /4/ BELČANSKIJ, G. I.; KONDRAT'JEV, K. J.; KOŽODEROV, V. V.; SAŽONOV, N. V.; TOPČIEV, A. G.; u. P. P. FEDČENKO: Izpol'zovanie distancionnyh optičeskych izmerenij v sel'skou chožajstve.- In: Issledovanie žemli iz kosmosa (1984)5.- S. 8 - 24
- /5/ CHITTINENT, C. B.: Estimation of properties in mixed pixels through their region characterization.- In: Machine processing of remotely sensing data symposium 1981.- S. 292 - 301
- /6/ MIGUET, I. N.; BARET, F. u. G. GUYDOT: Estimation de la production du bee a partir des mesures radiometriques des les canaux 5 et 7 de landsat, Resumes - Colloque International, Signatures spectrales d'objects en teledetection.- Bordeaux: 1983
- /7/ NEUMEISTER, H.: Zu Theorie und zu Aufgaben in der geographischen Prozeßforschung.- In: Petermanns Geogr. Mitt. 122(1978)1.- S. 1 - 11
- /8/ RJABČIKOVA, V. I.: Sostavlenie raznomaštabnyh kart s izpol - zovaniam kosmičeskoj fotoinformacii.- In: Issledovanie žemli iz Kosmosa (1984)4.- S. 39 - 45
- /9/ SCHUBERT, R.: Beziehungen zwischen Remissionseigenschaften, Chlorophyllgehalt, Blattflächenindex und Biomasse bei Winterroggen. Forschungsbericht.- Potsdam: 1984
- /10/ SÖLLNER, R.; MAREK, K. H.; SIEGERT, R. u. K. SCHMIDT: On the extraction of textural and structural features in remote sensing data.- In: Internat. arch. photogrammetry and remote sensing 7.- 25(1984) A7.- S. 471 - 480

Methoden der Grundlagenforschung und praktische Verfahren zur Anwendung der Fernerkundung in der Landwirtschaft

K. WEISE

Die Zielstellung beim Einsatz der Fernerkundung in der Landwirtschaft besteht darin, mit hoher Effektivität flächenbezogene objektive Informationen für die lang- und mittelfristige Leitung und Planung der Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit sowie Daten zur operativen Steuerung der Entwicklung von Pflanzenbeständen für die Ertragestabilisierung bzw. -erhöhung bereitzustellen.

Die Bedeutung und die Zweckmäßigkeit des Einsatzes der Fernerkundung in der Landwirtschaft ergibt sich aus folgenden Aspekten:

- großer Flächenumfang (ca. 6,2 Mill. ha LN);
- Möglichkeit der Erfassung vieler Einzelfaktoren in einer Szene zum gleichen Zeitpunkt;
- Erkennbarkeit der direkten oder indirekten Zusammenhänge zwischen den einzelnen Elementen in der Landschaft;
- Erkennbarkeit kurz- oder langfristig, vor allem flächenhaft ablaufender Prozesse; dazu sind wiederholte Aufzeichnungen besonders geeignet, wobei auch Einzelaufnahmen zum gegebenen Zeitpunkt direkte Wirkungen oder Nachwirkungen, z. B. Wassererosion, erkennen lassen;
- großes Pflanzenartenspektrum mit Veränderungen während der Vegetationszeit.

Zur Realisierung dieser potentiellen Nutzung sind zwei konkrete Aufgabenstellungen in der Forschung zu bearbeiten:

1. Vorlauftforschung zur Findung neuer Meßprinzipien sowie Untersuchungen zur automatisierten Verarbeitung von Fernerkundungsaufzeichnungen;
2. Adaption von Fernerkundungsmethoden und -verfahren zur Anwendung in der landwirtschaftlichen Praxis.

Nachfolgend sollen einige Ergebnisse und Anwendungsbeispiele zum letzten Komplex erläutert und dargestellt werden. Für eine standortgerechte Nutzung und an die wechselnden Bodenbedingungen angepaßte Bewirtschaftung von Acker- und Grünlandschlägen ist die Kenntnis der Bodenheterogenität sehr wesentlich. Deren Kennzeichnung kann mit Hilfe des Luftbildes rationell unterstützt werden. Die Verfahrensweise hierfür ist in einer "Arbeitsrichtlinie" dargestellt worden. Diese Arbeitsrichtlinie ist als Gemeinschaftsarbeit mehrerer Einrichtungen entstanden.

Wesentliche neue Elemente dieser Anleitung für die Praxis sind die flächenhaften Ausgrenzungen von standortbedingten Bestandesdifferenzierungen sowie von vernähten Arealen innerhalb einer Bewirtschaftungseinheit.

- Für viele landwirtschaftliche Aussagen ist der Pflanzenbestand bzw. der Ertrag das Entscheidende. Er ist gleichzeitig das integrierende Kennzeichen für die Bodenfruchtbarkeit. Bei größeren Ertragschwankungen innerhalb eines Schläges ist er ein Ausdruck der Bodenheterogenität.

Zur Erfassung und flächenhaften Ausgrenzung von Differenzierungen im Pflanzenbestand innerhalb eines Schläges wurde das Luftbild mit Erfolg eingesetzt. Untersuchungen zeigten, daß mit dem sowjetischen Falchfarbfilm SN-6 drei statistisch gesicherte Klassen der Bestandesdifferenzierung abgrenzbar sind /3/.

Die Klassen sind wie folgt definiert:

- Klasse 1: Flächen mit normal entwickeltem dichten Bestand
- Klasse 2: Flächen mit stark gemindertem Bestand
- Klasse 3: Flächen ohne bzw. fast ohne Bestand

Die Klassen der Bestandesdifferenzierung sind bei einigen Pflanzenarten gleichzeitig Klassen der Ertragsdifferenzierung. Der Relativertrag betrug z. B. bei Getreide auf einem heterogenen Schlag im Norden der DDR etwa 100 : 60 : 0. Dabei muß beachtet werden, daß der absolute Flächenanteil der einzelnen Klassen am Gesamtschlag von der Klasse 1 zur Klasse 3 stark abnimmt.

Ein bedeutender Einflußfaktor für die Ertragsbildung und zugleich eine Störgröße bei der Bewirtschaftung sind vernäßte Stellen (Areale) innerhalb eines Schlages. Quantitative Angaben über Anzahl, Umfang und Intensität von Naßstellen sind daher wichtige Informationen über evtl. durchzuführende ackerbauliche oder meliorative Maßnahmen.

Vernäßte Areale sind durch Nutzung des Luftbildes in Verbindung mit anderen Standortdaten flächenhaft ausgrenzbar /6/.

Zur Einschätzung des Schlages dienen neben Luftbildern vorhandene Kartenunterlagen zum Boden, zum Relief und der Topographie.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Form von nutzerfreundlichen thematischen Karten für die Pflanzenproduktionsbetriebe.

Eine weitere Einsatzmöglichkeit des Luftbildes ist bei der Erfassung von Flurgehölzen gegeben. Zur Inventur des Holzvorrates bei Schutzpflanzungen wurde eine Methode erarbeitet /5/. Mit Hilfe der Kriterien Kronendurchmesser, Baumhöhe und -anzahl im Luftbild ist eine Abschätzung des Holzvorrates wesentlich effektiver als bei alleinigen terrestrischen Erhebungen möglich.

Mit Hilfe der genannten Arbeitsrichtlinien können vorwiegend stabile Standortfaktoren und Landschaftselemente erfaßt und interpretiert werden. Zur operativen Erfassung und Einschätzung landwirtschaftlicher Flächen und Pflanzenbestände sind sogenannte Inspektionsflüge (ISF) geeignet, wozu eine Arbeitsrichtlinie mit Bildbeispielkatalog in Kooperation mit den fruchtartenspezifischen Instituten der AdL und dem WTZ Frankfurt/O. für die praktische Nutzung erstellt worden ist /7/.

Inspektionsflüge erfolgen mittels kleiner, relativ langsam fliegender Flugzeuge (AN-2 und Wilga) bzw. mit dem Hubschrauber. Von Bord eines solchen Luftfahrzeuges beurteilen erfahrene Fachleute der Pflanzenproduktion aus ca. 50 bis 150 m Flughöhe die Situation auf den landwirtschaftlich genutzten Schlägen entlang den vorher festgelegten Flugtrassen.

Ergänzend zu der visuellen Taxation können von typischen Erscheinungen Luftbildschrägaufnahmen mittels Handkamera oder Videoaufzeichnungsgerät als Dokumentationsmaterial zur besseren Auswertung angefertigt werden.

Der Erfolg eines entsprechenden Fluges hängt von der exakt formulierten Aufgabenstellung, der Erfahrung des Taxators und der organisatorisch-technischen Vorbereitung ab. Dazu gehört ein aktueller Anbauplan mit gut gekennzeichneten Flugtrassen.

Einige wichtige Aussagemöglichkeiten sollen anhand von Luftbildschrägaufnahmen demonstriert werden.



Abb. 1 Flächen mit unterschiedlichem Bodenfeuchtegehalt auf pleistozänem Standort im Norden der DDR

- schwarz = offene Gewässer
- dunkle Grautöne innerhalb der Schläge = Flächen mit hohem Bodenfeuchtegehalt

Filmart: NI 750 Aufnahmeterrnin: 20. 4. 1983
Maßstab: ca. 1 : 12 500 Freigabe-Nr.: LFB 10/78



Abb. 2 Stark erodierte Kuppe mit Unkraut-
besatz (Bildmitte unten)
Fruchtart: Getreide
Aufnahmeterrnin: 4. 7. 1982
Freigabe-Nr.: ZLB/L 8200 18 - 47

Abb. 3 Wintergetreide mit starkem Lager
(helle Flächen)
Aufnahmeterrnin: 20. 6. 1983
Freigabe-Nr.: ZLB/L 83 000 21 - 10

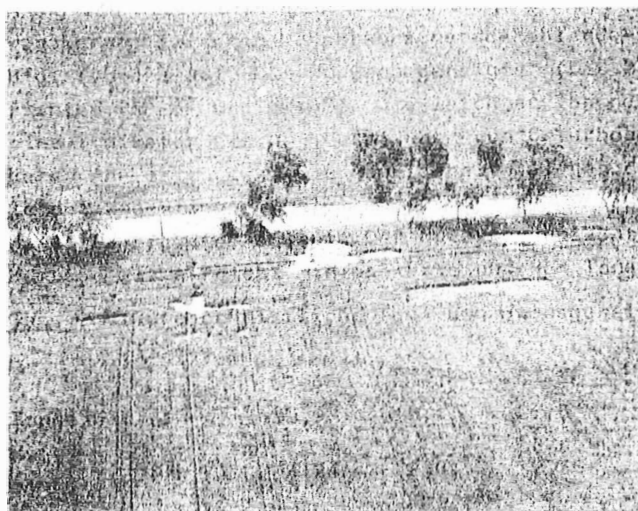
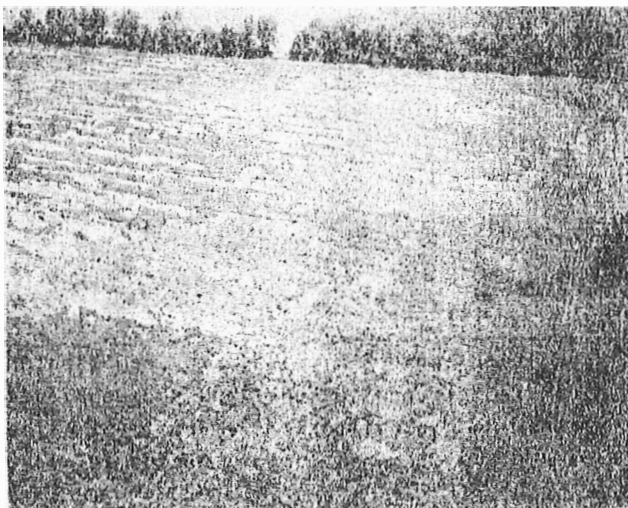


Abb. 4 Fehlstellen infolge fehlarhaften
Ungangs mit Pflanzenschutzmitteln
Fruchtart: Getreide
Aufnahmeterrnin: 10. 6. 1983
Freigabe-Nr.: ZLB/L 8300 15 - 2

Noch nicht praxiareif sind Aufnahmeverfahren im thermischen Infrarot. Einige interessante Versuchsergebnisse, die für den Pflanzenbau von Interesse sind, sollen angedeutet werden. So konnte festgestellt werden, daß Streßsituationen von Pflanzenbeständen mit Hilfe der Thermographie früher als in Luftbilddaufnahmen erkannt werden /1, 2/.

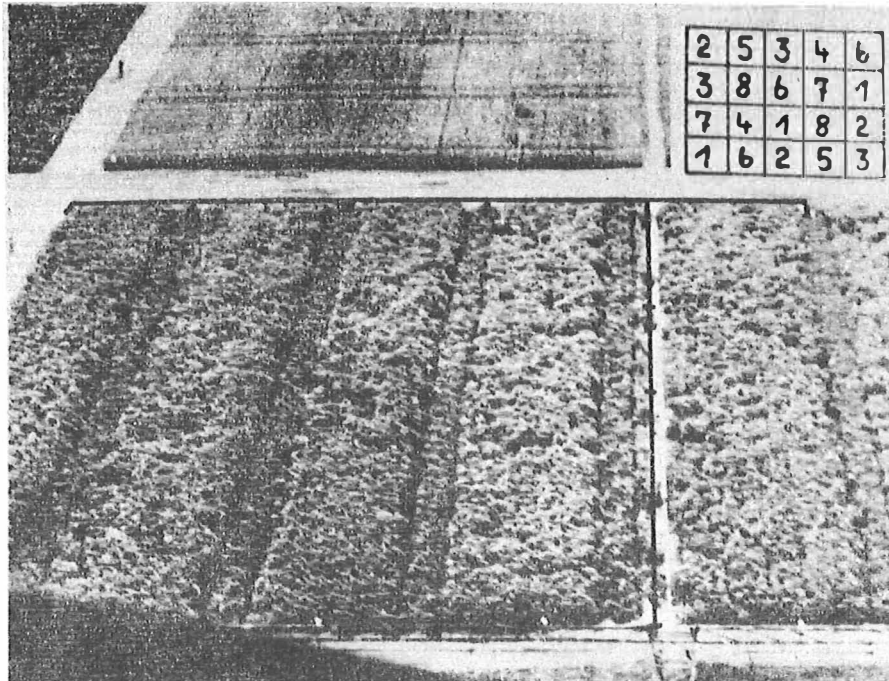


Abb. 5 Parzellenberegnungsversuch mit unterschiedlich hohen Wassergaben
a) Visuell keine Unterschiede im Pflanzenbestand erkennbar

Filmart: NP 22 Bestand: Kartoffeln
Aufnahmehöhe: 50 m Freigabe-Nr.: ZLB/L 0380/81
Aufnahmeterrnin: 8. 7. 1981

Ein weiteres Einsatzgebiet ist durch Modellflugzeuge erschließbar. Die Forschung auf dem Gebiet der Pflanzenproduktion erfordert viele Freilandexperimente in Form von Parzellenversuchen sowie Untersuchungen auf Produktionsschlägen. Zur Informationsgewinnung eignen sich hierfür Kleinflugzeuge bzw. Flugmodelle. Sie sind äußerst rentabel und operativ einsetzbar. Ihr Einsatz wurde in der DDR bereits getestet /4/. Erste Versuche in der Abt. Fernerkundung des FZB Müneheberg bestätigen die positiven Erfahrungen (CLAUS-NITZER, unveröffentl. Ergebnisse).

Eingesetzt werden:

- Rogalloflügler aus der ČSSR
Vorteile:
 - sehr gute Langsamflugeigenschaften
 - kardanische Kameraaufhängung
- Kleinflugzeuge aus der ČSSR
Vorteile:
 - sehr gut steuerbar
 - Anbringung von 2 Kameras möglich

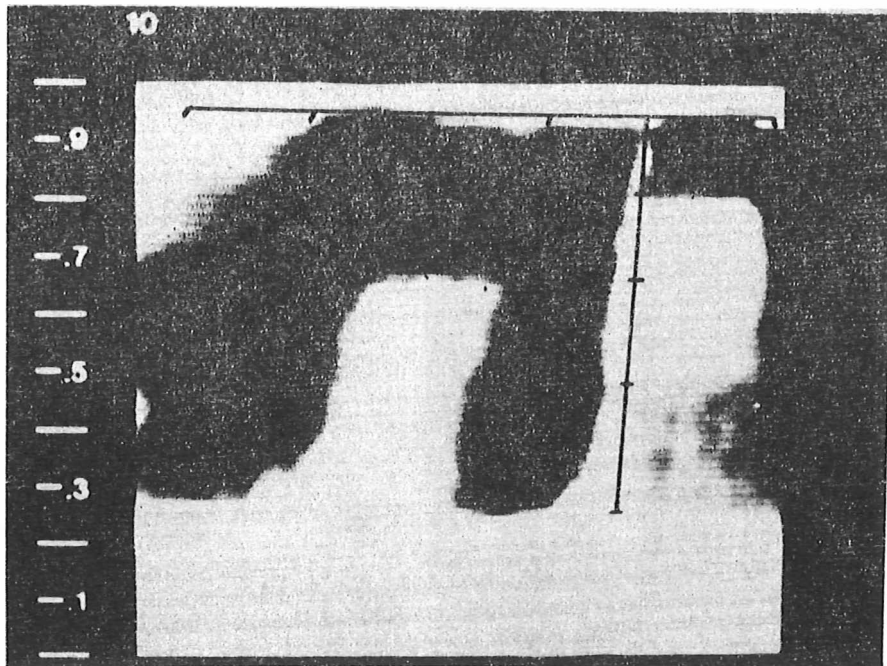


Abb. 5 Parzellenberechnungsversuch mit unterschiedlich hohen Wassergaben.

b) Der gleiche Versuch in der Thermobildaufnahme:

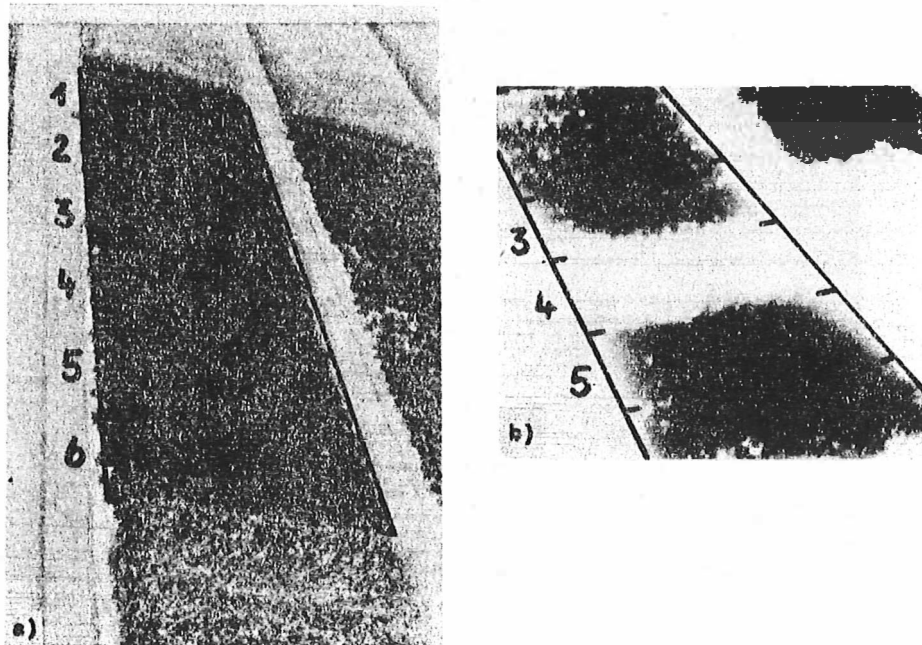
Deutliche Unterschiede im Grauton zwischen den Berechnungsvarianten.

Aufnahmegerät: AGA-Thermovisionengerät 750

Freigabe-Nr.: ZBL/L 0386/81



Abb. 7 Standortaufnahme mittels Kleinbildkamera am Flugmodell;
Freigabe-Nr.: 840028-38
• Differenzierung des Flächenauschnittes gut erkennbar



- Abb. 6**
- a) Versucheparzellen mit unterschiedlichem Nematodenbesatz. Visuell keine Differenzierung des Bestandes erkennbar.
 Filmtyp: MP 20 Aufnahmeterrnin: 2. 7. 1982
 Aufnahmehöhe: 25 m Bestand: Kartoffeln
- b) Der gleiche Versuch in der Thermovisionaufzeichnung. Deutliche Unterschiede im Grauton bei unterschiedlich vereuchteten Parzellen.
 Helle Partie: 30 080 Eier und Larven/100 g Boden
 Dunkle Partie: 156 ... 209 Eier und Larven/100 g Boden
 Durchschnittstemperatur bei Parzelle 4: 25,7 °C
 " " der Nachbarparzellen: 24,2 °C

Gewisse Probleme bestehen noch in der genauen Höhenbestimmung und in der Bedienung bzw. Steuerung des Flugmodells, wozu große Fertigkeiten und Erfahrungen erforderlich sind.

Soweit ein Überblick über einige Aspekte der Nutzung der Fernerkundung in der Landwirtschaft, wobei auf die Spezialprobleme der Melioration und des Obstbaues nicht eingegangen wurde.

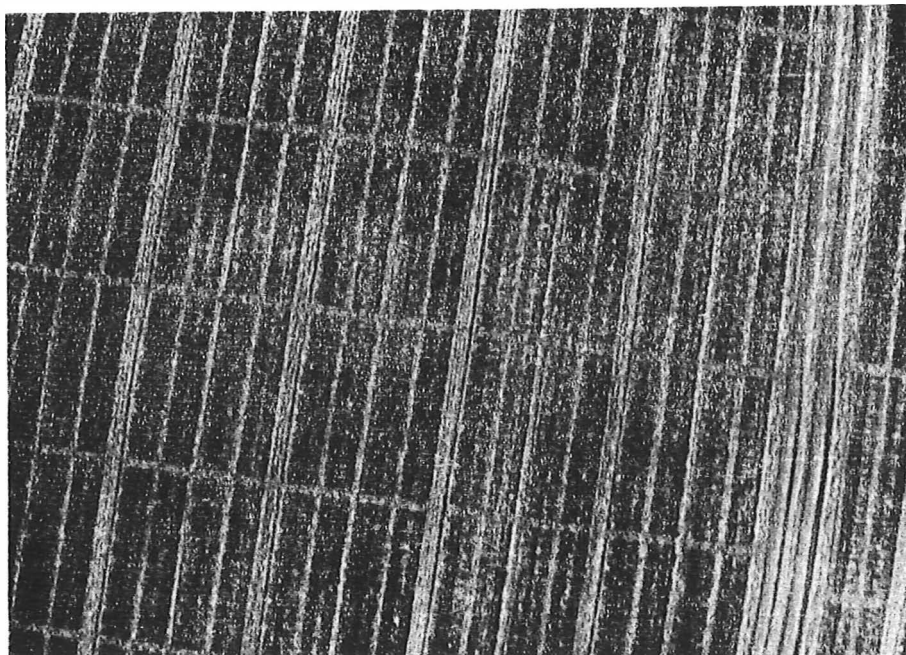


Abb. 8 Versucheparzellenanlage; Freigabe-Nr.: ZLB/L 830040-15
Unterschiede im Beestand gut erkennbar

Literatur

- /1/ GEBHARDT, A.: Beurteilung des Wasser- u. Nährstoffversorgungsstatus von Pflanzenbeständen mittels Thermografie.- In: Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkde.- Berlin 28(1984)4.- S. 231 - 237
- /2/ GEBHARDT, A.: Möglichkeiten zur Früherkennung phytopathologischer Erscheinungen mit Hilfe der Thermografie - Übersicht und erste Ergebnisse.- In: Arch. Phytopathol. u. Pflanzenschutz.- Berlin 20(1984)5.- S. 437 - 445
- /3/ HEYMAN, H.-C.; THAMM, B.: Methodische Grundlagen zur Identifizierung und Ausgrenzung standortbedingter Ertragsdifferenzierungen mittels Luftbild.- 1984.- Berlin, Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, Diss. A
- /4/ MAREK, K. H. u. a.: Erste Erfahrungen beim Einsatz von RC-Bildflugzeugen für Grundlagenforschungen zur Fernerkundung.- In: Veröff. des Zentralinst. f. Physik der Erde. (1984)76.- S. 118 - 125
- /5/ OTT, M.: Methode zur Inventur von Flurgehölzpflanzungen mittels Luftbild: F/E-Bericht.- Ebarewalde, 1984
- /6/ SCHULZ, R.: Erkennbarkeit der Bodenverhältnisse auf Ackerland in Luftbildern unter besonderer Berücksichtigung der Berglehmatandorte in der Standortgruppe 13.- 1984.- Berlin, Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, Diss. A
- /7/ WEISE, K.; REINHOLD, A.: Inspektionsflüge erschließen Reserven in der Pflanzenproduktion; Feldwirtschaft (im Druck)

Abbildungsverhalten bodenerosiv differenzierter Lößböden des mittelsächsischen Hügellandes in multispektralen Luftbildern

H. SCHRÖDER

1. Einleitung

Bodenerosive Abspül- und Auswehungsprozesse richten in Lößlandschaften unter den gegenwärtigen Produktionsbedingungen beträchtliche Schäden an /5/. Die Zeugen der abgelaufenen Prozesse können in Luftbildern direkt durch Erosionsspurenenerfassung (saisonaler Aspekt) oder durch die Kartierung von Tönungaunterschieden in der Ackerkrume, die sich im Bildmerkmal "Grauton" quantifizieren lassen, erfaßt werden. Das Bildmuster der Grautöne stellt dabei eine markante Widerspiegelung der räumlichen Heterogenität in landwirtschaftlichen Nutzflächen dar /8, 9/. Unterschiedlich stark bodenerosiv geschädigte Standorte in landwirtschaftlichen Nutzflächen variieren durch ihre Krumen- und Unterbodeneigenschaften, die durch Indikatoren auf die Krumeigenschaften rückwirken, so, daß die diffuse Reflexion oder Remission der Sonneneinstrahlung ähnlich wie bei unterschiedlichen Bodenformen /2, 4/ zu einem differenzierten spektralen Verhalten führt. Das zur Analyse des spektralen Verhaltens erfolgversprechendste, auswertbarste und in mehreren Landschaftseinheiten zur Verfügung stehende Bildmaterial ist der multispektrale Bildsatz der MKF-6 vom VEB Carl Zeiss JENA.

2. Zum Wesen der Multispektralphotographie

Jeder Körper bzw. jede Oberfläche (Objekt) remittiert elektromagnetische Strahlung, wobei auf das Objekt auftreffende Strahlung reflektiert und vom Objekt ausgehende Eigenstrahlung emittiert wird. Die Gesamtheit stellt die diffuse Rückstrahlung oder Remission dar, die von einem Sensor aufgezeichnet werden kann. Das diffuse Rückstrahlungsvermögen natürlicher Objekte ist innerhalb der einzelnen Abschnitte des elektromagnetischen Spektrums verschieden und von den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Objektes, von der spektralen Intensitätsverteilung der Beleuchtungsquelle, von der Strahlungbeeinflussung aus der Umgebung des Objektes, von der Wechselwirkung mit der Atmosphäre auf dem Weg von der Objekt-oberfläche zum Sensor und von den wellenabhängigen optischen Eigenschaften des Sensorsystems abhängig /3/.

Im Gegensatz zu anderen Methoden in der Geofernerkundung erhält man bei der Multispektralphotographie mehrere spektrale Informationen über das zu untersuchende Objekt bei gleichem Objektzustand. Je mehr spektrale Informationen zur Verfügung stehen, desto eher und desto sicherer können Rückschlüsse auf physikalische und chemische Eigenschaften des Objektes gezogen werden. Dabei ist weniger die Einzelinformation in einem Kanal interessant, sondern vielmehr das relative Verhalten zwischen den einzelnen Kanälen. Die Objekteigenschaften lassen sich dementsprechend nur durch geeignete, gewichtete Kanalkombinationen erschließen. Sinn der multispektralen Analyse muß es sein, das spektrale Abbildungsverhalten bestimmter Objekte aufzudecken, ihren Gültigkeitsbereich zu definieren und das spektrale Verhalten unbekannter Objekte zu messen und durch Vergleich mit den Spektreigenschaften der bekannten Objekte eine Identifikation durchzuführen und Aussagen über den Zustand zu machen. Dabei ist zu erwarten, daß sich analytische Objektparameter stark durchdringen und erst die integralen Eigenschaften einen signifikanten Zusammenhang mit dem spektralen Verhalten des Objektes zeigen.

3. Die natürliche Ausstattung des Testschlages

Der Testschlag befindet sich im Mittelsächsischen Hügelland nördlich der Ortschaft Börtwitz im Kreis Döbeln (Bezirk Leipzig) und bildet einen wesentlichen Teil der Talanfengmulde der Döllnitz in einer Höhenlage von 210 bis 220 m ü. NN. Die im Liegenden sich befind-

denden kaolinisierte Rochlitzer Quarzporphyre werden von einer im Durchschnitt über 2 m mächtigen Lößdecke überlagert, die im digitalisierten und beprobten Bildausschnitt ausnahmslos remissionswirksam ist. Eine areale Feingliederung des Testschlages ist von SCHRÖDER /6/ gegeben worden.

Das langjährige Niederschlagsmittel im Nordwesten des Kreises Döbeln beträgt zwischen 600 und 650 mm/a bei einer Durchschnittstemperatur von 7,8 bis 8 °C. Die schwach geneigten Reliefverhältnisse bedingen eine mäßige bis geringe Erosionsdisposition. Daß jedoch beim Überschreiten der Auslöseschwelle akute Schäden auftreten können, zeigt ein Ereignis vom 4. 8. 1983. Es wurden bei einem Niederschlag von 93,8 mm/d (Station Mutzschen) und einem Einzugsgebiet von ca. 6 ha eine Akkumulationsform von durchschnittlich 85 x 30 x 0,3 m (rund 765 m³) geschaffen, die erosiv zerschnitten war und einen bedeutenden Materieltransport über die Drainage erfuhr.

Nur auf ebenen Flächen sind nichtgekappte Bodenprofile anzutreffen. Etwa ab 1 - 2° Hangneigung werden Unterbodenhorizonte eingepflügt, die ab 3° Neigung stark remissionswirksam werden.

4. Untersuchungsmethoden

Elektromagnetische Strahlung im Bereich des sichtbaren Lichtes und des nahen Infrarot (Kanäle des multispektralen Bildsatzes) ist nicht in der Lage, direkte Informationen über tieferliegende Bodenhorizonte zu liefern. Aus diesem Grunde ist es notwendig, über die zeitliche, die räumlich-horizontale Veränderung und die stoffliche Zusammensetzung auf abgelaufene Prozesse und tieferliegende Schichten zu schließen. Die bodenkundlichen Feldmethoden stützen sich deshalb auf die Erkundung des Ap-Horizontes, der als homogener Mischhorizont betrachtet wird. Das Testareal wurde systematisch nach dem Rasterprinzip dem digitalisierten Bildnetz angepaßt beprobt (Abb. 1).

$$\mathcal{X}_{i,j} = \begin{pmatrix} x_{1.1} & \dots & x_{1.j} & \dots & x_{1.36} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{i.1} & \dots & x_{i.j} & \dots & x_{i.36} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{4.1} & \dots & x_{36.j} & \dots & x_{36.36} \end{pmatrix} \quad \mathcal{Y}_{k,l} = \begin{pmatrix} y_{1.1} & \dots & y_{1.l} & \dots & y_{1.11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ y_{k.1} & \dots & y_{k.l} & \dots & y_{k.11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ y_{10.1} & \dots & y_{10.l} & \dots & y_{10.11} \end{pmatrix}$$

Verknüpfungsschema von $\mathcal{X}_{i,j}$ und $\mathcal{Y}_{k,l}$.

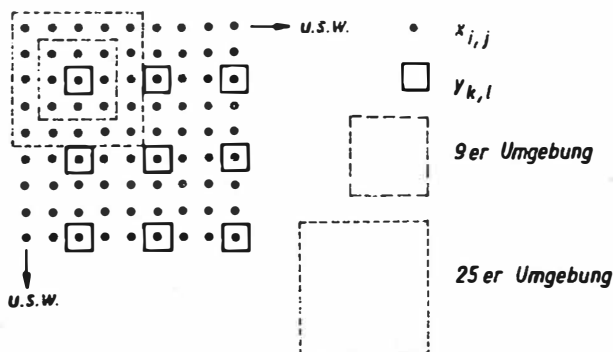


Abb. 1 Erfassungsmatrizen der Bild- und Bodendaten

Der multispektrale Bildsatz stammte vom 1. 6. 1982. Zu diesem Zeitpunkt herrschte ein Bewachungsgrad von unter 25 % des mit Zuckerrüben bestellten Schlages vor. Das areale Verteilungsmuster war deutlich sichtbar und entsprach in den wesentlichen Zügen den vom 2. 4. 1982 bei unbedecktem Boden, welches auf Grund von zu starkem Randabfall in allen Kanälen nicht verwendbar war.

Der multispektrale Bildsatz wurde mit dem MD 100 des VEB Carl Zeiss JENA digitalisiert, wobei netzartig im Abstand von 8 Bodenmetern der relative Grauton gemessen wurde. Die überdeckte Bodenfläche betrug $3,2 \times 3,2 \text{ m}$ (ca. 10 m^2). Das Gesamtnetz betrug 34×36 Bildpunkte.

Die terrestrische Gegenerkundung erfolgte netzangepaßt mit der Beprobung jedes dritten Bildpunktes, ansetzend in der 3. Spalte und der 3. Zeile. Dies ließ die Möglichkeit zu, die Pixelrepräsentanz durch die 9er und 25er Umgebung zu überprüfen.

Der terrestrische Beprobungsaufwand betrug 10 x 11 Mischproben des Ap-Horizontes, die im April 1983 gezogen wurden. Um die Bodenfeuchte in die Untersuchungen einbeziehen zu können, erfolgte eine mehrfache Probenahme zu sehr verschiedenen Feuchtezuständen im Frühjahr 1983. Es zeigte sich, daß der mittlere Bodenfeuchtezustand am trefftesten mit dem relativen Grautonnetz aller 6 Kanäle des Bildsatzes vom 1. 6. 1982 korreliert. Es ist daher zum Aufnahmezeitpunkt ebenfalls mit einer mittleren Bodenfeuchte zu rechnen, die auch nach den meteorologischen Daten /7/ zu erwarten war. Für weitergehende Untersuchungen (Regressionsansätze) wurden die Bodenfeuchtedaten nicht berücksichtigt.

Von den Bodenproben sind die Textur (GS, MS, FS, GU, MU, FU, T) nach KÜHN, der Humusgehalt aus dem organischen Kohlenstoff, der Eisengehalt und der Mangangehalt mit dem Atomabsorptionsspektrometer und als integrales Merkmal die Bodenfarbe mit Hilfe der Munsell Soil Colour Cards bestimmt worden. Vorhergehende Untersuchungen ergaben, daß der Kalkgehalt sehr niedrige Absolutwerte und geringe Varianzen aufweist; demzufolge wurde auf die laborative Analyse verzichtet. Mit Ausnahme der aktuellen Bodenfeuchte, die nur synchron-terrestrisch zu ermitteln ist, sind die wichtigsten remissionsrelevanten Objekteigenschaften nach /1/ berücksichtigt worden.

5. Ergebnisse

Die relativen Grauwerte der 6 Kanäle des multispektralen Bildsatzes und die Laborwerte der Bodenproben wurden miteinander korreliert und der Korrelationskoeffizient berechnet (Abb. 2).

	Grobschluff	Mittelschluff	Ton	Humus	Mangan	Eisen	Feuchte	Farbe	Kanal 1	Kanal 2	Kanal 3	Kanal 4	Kanal 5	Kanal 6
K 1			○				○	×						□ $r < 0,8$
K 2	●		○		●		□	□	×				×	$r < 0,6$
K 3			○	●	○		×	×	×	×			○	$r < 0,4$
K 4	●		○	●	●		□	□	×	□	×		●	$r < 0,24$ ($\sigma_1\%$)
K 5			●		●		×	×	×	□	×	×	●	$r < 0,18$ ($\sigma_5\%$)
K 6		●	×	●	●		○	×	×	×	□	×	×	

Abb. 2 Korrelationsmatrix der Bild- und Bodendaten

Die Tonfraktion besitzt von der Textur die größte Aussagefähigkeit. Die Ursache dafür dürfte in der Tatsache liegen, daß die Varianz des Tongehaltes höher als die anderer Korngrößenfraktionen ist. Es existieren auf rund einem Viertel der Testfläche Areale, auf denen der Ap-Horizont vollständig abgetragen ist und der Bt-Horizont zum Pflughorizont wird. Dies zeigte sich in einer deutlichen Erhöhung des Tongehaltes. Eine untergeordnete Rolle spielt der Grobschluffgehalt. Lößstandorte sind schon bei geringen Hangneigungen stark erosionsgefährdet, wobei der Grobschluff die stärksten Varianzen aufweist /5/.

Von den analysierten geochemischen Parametern konnten beim Eisengehalt keinerlei Korrelationen mit den relativen Grauwerten des multispektralen Bildsatzes nachgewiesen werden. Der Humusgehalt korreliert bei einem 1 %-Signifikanzniveau mit den Kanälen 3 und 6. Der straffste Zusammenhang konnte beim Mangengehalt mit etwa gleicher Intensität bei den Kanälen 3, 4, 5 und 6 nachgewiesen werden.

Auf Grund der Korrelationskoeffizienten sind durch F- und T-Tests gesicherte Regressionsansätze von Kanalkombinationen bei maximalem Bestimmtheitsmaß B berechnet worden (Tab. 1):

Tab. 1 Statistisch gesicherte Regressionsansätze (F-, T-Test) der Kanalkombinationen

Zielgröße	Kanal- kombination	Regressionsansatz
Grobschluff	2, 4	$y = 3,8 \cdot 10^3 + 16,4 x_1 - 9,8 x_2$
Mittelschluff	4, 6	$y = 2,4 \cdot 10^3 - 7,5 x_1 - 12,3 x_2$
Ton	2, 4	$y = 2,5 \cdot 10^3 - 5,5 x_1 - 2,8 x_2$
Humus	1, 6	$y = 1,2 \cdot 10^2 - 0,4 x_1 - 1,2 x_2$
Mangan	1, 2, 3, 4	$y = 3,3 \cdot 10^2 - 0,7 x_1 - 1,2 x_2 + 4,7 x_3 + 1,1 x_4$

Synthetisiert man ein Bild mit den Kanalkombinationen, die über den Regressionsansatz gewichtet sind, so zeigt der entstandene relative Grauton eine lineare Abhängigkeit von der jeweiligen Zielgröße mit der Sicherheit des Bestimmtheitsmaßes. Mit Hilfe der Kanalkombinationen war es möglich, die Bestimmtheitsmaße der einzelnen Zielgrößen um 30 - 200 % zu erhöhen.

Die terrestrischen Daten und der Profilaufbau bildeten die Grundlage für die Ausgliederung von Bodenformengesellschaften (Abb. 3). Auf ebenen Standorten tritt dabei eine Differenzierung zwischen Lößparabraunerde-Fahlerde-Bfg. (öP-öF) und Lößbraunstaugley-Fahlerde-Bfg. (öU-öF) auf. Die schwach geneigten (bis 2°) Areale zeigen entsprechende gekappte Varianten (öP-öF und öU-öF). Die leichten Tönungsunterschiede der Bodenfarbe im Ap-Horizont sind Indikator für das Vermischen von Unterbodenhorizonten mit dem Rest des ehemals mächtigeren Ah-Horizontes. Die Humusgehalte liegen deutlich niedriger und der Tongehalt ist leicht angestiegen (vgl. Tab. 2). Stark gekappte Areale treten nur bei der Lößparabraunerde-Fahlerde-Bfg. (öP-öF) auf. Der Nutzungshorizont ist der aufgepflügte Bt-Horizont. Der Humusgehalt erreicht Minimalwerte und der Tongehalt Maximalwerte.

Tab. 2 Durchschnittliche Ton- und Humusgehalte der Bodenformenareale der Beprobungsfläche

	öP-öF	öP-öF	öP-öF	eöJ-öJ
Tongehalt (in %)	13,9	16,1	21,5	14,5
Humusgehalt (in %)	3,24	2,81	2,35	3,43

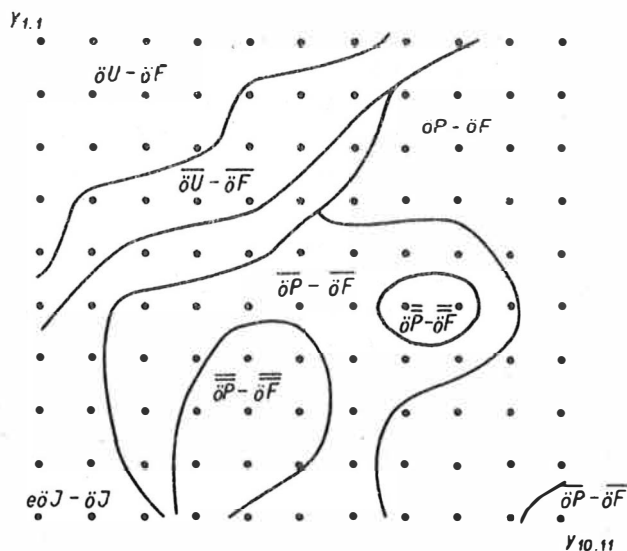


Abb. 3 Verteilungsmuster der Bodenformenareale mit terrestrischen Meßpunkten

In den Senken finden wir Kolluviallöß-Schwarzstaugleye, deren bodenchemische und -physikalische Kennziffern nur gering von denen der ebenen Hochflächenstandorte verschieden sind.

Spiegeln sich diese z. T. deutlichen Unterschiede der bodenchemischen und bodenphysikalischen Kennziffern im spektralen Abbildungsverhalten der Bodenformenareale wider?

Die einkanalige Betrachtungsweise des relativen Grautones führte trotz signifikanter Unterschiede zu erheblichen Überschneidungen. Eine Parallelisierung mit Bodenformenarealen konnte nicht durchgeführt werden.

Bildet man von zwei Kanälen Punktwolken im zweidimensionalen Merkmalraum und umgrenzt man diese mit der einfachen Streuung, so erhält man spektrale Streuungsellipsen, die bei den einzelnen Kanalkombinationen ein sehr unterschiedliches Verhalten aufweisen können. Die beste Trennung zeigt die Kombination der Kanäle 4 und 6 (Abb. 4).

Kompliziertere Strukturen können erst in höherdimensionierten Merkmalräumen voneinander getrennt werden. So gelang es durch die Kombination der Kanäle 4, 5 und 6, bei einfacher Streuung im dreidimensionalen Merkmalraum die Lößparabraunerde-Fahlerde-Bfg. von der Lößbraunstaugley-Fahlerde-Bfg. signifikant zu unterscheiden. Den Gesamtüberblick über das spektrale Trennungsverhalten der Bodenformenareale gibt Abb. 5.

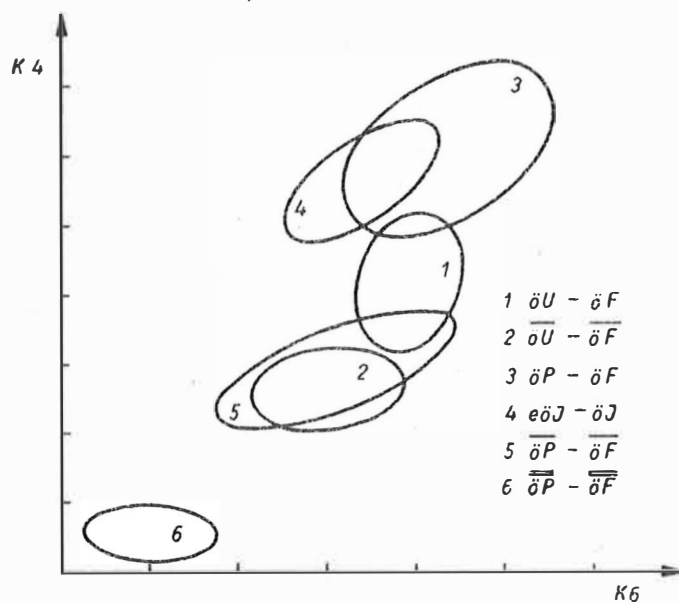
6. Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, daß im Mittelsächsischen Lößhügelland bei Bewachsungsgraden von etwa 25 % Kausalzusammenhänge zwischen Inhaltsstoffen des Ap-Horizontes, den daraus abgeleiteten Bodenformenarealen und der Schwärzung in multispektralen Bildsätzen bestehen. Es ist zu erwarten, daß in höherdimensionierten Merkmalräumen auch sehr ähnlich remittierende Objekte voneinander unterschieden werden können. Im zweidimensionalen Merkmalraum erwies sich die Kombination der Kanäle 4 und 6 als die optimale Trennungsvariante.

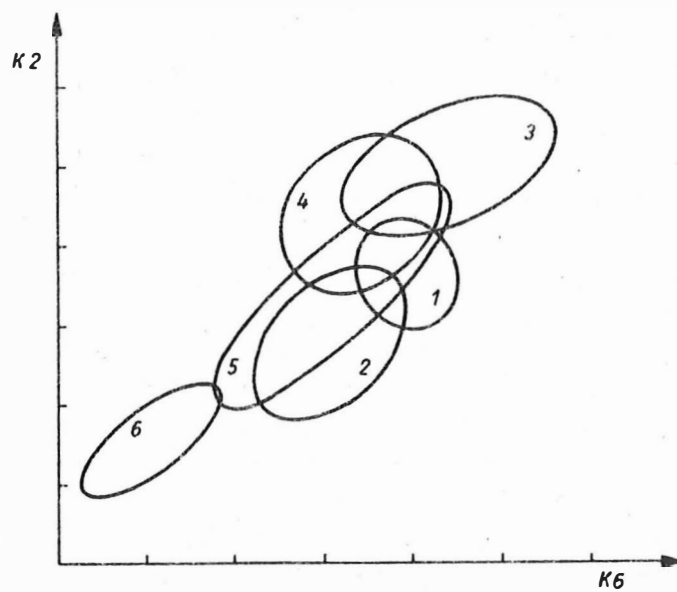
Die eindeutige Unterscheidung von Objekten in multispektralen Bildsätzen bildet die Voraussetzung für die Extrapolation terrestrischer Daten mit Hilfe der Multispektralanalyse,

so daß in festzulegenden Toleranzbereichen Rückschlüsse auf Objekteigenschaften bei vergleichbaren Kanalkombinationen gezogen werden können.

a) Kanal 4 ; Kanal 6



b) Kanal 2 ; Kanal 6



1-6 vgl. oben

Abb. 4 Spektrale Streuungsellipsen ($\sigma = 1$) der Bodenformenareale

Bodenformen- areale	1	2	3	4	5	6
1 $\overline{\text{öU}} - \overline{\text{öF}}$						
2 $\overline{\text{öU}} - \overline{\text{öF}}$	●					
3 $\overline{\text{öP}} - \overline{\text{öF}}$	●	⊙				
4 $\overline{\text{eöJ}} - \overline{\text{öJ}}$	⊙	○	n.t.			
5 $\overline{\text{öP}} - \overline{\text{öF}}$	n.t.	n.t.	●	●		
6 $\overline{\text{öP}} - \overline{\text{öF}}$	●	●	●	●	⊙	

● 75 - 100 % ● 0 - 25 %
 ⊙ 50 - 75 % n.t. nicht trennbar
 ○ 25 - 50 %

Abb. 5 Spektrale Trennungsmatrix der Bodenformenareale

Literatur

- /1/ GERBERMANN, A. H. & D. D. NEHER: Reflectance of Varying Mixtures of Clay Soil and Sand.- In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 45 (1979).- S. 1145 - 1151.
- /2/ HOFFMANN, H.: Beitrag über die Möglichkeiten der Identifizierung feuchtigkeitsbeeinflusster Ackerflächen im Luftbild.- 1971.- Eberswalde, Diss. A
- /3/ KAZMIERCZAK, H.: Erfassung und maschinelle Verarbeitung von Bilddaten.- Berlin, 1980.
- /4/ MINNUS, E.: Spektrale Remission unbewachsener Böden als Faktor bei der Luftbildinterpretation.- In: Geogr. Luftbildinterpr.- Bad Godesberg (1967)2
- /5/ SCHRÜDER, H.: Qualitative und quantitative Untersuchungen zur Erfassung der bodenereisiven Abspülung.- 1982.- Halle, Diss. A
- /6/ -.-: Musterausprägung und spektrales Abbildungsverhalten von Lössböden im Mittelsächsischen Hügelland.- In: Geogr. Ber. 29(1984a)3.- S. 185 - 196.
- /7/ -.-: Methodische Untersuchungen zur Erkundung arealer Verteilungsmuster aus multispektralen Luftbildern unter Standortbedingungen des Mittelsächsischen Hügellandes.- In: Forschungsber. Inst. f. Geogr. u. Geoökol., G 4-Ber., 1984b.
- /8/ SCHRÜDER, H. & G. VILLWOCK: Fernerkundung arealer Verteilungsmuster in der Agrarlandschaft - Methode zur physisch-geographischen Prozessanalyse.- In: Wiss. Mitt. Inst. f. Geogr. u. Geoökol. 11(1984).- S. 137 - 153.
- /9/ VILLWOCK, G.: Untersuchungen zur Ermittlung von Merkmalen der standörtlichen Heterogenität landwirtschaftlicher Nutzflächen mit Methoden der Geofernerkundung.- Halle, 1983.- Diss. A

Grundlagen und Beispiele der Abbildung von Böden in multispektralen Luftbildern

C. GLASSER

Der Boden stellt eine komplizierte Verknüpfung von bodenchemischen und bodenphysikalischen Parametern dar, die in ihrer Wirkung auf die Remission ein sehr unterschiedliches Verhalten zeigen.

Die wahrnehmungspsychologischen Begriffe "Sehen, Wahrnehmen" einerseits und "Identifizieren, Interpretieren" andererseits treffen nur zu gut auf die Nutzung von Fernerkundungsdaten für bodengeographische Fragestellungen zu. Es lassen sich in Luftbildern sehr gut areale Grautonmuster, die die horizontale Verteilung von Bodenmerkmalen repräsentieren, kartieren. Im Vergleich mit den Resultaten der Feldkartierung wird hierfür die Überlegenheit der Luftbilder für die Grenzfindung deutlich. Außerordentlich kompliziert ist dagegen die inhaltliche Charakterisierung der Grautonareale, deren Schwärzungsintensität (Dichte) von der stofflichen Zusammensetzung der Böden und der dadurch bestimmten Remission abhängt. Als ein weiteres Problem bei der inhaltlichen Kennzeichnung erweist sich die Tatsache, daß konventionelle Bodenklassifikationssysteme auf die Beschreibung des vertikalen Profilaufbaues orientiert sind. Im Luftbild sind dagegen nur Oberflächenmerkmale abgebildet; Untergrundmerkmale können indirekt modifizierend wirken. Es kann deshalb kaum erwartet werden, "klassische" Bodenformen im Luftbild zu erkennen. Die Klassifizierung sollte nach fernerkundungsspezifischen Merkmalen aufgebaut werden.

Es ist bekannt, daß die wichtigsten remissionsbeeinflussenden Faktoren bei Böden Substrat, Substrateigenfarbe, Humus-, Kalk-, Eisenoxid-, Mangan- und Bodenfeuchte und die Oberflächenrauigkeit (Bodengefüge, Agglomerationen, Steinigkeit usw.) sind. Anhand von Beispielen aus der internationalen Literatur werden einige Bodenparameter in ihrer Wirkung auf die Remission dargestellt.

Die spektrale Remission von Sand in 3 Feuchtestufen zeigt Abb. 1. Im lufttrockenen Zustand ist der Feuchtegehalt äußerst minimal, so daß keine Beeinflussung durch die Wasserstoffbanden der Atmosphäre im Spektralverlauf erkennbar sind. Demgegenüber besitzt der

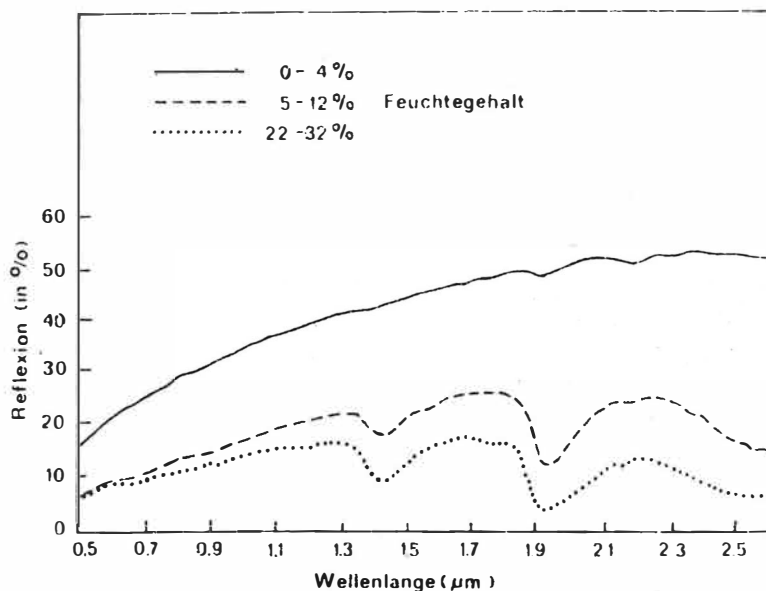


Abb. 1 Spektrale Reflexionskurven für Sand in drei Bodenfeuchtestufen (nach HOFFER/JOHANNSEN, 1969)

lufttrockene Tonboden (Abb. 2) auf Grund seines mineralischen Aufbaues eine bessere Wasserhafterfähigkeit und unterliegt demzufolge einer stärkeren Beeinflussung durch die Wasserdampfbanden der Atmosphäre. Die Reduzierung der Remission bei höherem Feuchtegehalt und gleichzeitig die Kontrastveretärkung zwischen trockenen und feuchten Böden, besonders im langwelligen Bereich, wird deutlich.

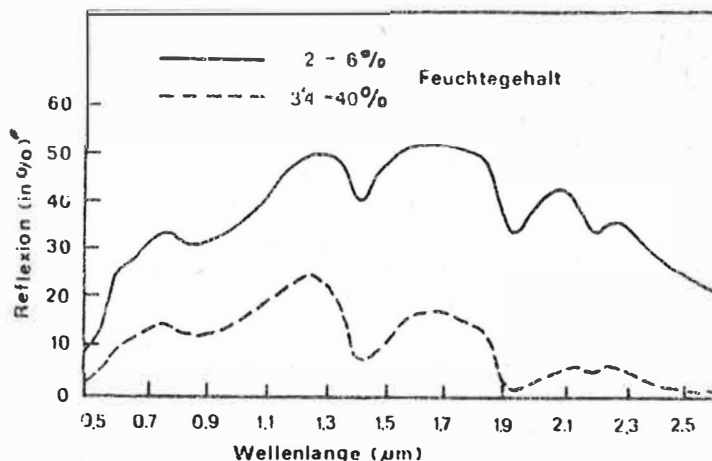


Abb. 2 Spektrale Reflexionskurven für einen typischen Tonboden in zwei Bodenfeuchtestufen (nach HOFFER/JOHANNSEN, 1969)

Abb. 3 zeigt die Abhängigkeit der Reflexion vom Humusgehalt im Bereich des sichtbaren Lichtes. Mit Steigen des Humusgehaltes von 1 auf 5 % reduziert sich die Remission um ca. 50 %. Der relativ große Streubereich der Werte ist erklärbar durch die unterschiedliche Remission von Fulvo- und Huminsäuren. Bei der Betrachtung der remissionsbeeinflussenden Wirkung von Humus muß seine unterschiedlich färbende Wirkung in Abhängigkeit vom Substrat (z. B. auf Sand größer als auf Löß) berücksichtigt werden.

Bei steigendem Eisengehalt sinkt die Remission, der korrelative Zusammenhang wird besonders gut im Bereich des roten Lichtes widergespiegelt (vgl. Abb. 4). Abb. 5 zeigt die Ergebnisse eines interessanten Versuches. Für 2 verschiedene Substrate wurden die Remissionskurven ermittelt. Anschließend wurden dem Lehm das Eisen entzogen, dem Ton der Humus. Im sichtbaren und nahinfraroten Bereich steigt dadurch die Remission. Die Aussagen der Abb. 3 und 4 werden untermauert. Im Bereich ab 1,3 ... 1,5 μ m kehrt sich das Remissionsverhalten bearbeiteter und originaler Proben jedoch um.

Kalk wirkt auf verschiedenen Substraten sehr stark aufhellend und ruft damit einen Anstieg der Remission hervor. Da die meisten Böden an der Oberfläche natürlich entkalkt sind, ist der Kalkgehalt an der Oberfläche - sofern nicht oberflächennah Karbonatgesteine austreichen - auf künstliche Düngung zurückzuführen. Es ist demzufolge eine sich schnell ändernde Größe, die synchron zu Überfliegungen notwendigerweise mit erfaßt werden muß.

Die Verwendung von multispektralen, infraroten oder spektrezonalen Luftbildern für bodengeographische Aufgaben erlaubt vor allem Aussagen zu relativen Feuchteunterschieden, vernässten Arealen, Stauwasserbereichen (besonders in Infrarot- und Spektrezonalbildern) und erodierten, akkumulierten Arealen, wie auch rezente Erosions Spuren.

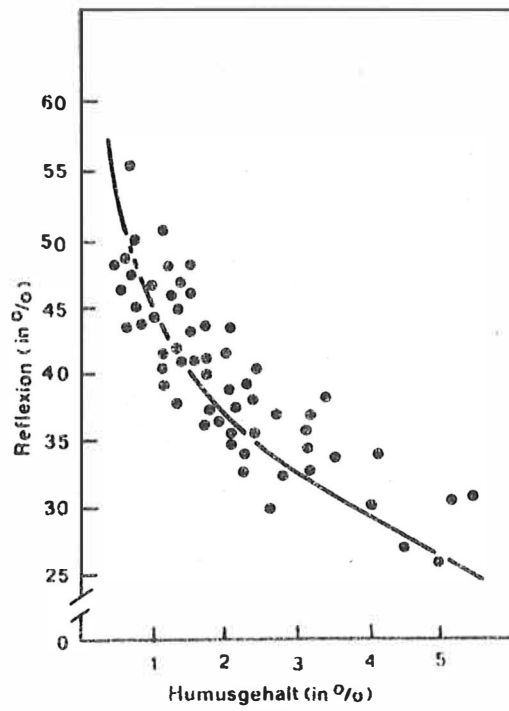


Abb. 3 Abhängigkeit der Reflexion vom Humusgehalt im Bereich des sichtbaren Lichtes (nach PAGE, 1974)

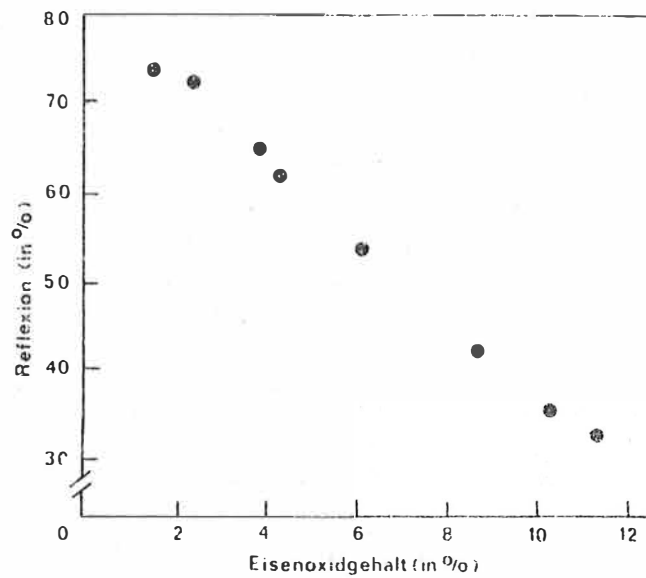


Abb. 4 Abhängigkeit der Reflexion vom Eisenoxidgehalt im Bereich 0.5...0.64 μm (nach OBHUKOV/ORLOV, 1964)

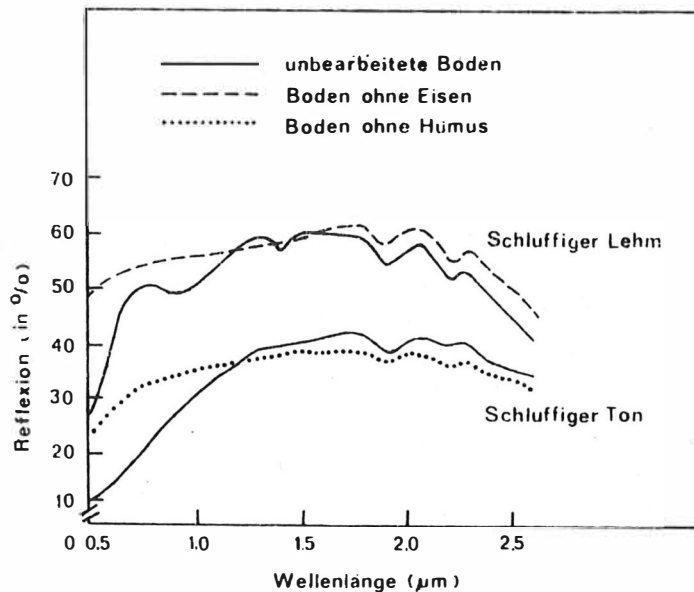


Abb. 5 Spektrale Remissionskurven von unbearbeiteten Böden und nach Eisen-, bzw. Humusentfernung (nach MATTHEWS, 1972)

Dabei lassen sich besonders bei zeitigen Fröhjahraufnahmen auf Grund der Abtrocknungsunterschiede und eines damit verbundenen Kontrastes der Areale gute Interpretationsergebnisse erzielen. Sommeraufnahmen lassen sich dann für Standortkundliche Fragen nutzen, wenn auf Grund von Vegetationsunterschieden Standortunterschiede nachgezeichnet werden. Diese Situation tritt besonders nach längeren Trockenperioden ein, aus der sich für die Vegetation eine Streßsituation ergibt /6/.

Im Lößgebiet von Halle wurden an bodenerosiv differenzierten Lößböden methodische Untersuchungen zur spektralen Charakteristik und zum fotografischen Abbildungsverhalten durchgeführt. Ziel der Arbeit war es, zu testen, inwieweit sich im multispektralen Foto Böden auf gleichem Ausgangssubstrat differenzieren lassen.

In einem ersten Arbeitsschritt wurden Testböden der Kategorie Löß-Schwarzerde, Löß-Rendzina und Kolluviallöß-Schwarzerde und vergleichsweise auf lößbeeinflußten Berglehmrindzinen auf Buntsandstein sowie unverwitterter Löß mit einem Feldspektrometer spektrometriert (einführlige Versuchsbeschreibung und Ergebnisse in GLÄSER, 1985 /1/). Anschließend wurden die Testböden terrestrisch mit dem MKF-6 Filtersatz fotografiert und die Fotoplatten nachfolgend densitometrisch ausgewertet. Die erwartungsgemäß geringen Remissionsunterschiede konnten auch als Schwärzungsunterschiede im Foto nachgewiesen werden. Als unbrauchbar für diese Fragen erwiesen sich im Untersuchungsgebiet die Kanäle 1 und 2 der MKF-6.

Sowohl anhand der spektrometrischen Daten als auch der Schwärzungswerte der Fotoplatten ließ sich lediglich eine Gruppierung in die Kategorien Löß-Schwarzerde und Kolluviallöß-Schwarzerde, Löß-Rendzinen/lößbeeinflußte Berglehmrindzinen, Löß vornehmen. Erst im Farbmischbild konnten die kolluvialen Böden und die Buntsandsteinböden - wenn auch nur mit schwachem Farbunterschied - als weitere Gruppen ausgegliedert werden. Ebenso ließ sich bei der Luftbildinterpretation anhand der Legemerkmale diese weitere Klassifizierung vornehmen.

Zusammenfassend kann eingeschätzt werden, daß trotz der Möglichkeiten der digitalen Bildauswertung zum gegenwärtigen Zeitpunkt für Praktika nach wie vor die visuelle Bildinterpretation vorrangige Bedeutung hat. Bei entsprechender Film- und Aufnahmequalität können auch die kostengünstigen Infrarot- und Spektralzonelbilder bereits gute und genaue Interpretationsergebnisse liefern.

Literatur

- /1/ GLASSER, C.: Untersuchungen zur Abbildung von Lössböden in multispektralen Luftbildern.- In: Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften (1985) (im Druck)
- /2/ HOFFER, R. M. u. C. J. JOHANNSEN: Ecological Potentiale in Spectral Signatures Analyse.- In: Remote Sensing in Ecology.- Athene; Georgia; 1969
- /3/ MATTHEWS, H. L.: Applications of Multispectral Remote Sensing and Spectral Reflectance Patterns to Soil Survey Research.- Pennsylvania; 1972
- /4/ OBUKOV, A. u. D. S. ORZLOV: Spektralnaja otryžatel'naja sposobnost' glavnejšich tipov počv i vozmožnost' ispol'zovanija difuznogo otryženija pri počvennyh issledovanij.- In: Počvovedenija (1964)2
- /5/ PAGE, W. R.: Estimation of Organic Matter in Atlantic Coastal Plain Soils with a Color-Difference Meter.- In: Agronomy J. 66(1974).- S. 652 - 653
- /6/ SVENSSON, H.: The Use of Stress Situation in Vegetation for Detecting Ground Conditions on Aerial Photographs.- In: Lund Stud. in Geography, Ser. A. 52, 1972
- /7/ SWAIN, P. H. u. DAVIS, S. M.: Remote Sensing: The Quantitative Approach.- West Lafayette; 1978

Luftbildgestützte Erfassung der standörtlichen Heterogenität landwirtschaftlicher Nutzflächen und deren Darstellung in Betriebskarten

G. VILLWOCK

1. Einleitung

Seit mehreren Jahren werden an der Sektion Geographie der Martin-Luther-Universität Halle Forschungen zu thematischen und methodischen Grundlagen und zur Anwendung der Fernerkundung bei der nutzungsorientierten Landschaftsanalyse durchgeführt /2/. Im Rahmen dieser Arbeiten bestand das Ziel der hier vorzustellenden Untersuchungen in der Entwicklung und Erprobung von Verfahren zur Kennzeichnung der standörtlichen Heterogenität landwirtschaftlicher Nutzflächen (LN) mit Methoden der Fernerkundung (FE). Sie haben ihren Ausgangspunkt in

1. den von der Landschaftsforschung (u. a. von FRIDLAND, HERZ, HAASE, R. SCHMIDT) erarbeiteten theoretischen Grundlagen der Heterogenität der Landschaft,
2. den Erfahrungen und Ergebnissen zur Anwendung der FE in der Bodengeographie und der Geomorphologie,
3. dem Bedarf der landwirtschaftlichen Praxis an detaillierten, schlagbezogenen Informationen über die differenzierten Standortbedingungen ihrer Nutzflächen.

Die Arbeiten wurden in der Betriebsfläche der LPG Pflanzenproduktion Gerbstedt (Kreis Hettstedt) im niederschlagsarmen Lößgebiet nordwestlich von Halle und in Teilbereichen der VEG Pflanzenproduktion Memleben (Kreis Naumburg) am Nordrand des Thüringer Beckens durchgeführt.

Die natürliche Ausstattung der Gebiete ist durch die Kombination von Löss-Standorten in Platten- und Hangposition, Standorten auf Verwitterungsmaterial von Festgesteinen in Hanglagen und teilweise wasserbeeinflussten Auenstandorten bestimmt. Es standen mehrere Serien großmaßstäbiger multiepektraler und panchromatischer Luftbilder aus Frühjahrs- und Sommermonaten zur Verfügung.

2. Standörtliche Heterogenität landwirtschaftlicher Nutzflächen

Die landwirtschaftliche Nutzung vollzieht sich in der DDR auf Flächen, die auf Grund ihrer Größe in der Standortausstattung Landschaftseinheiten der unteren chorischen Dimension entsprechen. Die Ungleichförmigkeit der Ausprägung von Merkmalen der Bodendecke, des Reliefs und des Wasserhaushalts kann durch den Begriff "Standörtliche Heterogenität" im Sinne von SCHMIDT, R. (1972) /5/ gefaßt werden. Dabei lassen sich die inhaltliche Heterogenität als Merkmal der Verschiedenartigkeit und des geoökologischen Kontrastes der auftretenden Merkmalsausprägungen und die räumliche Heterogenität als Ausdruck für die Verteilung, Streuung und Flächenanteile der Merkmalsareale unterscheiden. Die standörtliche Heterogenität stellt eine wichtige komplexe Standorteigenschaft für die Planung und Durchführung von Bearbeitungs-, Meliorations- und Flurgestaltungsmaßnahmen dar /6/. Sie ist Ausdruck der schlaginternen

- Differenzierung der Versorgung der Kulturpflanzen und damit des Ertrages,
- Differenzierung der technologischen Eignung,
- natürlichen Grenzen und Beschränkungen für die Nutzung.

Für die Bearbeitungsgebiete wurden entsprechend ihrer natürlichen Ausstattung und der Möglichkeit der Datengewinnung mit FE-Methoden folgende heterogenitätsbestimmende Standortmerkmale untersucht:

1. Merkmale der Bodendecke:
 - Mächtigkeit des humosen Oberbodens
 - Steinigkeit im Oberboden
 - Tongehalt im Oberboden
2. Reliefmerkmale:
 - Beschränkungen für den Technikeinsatz
 - Gefährdung durch wasserbedingte Bodenerosion
3. Oberflächenwassermerkmale:
 - Sammelwasservernässung
 - Überflutungsgefährdung

3. Methodischer Grundansatz

Folgende Aspekte bilden die Grundlage für den gewählten methodischen Ansatz:

1. Die lagepräzisierte Kennzeichnung der Standortausstattung der LN setzt großmaßstäbige, schlagbezogene Detenerfassungen voraus. Diese sind bei der Verwendung terrestrischer Erkundungsmethoden äußerst aufwendig und schwierig durchführbar.
2. Luftbilder sind geeignet für die Erkundung von boden- und reliefbedingten Standortmerkmalen. Die Auswertung von FE-Daten erbringt dabei in erster Linie Informationen über die areale Verteilung und relative Ausprägungsunterschiede.
3. Aus der Differenzierung der spektralen Eigenschaften der Nutzflächen können deshalb Aussagen über ihre standörtliche Heterogenität abgeleitet werden.

Davon ausgehend, kann folgender methodischer Lösungsweg formuliert werden: In Luftbildern treten innerhalb der abgebildeten Schlagflächen, deren Abbildungseigenschaften im allgemeinen durch Kulturart und Bearbeitungszeitpunkt relativ regelhaft ausgebildet sind, Unterschiede in der Ausprägung von Bildmerkmalen (Schwärzung, Muster, Stereomodell) auf. Diese spiegeln Differenzierungen in der natürlichen Ausstattung der Nutzflächen wider. Über mehrere Transformationsstufen können unter Einbeziehung flächenhaft zur Verfügung stehender

kartographischer Referenzdaten Aussagen über die Verteilung nutzungsbezogener Standortmerkmale gewonnen werden. Diese gestatten eine Beurteilung von Aspekten der standörtlichen Heterogenität.

4. Abbildungsverhalten heterogenitätbestimmender Standortmerkmale in Luftbildern

Voraussetzung für eine flächenhafte Erkundung von Standortmerkmalen mit Luftbildern ist die Klärung des Zusammenhanges zwischen Abbildungsmerkmalen und Objektmerkmalen. Hier sollen einige gebietsspezifisch erkundete Aspekte des Abbildungsverhaltens von bodenbedingten Standortmerkmalen vorgestellt werden. Sie wurden mit Hilfe terrestrischer Fototests, Bestands- und Bodenanalysen und densitometrischen Luftbildanalysen gewonnen. Ausgangspunkt für die Wiedergabe von Eigenschaften der Bodendecke in Luftbildern ist das Remissionsverhalten der realen Oberflächenausprägung der Nutzflächen. In Frühjahrsaufnahmen bildet die Krumenfarbe der vegetationsfreien Ackerfläche die remissionsrelevante Objekteigenschaft. Für das Arbeitsgebiet konnten signifikante Relationen zwischen der Mächtigkeit des humosen Oberbodens, der Krumenfarbe und der Schwärzungswiedergabe in fotografischen Aufnahmen nachgewiesen werden /4, 8/. Dieser Zusammenhang (vgl. Abb. 1) gestattet eine flächenhafte Kartierung von Arealen mit geringer Oberbodenmächtigkeit mit Hilfe panchromatischer Aufnahmen.

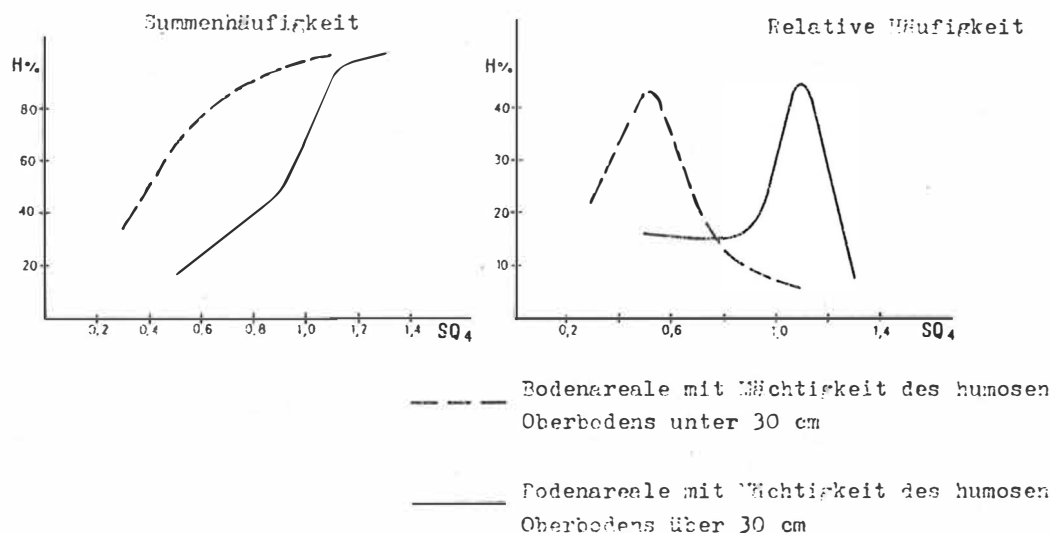


Abb. 1 Verteilung der Schwärzungsäquivalente der Krumenfarbe von Bodenarealen mit unterschiedlicher Oberbodenmächtigkeit

Weeentlich komplexer gestalten sich die Abbildungseigenschaften bei der wegen der günstigeren meteorologischen Bedingungen häufig hergestellten Sommeraufnahmen. Hier ergeben sich die remissionsrelevanten Oberflächeneigenschaften aus der Kombination von Merkmalen der Pflanzendecke (Dichte, Höhe, phänologischer Zustand) und der Krumanfarbe /7/. Dabei rufen Bodeneigenschaften (z. B. Humusmächtigkeit, Steinigkeit, Austrocknungsgrad) besonders in Trockenperioden standortbedingte Bestandsdifferenzierungen hervor (vgl. Abb. 2). Für die Erfassung solcher standortkennzeichnender Varianten der Bestandsausprägung und damit des Remissionsverhaltens sind besondere multispektrale Aufnahmen geeignet. Auf Grund der charakteristischen spektralen Remissionseigenschaften der Pflanzendecke /3/ ist eine Beurteilung ihres Zustandes und die daraus abzuleitende Standortkennzeichnung durch die Kombination der Bildschwärzungen im grünen, roten und nahinfraroten Spektralbereich (Kanäle 2, 4, 6 der

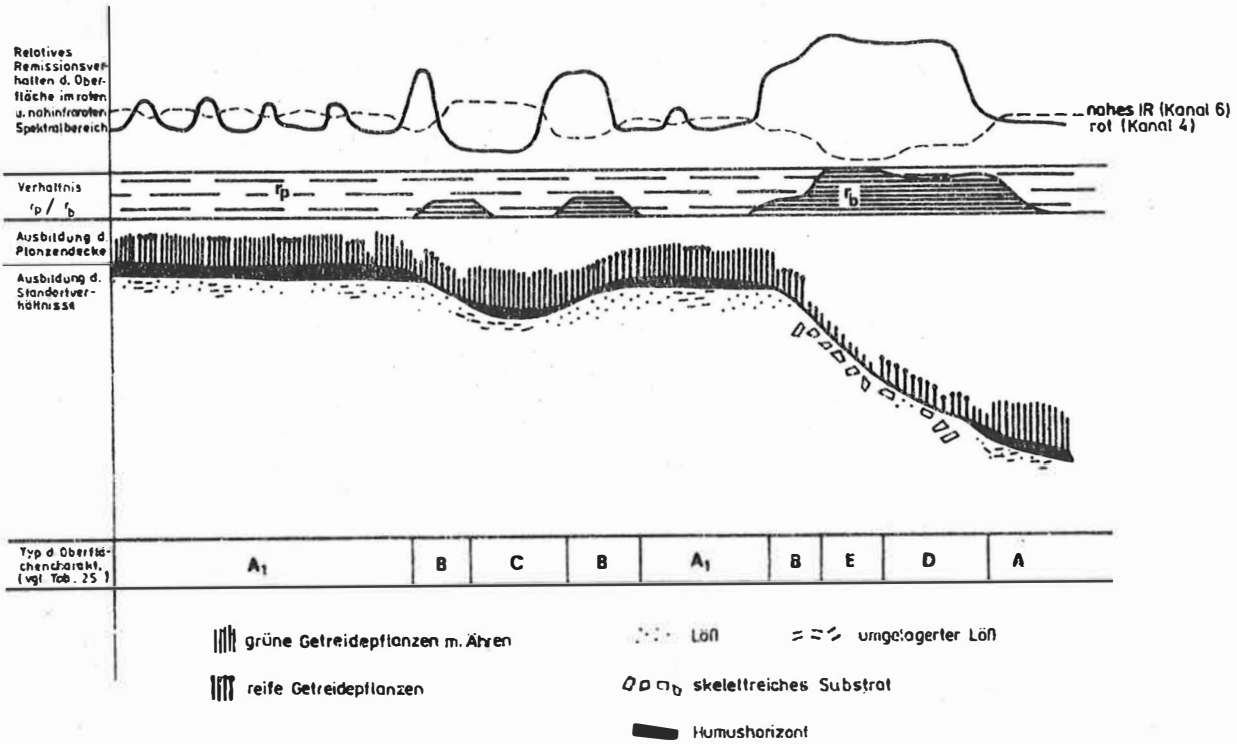


Abb. 2 Varianten der schlaginternen Oberflächenausprägung in Sommeraufnahmen im Untereuchungsgebiet Halle-Gerbstedt

MKF-6 möglich. Hierzu dienen Schwärzungskurven bzw. -koeffizienten (vgl. Abb. 3). Generell bilden sich Areale mit ungünstigen Bodeneigenschaften (Schädigungsareale) im eichtbaren Bereich wegen dem hohen Anteil der Remission der Krume (bei geringer Baetandichte) bzw. einer hohen pflanzenspezifischen Remission durch Not- und Frühreife hell ab und dementsprechend umgekehrt im Bereich des nahen Infraroten.

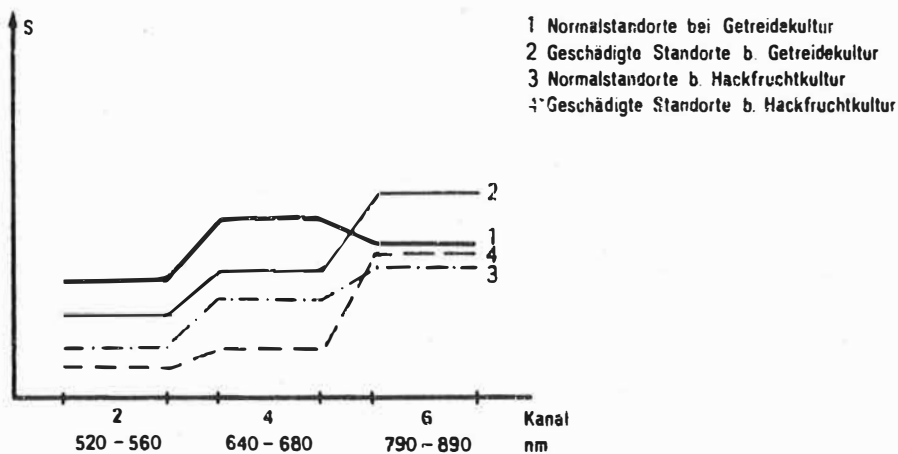


Abb. 3 Schwärzungsverhalten von Standortarealen in multispektralen Luftbildern (Sommer, Anfang Juli)

Das Verfahren beruht auf einer einfach handhabbaren visuellen Bildauswertung und wird in Abb. 4 an einem Testschlag demonstriert. Den Schwerpunkt bildet die Analyse der Bildschwärzung in ihrer arealen Verteilung (Bildmuster) in der Abbildung der Schlagfläche und die Ausgrenzung von Schwärzungsarealen (Flächen gleichen Grautons). Dabei wird eine Flächengenauigkeit von 0,5 ... 1 ha angestrebt. Diesen Grautonarealen entsprechen Areale gleicher bzw. ähnlicher Krümmenfarbe bzw. Bestandesmerkmale. Unter Einbeziehung flächendeckend vorliegender Zusatzinformationen aus der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK) und der Bodenschätzung können den Arealen nicht direkt erkennbare Merkmale der Bodendecke (Bodenform bzw. -kombination) zugeordnet werden. Als Zwischenergebnis entsteht hier eine Bodenarealkarte des Schlages, aus der wesentliche Kriterien der Arealstruktur der Bodendecke für die Nutzfläche, wie Frequenz, Deckungsgrad, Flächentypen /1/ bestimmt werden können. Desweiteren erfolgt eine nutzungsbezogene Beurteilung der Bodenareale hinsichtlich Oberbodenmächtigkeit, Steinigkeit, Tongehalt und Trockengefährdung. Aus den Arealstrukturmerkmalen können Kennwerte für das Auftreten der nutzungsbeeinflussenden Merkmalsareale (Störareale), wie Anteil an der Schlagfläche, Anzahl und mittlere Größe der Flächen abgeleitet werden. Diese Verteilungsmerkmale gestatten zusammenfassend die Kennzeichnung der Heterogenität des Schlages durch die Zuordnung zu einem Heterogenitätstyp.

Kennzeichnung der relief- und oberflächenwasserbedingten Heterogenität

Das einfache visuell-gerätegestützte Verfahren beinhaltet die geomorphologische Interpretation des Stereomodells des Schlages aus Frühjahresaufnahmen und die Kombination mit aus topographischen Karten gewonnenen morphometrischen Daten (Hangneigung). Es umfaßt im einzelnen folgende Arbeitsschritte (vgl. Abb. 5):

1. Anprache der Reliefformen im Schlag
 2. Zuordnung der kartometrisch gewonnenen Hangneigungswerte zu den Reliefformen¹
 3. Kartierung von Prozeßspuren und -arealen der wasser gebundenen Bodenerosion /4/ sowie von erosionsbeeinflussenden Flurelementen (Stufen, Gehölze usw.) im Stereomodell
 4. Bewertung der Hangneigungsverteilung nach Kriterien für den Einsatz der Landtechnik. Ausgliederung von Beschränkungsarealen
 5. Ausgrenzung von erosionsgefährdeten Arealen durch die Synthese von Neigungs- und Substratverhältnissen mit dem erfaßten Prozeßspurenmuster
 6. Erfassung überfluteter bzw. mit Sammelwasser bedeckter Flächen aus Luftbildern zur Zeit von Hochwasserereignissen
 7. Flächenbestimmung für die Stör- und Beschränkungsareale, Berechnung von Kennwerten der Arealstruktur für die Schlagfläche.
6. Anwendungsmöglichkeiten der Verfahren

Mit den hier vorgestellten Verfahren können Aspekte der standörtlichen Heterogenität von landwirtschaftlichen Nutzflächen unter folgenden Kriterien gekennzeichnet werden:

1. Erfassung der arealkonkreten Verteilung von nutzungsbeeinflussenden Standortmerkmalen
2. Kennziffern für das Gesamtareal des Schlages
3. Zuordnung zu einem Heterogenitätstyp.

Die Verfahren ermöglichen die Herstellung großmaßstäbiger Betriebskarten (Maßstab 1 : 10 000 bzw. 1 : 25 000) mit lagegenauer Darstellung der Verteilung heterogenitätsbestimmender Merkmale (siehe Abb. 6, /9/). Sie werden durch ein Tabellenwerk mit schlagbezogenen Flächen- und Anteilswerten ergänzt. Die Karten präzisieren die bisher vorliegenden mittelmaßstäbigen Standortinformationen (MMK) und gestatten, wie erste Anwendungen im VEG Pflanz-

1 Dieser Schritt kann auch durch die photogrammetrische Ermittlung der Hangneigung aus Meßbildern ersetzt werden.

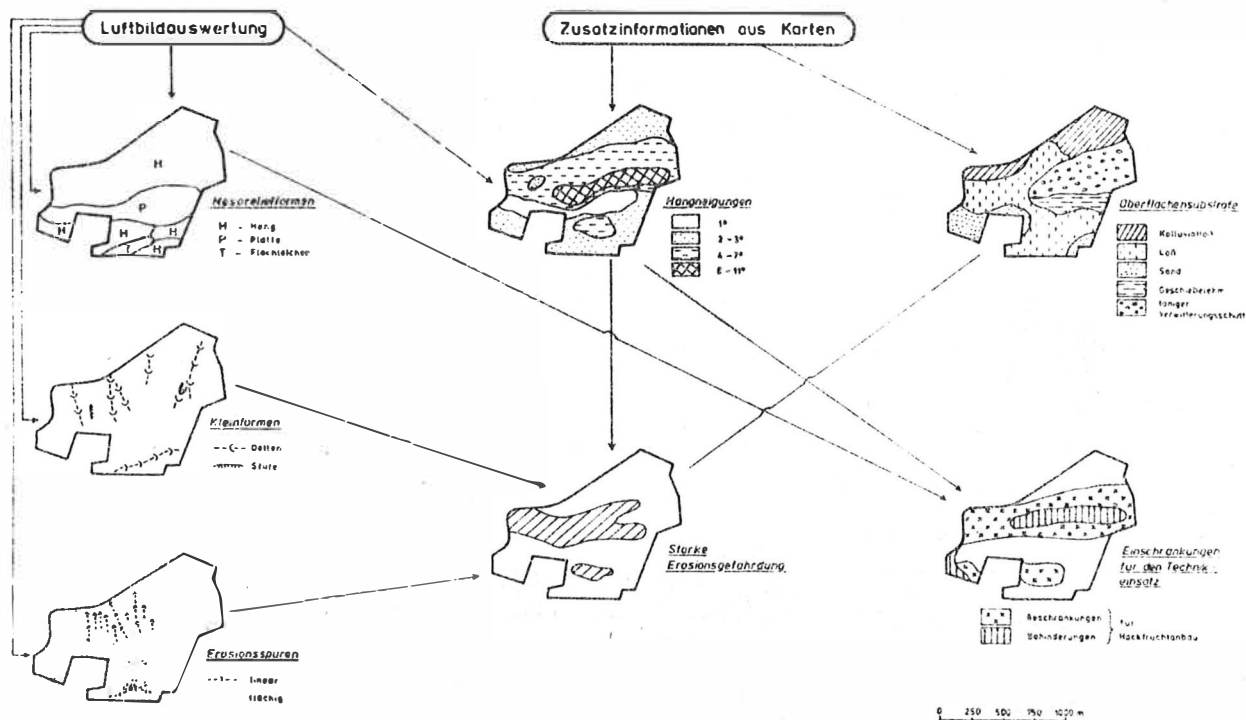


Abb. 5 Analyse reliefbedingter Heterogenitätsmerkmale landwirtschaftlicher Nutzflächen mit Hilfe visueller Luftbildauswertung (Beispiel Schlag "Krähenberg", LPG Gerbstedt)

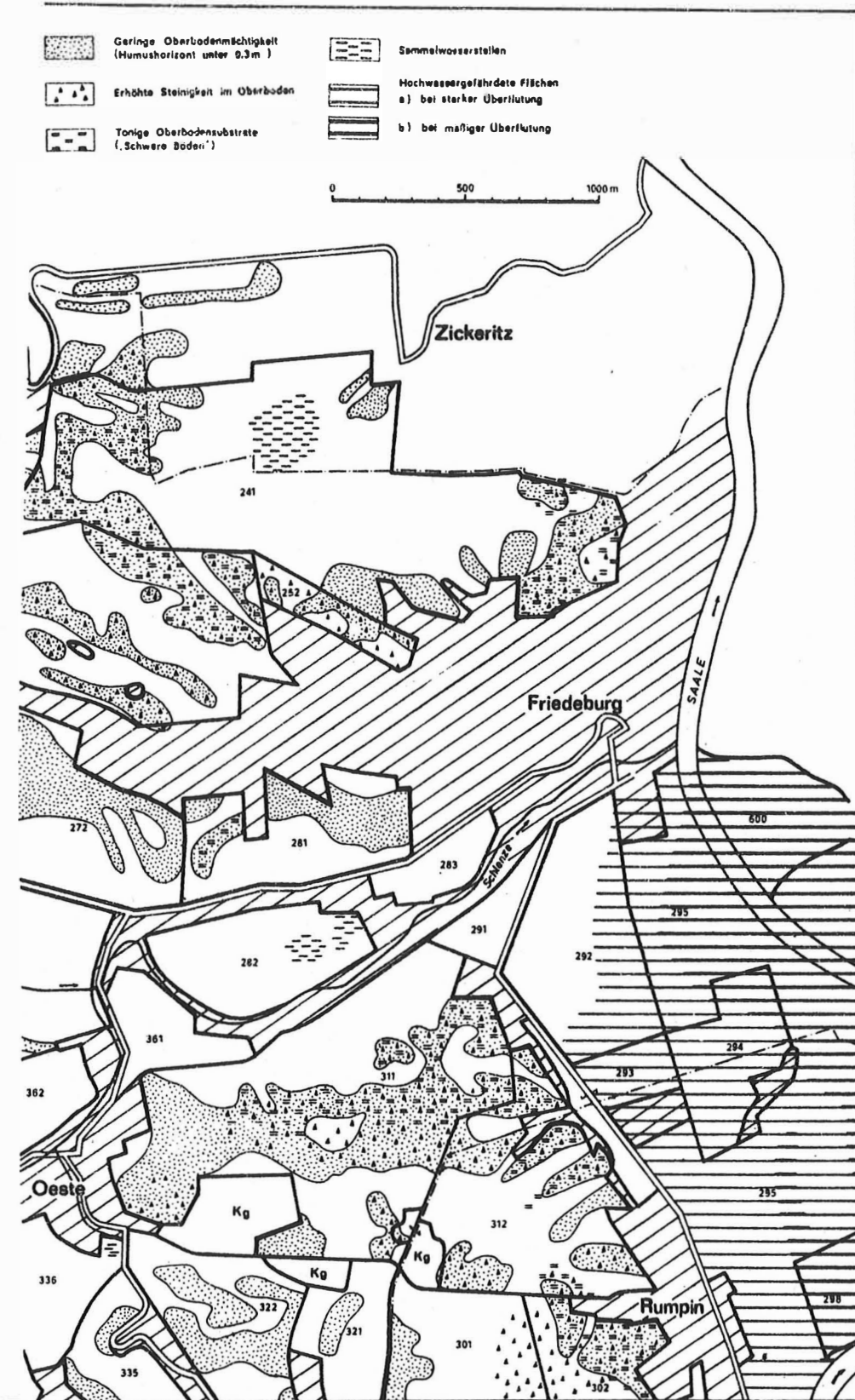
zenproduktion Memleben zeigen, eine weitere Qualifizierung der standortgerechten Planung und Produktion.

Ein weiteres Anwendungsgebiet ergibt sich bei der detaillierten Kennzeichnung der Betriebs-schläge gemäß den Anforderungen der EDV-gerechten Schlagkartei.

Im Ergebnis der hier gezeigten luftbildgestützten Standortkennzeichnung werden wesentliche landschaftsanalytische Grundlagen für die Durchführung flur- und landschaftsplanerischer Maßnahmen erarbeitet. In Auswertung der Betriebskarten können insbesondere hinsichtlich der Gefährdung durch Bodenerosion (Ausweis gefährdeter Schlagteile, nichtstandortgerechter Bewirtschaftung und Flurgestaltung) Empfehlungen für die Durchführung flurgestalterischer Maßnahmen in Form von Fallstudien gegeben werden /8, 9/.

7. Empfehlungen für den praktischen Einsatz der Verfahren

Die bisher in zwei Landwirtschaftsbetrieben erprobte einmalig durchzuführende, relativ langfristig aktuelle Inventarisierung der standörtlichen Heterogenität mit Hilfe von Luftbildern beruht auf einfachen visuellen Interpretationsmethoden. Sie stellt eine Möglichkeit der Rationalisierung und Präzisierung von Teilarbeiten zur Standortkennzeichnung dar. Voraussetzung für die Durchführung derartiger Kartierungen ist das Vorhandensein großmaßstäbiger Luftbilder, die zu günstigen Terminen (zeitiges Frühjahr, Frühsommer) aufgenommen wurden. Im begrenzten Maße sind panchromatische Archivluftbilder nutzbar. Bei Neubefliegungen sollten multispektrale Aufnahmen des roten und nahinfraroten Spektralbereiches bevorzugt werden.



Stand: 1982

Abb. 6 Betriebskarte "Bodenbedingte Heterogenität" (Ausschnitt, Westteil der LPG Gerbetedt) freigegeben unter 02/83

Generell ist für die flächenhafte Anwendung solcher Verfahren der Luftbildauswertung eine regionale landwirtschaftlich orientierte Interpretationskapazität mit einfacher Geräteeinstellung zur visuellen Auswertung notwendig. Hierfür erscheinen Einrichtungen mit wissenschaftlich-technischer Kapazität (z. B. WTZ, AIV) geeignet. Eine Anwendung durch Einzelbetriebe ist sicherlich nur in Ausnahmefällen möglich. Einrichtungen der AdL und des Hochschulwesens sollten als Konsultations- und Weiterbildungszentren fungieren.

Literatur

- /1/ HAASE, G. u. R. SCHMIDT: Die Struktur der Bodendecke und ihre Kennzeichnung.- In: *Thaer-Arch.*- Berlin 14(1970).- S. 399 - 412
- /2/ KUGLER, H., C. RIEDEL u. G. VILLWOCK: Landschaftsanalyse mit Hilfe multipektraler Luftbilder.- In: *Geogr. Ber.* 29(1984) (im Druck)
- /3/ MILTHORPE, J. u. S. MOORBY: *An Introduction to Crop Physiology.*- Cambridge: 1974
- /4/ RIEDEL, C. u. H. SCHRÖDER: Abbildungsverhalten bodeneroiv geschädigter Flächen im Luftbild.- In: *Hercynia N. F.*- Leipzig 21(1984).- S. 98 - 108
- /5/ SCHMIDT, R.: Standortliche Heterogenität und Großflächennutzung.- In: *Wies. Abh. Geogr. Ges. DDR.*- Gotha, Leipzig. 9(1972).- S. 195 - 204
- /6/ SCHMIDT, R. u. G. HAASE: Die Heterogenität der Bodendecke und ihr Einfluß auf die Bodenfruchtbarkeit; Melioration und Landeskultur.- In: *Peterm. Geogr. Mitt.*- Gotha, 124(1980).- S. 11 - 18
- /7/ TOLČELNIKOV, J. S.: *Optičeskie svojtva landšafta.*- Leningrad: 1974
- /8/ VILLWOCK, G.: Untersuchungen zur Kennzeichnung der standörtlichen Heterogenität der LN mit Methoden der Geofernerkundung.- 1983.- Halle; Univ.; Diss. A
- /9/ VILLWOCK, G.: Großmaßstäbliche Betriebskarten zur standörtlichen Heterogenität.- In: *Wies. Abh. Geogr. Ges. DDR* 18(1985).- 1. Dr.

Bodenheterogenität und Bodenverlagerungsprozesse im Jungmoränengebiet und ihre Interpretation anhand von Luftbildern

K. BILLWITZ

Die kuppigen Grund- und Endmoränengebiete im Norden der DDR sind infolge spezifischer landschaftsogenetischer Vorgänge außerordentlich heterogen. So wurden auf einem 36 ha großen Ackerschlag im Bereich der stark gestauchten Velgaster Staffel östlich Barth z. B. 13 unterschiedliche Geo(komplex)formen ermittelt. Unter landwirtschaftlicher Nutzung und im Ergebnis der Schlagvergrößerung der letzten 20 Jahre existiert somit eine beträchtliche schlaginterne Heterogenität. Als Nebenwirkung unterschiedlichster landwirtschaftlicher Intensivierungsmaßnahmen verstärkten sich außerdem die rezenten Bodenverlagerungsprozesse erheblich. Die exakte Erkundung der Bodenheterogenität und der die Differenzierung von Bodenfruchtbarkeitseigenschaften weiter verstärkenden landschaftlichen Prozesse, insbesondere der Erosions- und Vernässungsprozesse (Kappung, Kolluvation, Naßstellenbildung) ist unabdingbare Voraussetzung für die Erkenntnis von Gesetzmäßigkeiten bei der Kartierung von Bodenmosaiken und der Ertragsbildung auf ihnen.

Die Erfassung von Bodenheterogenität und von Bodenprozessen wurde bisher vorwiegend mit Hilfe terrestrischer Erkundungsverfahren realisiert und erforderte einen hohen Zeit- und Personalaufwand, wobei zudem die Genauigkeit der Arealabgrenzung für viele praktische Belange oft nicht befriedigen konnte. Beim Einsatz von panchromatischen und multispektralen Luftbildern sind insbesondere durch die Grauton- und Prozeßpurenanalyse die Möglichkeiten einer Qualifizierung entsprechender Aussagen bedeutend verbessert worden.

Im folgenden werden Verfahren und erste Ergebnisse von Testuntersuchungen aus dem Gebiet der stark reliefierten Velgaster Staffel östlich von Barth mitgeteilt. Hierzu standen sowohl panchromatische Archivluftbilder (Befliegungen 1971 und 1976) als auch multispektrale Aufnahmen (Befliegung 1978) zur Verfügung. Nach einer ersten Begutachtung des Bildmaterials wurde eingeschätzt, daß die panchromatischen Luftbilder von 1976 hinsichtlich des Befliegungszeitpunktes mit weitgehend vegetationsfreien Bodenoberflächen und hinsichtlich ihrer technischen Qualität für die Lösung der gestellten Interpretationsaufgabe optimal waren. Von diesen Bildern wurden deshalb Papiervergrößerungen auf die Maßstäbe 1 : 5000 und 1 : 2000 angefertigt. In einer ersten Auswertestufe wurden visuell sechs unterschiedliche Grautonstufen ausgehalten, umgrenzt und hochgezeichnet (Abb. 1). Die Merkmale zur Erfassung der Textur- und Grautonstufen auf dem Luftbild gehen aus der Tabelle 1 (Spalte 2) hervor.

Die visuell ausgehaltenen Grautonstufen wurden in einer zweiten Auswertephase mit dem Bildanalysegerät DENSITRON-2 überprüft. Mit Hilfe dieses Gerätesystems wurde das Schwarzweiß-Negativ optisch abgetastet und auch geringste Schwärzungsunterschiede als kontrastreiche Farbunterschiede auf dem Bildschirm deutlich gemacht. Durch entsprechende Geräteeinstellung konnte eine größtmögliche farbliche Differenzierung erzielt werden. Der Vergleich der visuellen und der gerätegestützten Tonwertanalyse ergab akzeptable Übereinstimmungen.

Die über das Luftbild abgegrenzten Areale wurden anschließend im Gelände hinsichtlich ihres Inhalts bestimmt. Mit Hilfe einer größeren Anzahl von Schürfen war es möglich, die Grautonareale mit bestimmten Bodenformengruppen in Beziehung zu setzen (Tab. 1, Spalte 3).

Die visuell ausgehaltenen Grautonstufen der Bilder von 1976 wurden mit denjenigen der Befliegungen von 1971 und mit den MKF-6-Aufnahmen von 1978 verglichen. Dabei konnte festgestellt werden, daß die jeweils hellsten (Rendzinen, Ranker und gekappten Parabraunerden) und dunkelsten Bereiche (Grund-, Stau- und Amphigleye und kolluvial überdeckte Erdferne) weitgehend stabile Grautonareale darstellen, d. h. sich auch bei unterschiedlichen Aufnahmetermen und damit unterschiedlichen Bedeckungs- und Durchfeuchtungsverhältnissen als

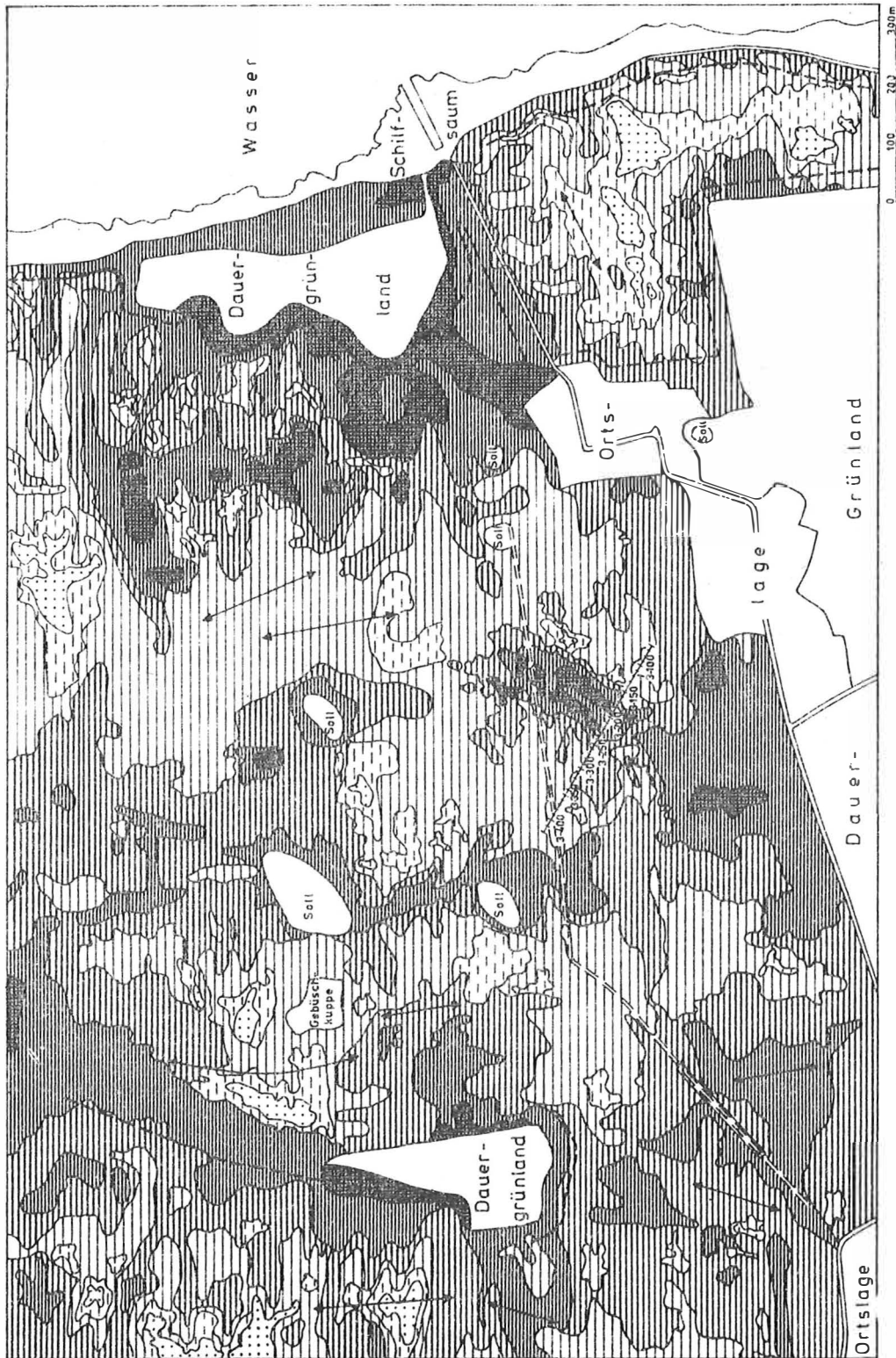


Abb. 1 Visuelle Abgrenzung und Interpretation von Helligkeitsunterschieden auf Luftbildern bezüglich Kappung, Kolluviation und Wasserhaushalt

Tab. 1 Markmalsansprache von Grautonarealen sowie deren Interpretation nach terrestrischer Gegenerkundung (zugleich Erläuterung der Abb. 1)

Grauton- stufestufe	Textur- und Grautonmerkmale	Bodenformangruppe	Interpretation der Grautonstufen
1	2	3	4
1	fast weiß; parallelstreifige Bearbeitungs- spuren nur schwach erkennbar	Lehm-Rendzina Kalksand-Rendzina	sehr hell; fehlende Vegetationsdecke; häufiger Ertragsausfall oder starke Ertragsdefizite; Vollform (Kuppen oder konvexe Oberhänge); anhydromorphe, stark erodierte Böden (Rendzinen) mit geringem Bodenfeuchte- und Humusgehalt
2	sehr hell; deutlich parallelstreifige Bearbeitungsspuren, die allerdings auch manchmal aussetzen können	Lehm-Rendzina, Lehm-Parabraun- erde, Bändersand-Ranker	hell; sehr lückige Vegetationsdecke; häufige Ertragsdefizite; Vollform (Kuppen oder konvexe Oberhänge); an- hydromorphe (Rendzinen, Ranker, ge- kappte Parabraunerde), nur teilweise semihydromorphe Böden mit geringem Bodenfeuchte- und Humusgehalt
3	hellgrau ; deutliche hell-dunkle parallel- streifige Bearbei- tungsspuren, dunkle Streifen können manchmal aussetzen oder verblassen	Salmtieflehm-Fähl- erde, Sand-Braunerde, Sand-Rosterde	hellgrau; weitgehend geschlossene Ve- getationsdecke ohne deutliche Er- tragsminderung; Areale meist nicht reliefgebunden; anhydromorphe Normbö- den, z. T. mit geringen Anteilen halb- hydromorpher Böden, z. T. schwach erosiv beeinflusst
4	mittelgrau; deutliche, manchmal verschwonne- ne Parallelstreifig- keit, dunkle Streifen generell breiter als helle	Kolluvialsalmtief- lehm-Fählerde, Kolluvialsalm- Rohboden, Kolluvialdecksalm- Rosterde	mittelgrau; geschlossene Vegetations- decke ohne Ertragsminderung; Areale meist an Mittelhängen und auf schwach welligen Platten; anhydromorphe Norm- böden mit geringen Anteilen halbhydro- morpher Böden, meist mit kolluvialer Überdeckung; oft gedrängt
5	dunkelgrau mit deutli- chen parallelstreifi- gen Bearbeitungssp- uren; hellere Streifen deutl. ausgeprägt; teilweise setzen diese aber auch aus und wer- den durch verschwonne- ndunkelgraue Flächen- farbe ersetzt	Kolluvialsalm- Schwarz-Staugley; Kolluvialdecksalm- Amphigley; Salm-Graugley; Kolluvialsalm- Rohboden, kolluvialsalmbe- deckter Torf- schicht-Erdäfen	dunkelgrau; geschlossene bis lückige Vegetationsdecke mit Ertragsminderun- gen infolge kolluvialer Überdeckung und/oder Bodennässe; Hohlformen (Unter- hänge, Dellen, Senken); hydromorphe, meist kolluvial überdeckte Böden mit hohen Bodenfeuchte- und Humusgehalten; durchgängig gedrängt; Befahrbarkeit in feuchten Jahreszeiten eingeschränkt
6	fast schwarz; nur andeutungsweise Pa- rallelstreifigkeit vorhanden		fast schwarz; lückige oder fehlende Ve- getationsdecke mit Ertragsminderungen oder -ausfall infolge kolluvialer Über- deckung und/oder Bodennässe; Hohlformen (Dellen, Unterhänge, Senken); hydromorphe meist kolluvial überdeckte Böden mit sehr hohen Bodenfeuchte- und Humusgehalten;

1	2	3	4
			durchgängig gedränt - Dränung oft aber nicht funktionstüchtig; Befahrbarkeit in feuchten Jahren eingeschränkt

beständige, kartierbare Areale erwiesen. Nicht eindeutig ließen sich die Grautonareale mittlerer Schwärzung zuordnen. Das waren anhydromorphe Normböden (Fahlerden, Roosterden, Braunerde) sowie Böden mit geringmächtigen Kolluvialdecken.

Außerdem wurde nach korrelativen Zusammenhängen zwischen Reliefpositionen, Humus-, Kalk- und Feuchtegehalten, der Remission unter Laborbedingungen und dem Schwärzungsgrad der Filmnegative gesucht. Zu diesem Zweck wurden parallel zu den Schürfen Profilreihen im Gelände eingemessen und im 10 m-Abstand Oberbodenproben entnommen und im Labor untersucht.

Zu den Ergebnissen: Im Vergleich der einzelnen Kanäle von MKF-6-Negativen hinsichtlich der Grautonvermessung mit dem DENSITOMETER MD-100 erwies sich der Kanal 4 auch bei höherer Wuchsdichte der Vegetation (Winterweizen) für eine entsprechende Differenzierung der Bodenbedingungen am besten geeignet (Abb. 2) und widerspiegelte gut die Gelände- und Laborbefunde.

Die Laboruntersuchungen am VSU-2 bestätigten das hohe Remissionsvermögen der hellen, von weißen Kreidekalksplittern hervorgerufen (3 - 19 % CaCO_3), humusarmen (0,8 - 2,2 % Humus) und vergleichsweise trockenen Kalksand-, Kalksalm- und Lehm-Rendzinen sowie der Sand- und Bändersand-Ranker. Die am Hangfuß und in Dellen befindlichen dunkleren Kolluvialböden weisen auf Grund ihres höheren Humusgehaltes (1,8 - 4,7 %), meist fehlenden oder nur geringen Kalkgehaltes (0 - 3 % CaCO_3) und i.d.R. auch höheren Feuchtwertes ein deutlich geringeres Remissionsvermögen auf. Feuchte und humusreiche Kolluvialrohböden zeigen wellenlängeabhängig ein um 15 - 30 % geringeres Remissionsvermögen als bei Oberbodenabtrocknung. Bei vernässten Böden (z.B. Amphigleyen) ist der Remissionsunterschied bei 5 - 10 % niedrigeren absoluten Werten nur wenig geringer, der Grautonkontrast reicht aber zur deutlichen Abgrenzung aus (Abb. 3).

Hauptergebnis bleibt somit die Aussage, daß sich bodensystematische Prinzipien nur bedingt im Luftbild widerspiegeln, daß sich bis zum remissionswirksamen Oberboden eindeutig nur Rendzinen und Ranker und die Gruppe der Naßböden durchpausen, letztere infolge enger Korrelation von höherem Humusgehalt (Feuchthumus) und höherer aktueller Feuchte. Diese Aussagen sind für die Bodenfruchtbarkeitsforschung und die Meliorationspraxis von Bedeutung. Mit Luftbildern lösbar sind damit folgende Fragen:

1. Exakte Lokalisierung, Flächenermittlung und Einschätzung der Entwicklungstendenzen der erodierten Kuppenareale, die zur Verkrustung, stärkerer Austrocknung und zu Mindererträgen führen
2. Erfassung der Naßstandorte auf Äckern, um gezielte Neudränungen, vor allem aber Instandsetzungen an vorhandenen Dränsystemen effektiv durchführen zu können
3. Lokalisierung, Flächen- und Volumenermittlung der nährstoff- und humsreichen Kolluvien als eventuell nutzbare örtliche Ressourcen zur Bodenverbesserung.

Die Prozeßspurenanalyse bedient sich vorzugsweise der Auswertung multitemporaler Luftbilder und erkundet Prozeßergebnisse. Da diese fast immer mit der Regelfunktion des Reliefs für landschaftliche Prozesse im Zusammenhang stehen, erlangen die stereoskopische Bildauswertung und der Vergleich mit großmaßstäbigen topographischen Karten besonders große Bedeutung. Da Prozesse meist nur von "seltenen Ereignissen" ausgelöst, ihre Entstehung von

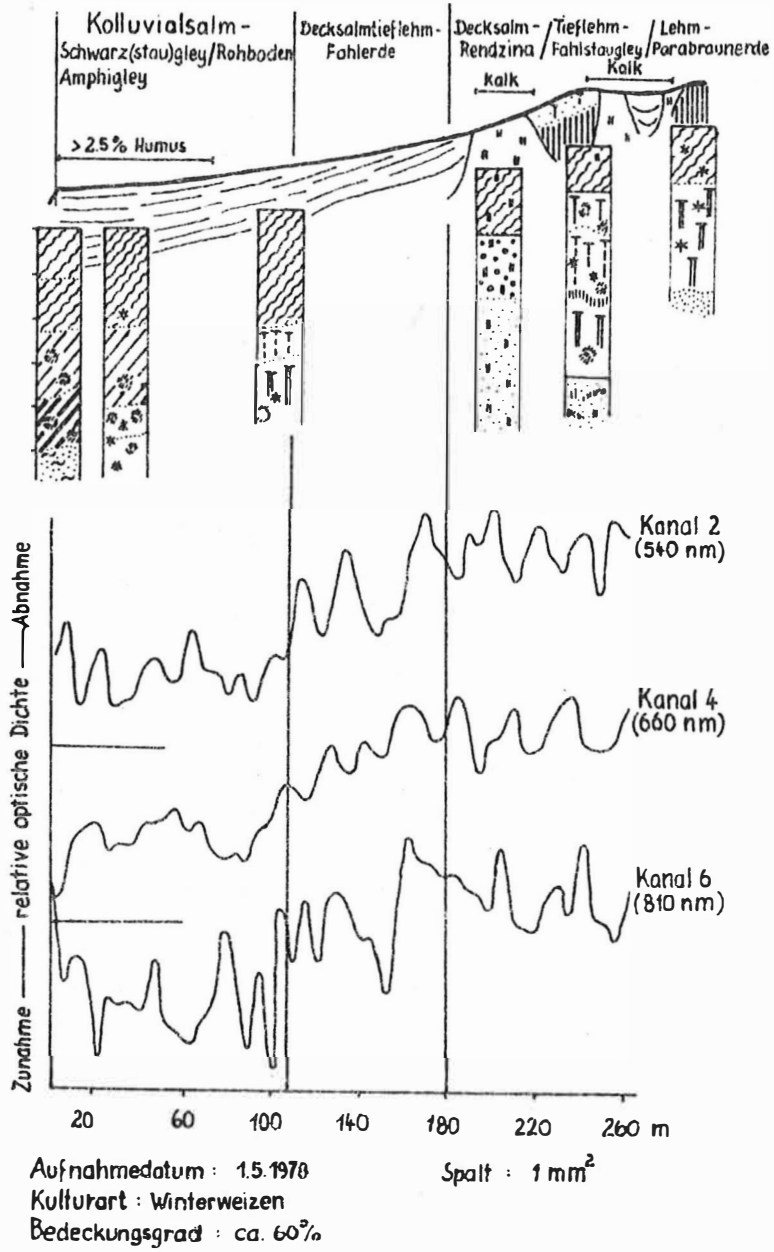


Abb. 2 Das Remissionsverhalten von Bodenformen

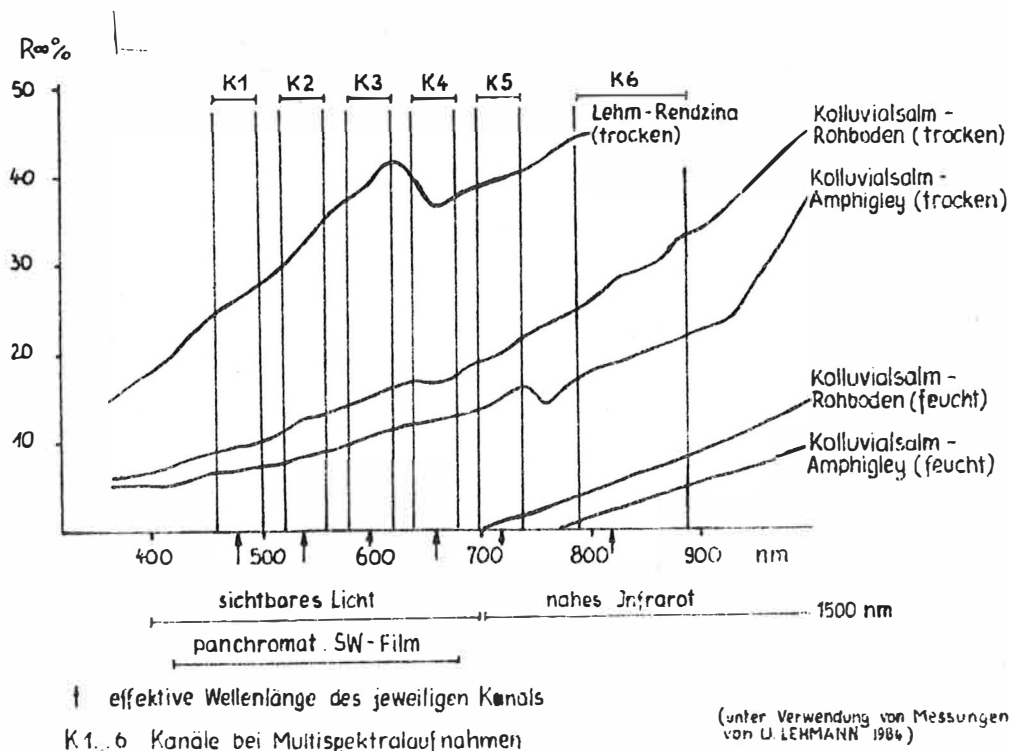


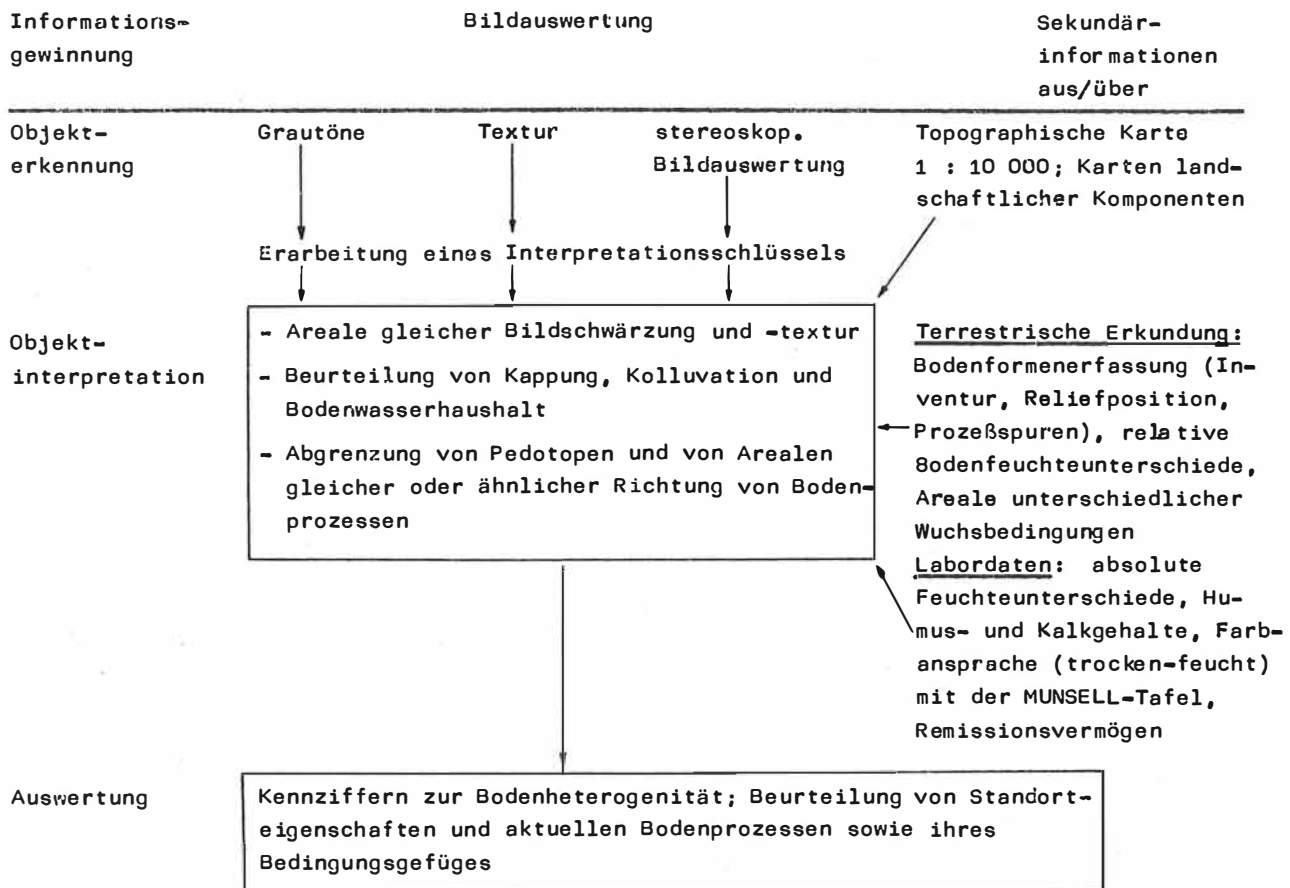
Abb. 3 Spektrales Reflexionsvermögen der Oberböden typischer Bodenformen des Jungmoränengebietes

den stark wechselnden Nutzungsbedingungen abhängen und die Prozeßergebnisse auf landwirtschaftlichen Schlägen i. d. R. bald wieder beseitigt werden, ist die Wiederpiegelung von direkten Prozessen (z. B. Erosionsspuren, ihre Ausprägung und Dichte; Areale frisch geschütteter Schwemmfächersedimente) auf Luftbildern sehr stark zufälligen Charakters. Mehr Wert ist - wie gezeigt werden konnte - auf die Analyse von "langlebigen" Prozeßindizes (z. B. gekappte und kolluviale Areale, Naßstellen) zu legen. Dabei hat die Interpretation von Kolluvialstandorten in Dellen des küsternenahen Jungmoränengebietes folgende Besonderheit zu beachten: In die Dellen wird durch flächenhafte und durch Rinnenabspülung das wenig bindige und im Laufe des Transportprozesses in helle, fast reine Quarzfeinsande und dunklere, humusreichere Sandchluffe differenzierte Material der ursprünglichen periglaziären Sanddecken eingespült. Anfänge noch frisch bis feucht (10 YR 4/3); trocknen diese jetzt den Oberboden bildenden Sandchluffe rasch ab; nehmen sie eine weißgraue Farbe an (10 YR 7/2-3) und sind damit hinsichtlich der Reflexion den Rankern und Rendzinen vergleichbar. Eine Prozeßspurenanalyse ohne stereoskopische Bildauswertung kann in solchen Fällen Anlaß für Fehlinterpretationen sein.

Das Bearbeitungsschema (Tab. 2) für die visuelle Auswertung von Luftbildern bezüglich Bodenheterogenität und Bodenverlagerungsprozessen demonstriert die einzelnen Bearbeitungsstufen. Im vorliegenden Fall wurde die Interpretation der Grautonareale nur bis zur Stufe der Beurteilung von Keppung, Kolluvation und Bodenwasserhaushalt geführt (Abb. 1, Tabelle 1 mit Spalte 4).

Der Einsatz von Luftbildmaterial in der Bodenprozeßforschung verringert den terrestrischen Erkundungsaufwand beträchtlich und erhöht die Genauigkeit der Aussagen über Erosions-, Kolluviations- und Naßstellenareale. Damit werden Voraussetzungen für die Erklärung der arealen Muster der Ertragebildung auf Ackerschlägen und für die Aufdeckung der erosionsauslösenden Wirkungszusammenhänge geschaffen.

Tab. 2 Bearbeitungsschema: Visuelle Auswertung von Luftbildern bezüglich Bodenheterogenität und Bodenverlagerungsprozesse (verändert nach KUGLER u. a. 1983)



Literatur

BARSCH, H., H. WIRTH: Methodische Untersuchungen zur Auswertung multispektraler Fernerkundungsdaten für Flächennutzungskartierungen in der DDR. Peterm. Geogr. Mitt.- Gotha 127(1983) 3.- S. 191 - 202

KUGLER, H., C. RIEDEL, G. VILLWOCK: Landschaftsanalyse mit multispektralen Luftbildern in der Umgebung von Halle (Saale). Geogr. Berichte.- Gotha 112(1984)3.- S. 165 - 184

KUGLER, H. u. a.: Geofernerkundung. Interpretation von Fernerkundungsdaten für geomorphologische Landschaftsanalyse. Lehrheft, Dresden 1983

RIEDEL, C.: Untersuchungen zur bodengeographischen Interpretation von multispektralen Luftbildern.- 1981.- Halle, Diss. A

SCHMIDT, I.: Flächenwasserhaushalt von Hohlformen im Grundmoränengebiet und Kennzeichnung von Standorteinheiten der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standorterkundung (MMK).- In: Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkde.- Berlin 24(1980)7.- S. 393 - 401

SCHMIDT, R.: Die Struktur der Bodendecke der Grundmoränengebiete der DDR.- In: Peterm. Geogr. Mitt.- Gotha 126(1982)3.- S. 153 - 170

SCHMIDT, R., G. HAASE: Die Heterogenität der Bodendecke und ihr Einfluß auf Bodenfruchtbarkeit, Melioration und Landeskultur.- In: Peterm. Geogr. Mitt.- Gotha 124(1980)1.- S. 11 - 18

SCHRÖDER, H.: Musterausprägung und spektrales Abbildungsverhalten von Lößböden im Mittelsächsischen Hügelland.- In: Geogr. Ber. Gotha 112(1984)3.- S. 185 - 196

VILLWOCK, G.: Die Erfassung von Merkmalen der standörtlichen Heterogenität landwirtschaftlicher Nutzflächen mit Methoden der Geofernerkundung.- 1983.- Halle, Diss. A

Bewertung der Wassertransparenz in Küstengewässern der Ostsee auf der Grundlage von multispektralen und multitemporalen Satellitenbildern

T. BARANOWSKA

1. Einleitung

Bei Untersuchungen von Gewässerverschmutzungen können Satellitenbilder vor allem bei großen Gewässern als zusätzliche Informationsquelle sehr nützlich sein, u. a. für Untersuchungen der Ausbreitungsweise der Verschmutzungen. Eine systematische Registrierung gleicher und dabei großer Gebiete geben eine Möglichkeit, die in den Gewässern erfolgenden Änderungen zu verfolgen.

Um die Satellitenbilder desselben Gebietes, die zu verschiedenen Terminen aufgenommen wurden, d. h. die multitemporalen Bilder, in den Untersuchungen der Gewässerverschmutzung nutzen zu können, müssen sie so verarbeitet werden, daß ihre volle Vergleichbarkeit ermöglicht wird. Es geht hierbei vor allem um eine Beseitigung des Einflusses der Unterschiede im Einfallwinkel der elektromagnetischen Strahlung auf die Wasseroberfläche durch Änderungen der Sonnenhöhe und auch um eine Beseitigung der Unterschiede in der Atmosphärentrübung. Diese Korrekturen können z. B. durch die Anwendung der Methode der modifizierten Farbwertanteile erzielt werden.

2. Die Methode der modifizierten Farbwertanteile

Die Farbwertanteile werden in der Farbmeßtechnik zur quantitativen Bestimmung des Tones, der Sättigung und der Helligkeit der Farbe angewandt. Diese Werte sind eine Funktion von Farbwerten, welche die Anteile von drei Bezugsfarben, d. h. Farbanteile, in einer nach der Additivmethode hergestellten Farbe bestimmen.

In der Methode der modifizierten Farbwertanteile wurde angenommen, daß die Farbanteile durch die Längen der in den LANDSAT-Spektralkanälen MSS-4, MSS-5, MSS-6 registrierten elektromagnetischen Strahlung bestimmt sind.

Die modifizierten Farbanteile werden durch folgende Formeln bestimmt:

$$(1) \quad x = \frac{MSS4}{MSS4 + MSS5 + MSS6}$$

$$(2) \quad y = \frac{MSS5}{MSS4 + MSS5 + MSS6}$$

$$(3) \quad z = \frac{MSS6}{MSS4 + MSS5 + MSS6}$$

wobei MSS4, MSS5, MSS6 die digitalen Grautöne eines in den Spektralkanälen 4, 5, 6 registrierten Punktes sind.

In dieser Methode wird der Kanal MSS7 ($\lambda = 800 - 900 \text{ nm}$) nicht betrachtet, weil diese elektromagnetische Strahlung durch die oberen Schichten des Wassers absorbiert wird. Folglich enthält ein in diesem Spektralkanal abgetastetes Bild nur Informationen über die Oberflächenschicht des Wassers und ist für Untersuchungen der Wassertransparenz untauglich.

Aus dem Prinzip der Berechnungen der x-, y-, z-Koordinaten folgt, daß die Summe dieser Koordinaten den Wert 1 haben muß. Demnach ist es ausreichend, eine zweidimensionale Farbtabelle, d. h. ein Diagramm der Koordinaten x und y zu analysieren. Man kann auf die z-Koordinate verzichten, welche keine wesentlichen Informationen über das Wassermilieu enthält.

3. Das Wasserbild im Diagramm der modifizierten Farbwertanteile

Die Methode der modifizierten Farbwertanteile wurde zur digitalen Verarbeitung der multispektralen LANDSAT-Bilder angewandt, um die Änderungen der Wassertransparenz im Oderhaff darzustellen.

Es standen digitale Registrierungen der multispektralen Bilder aus vier Überflügen des LANDSAT-Satelliten zur Verfügung (Tab. 1).

Tab. 1 Verzeichnis der zur Verfügung stehenden Satellitenbilder für das Gebiet des Oderhaffs

Nummer	Datum der Registrierung	Sonnenhöhe
207-22	11. 5. 1976	46°
207-22	23. 5. 1979	51°
207-22	26. 9. 1979	31°
208-22	14. 6. 1980	53°

Für zwei Überflüge des Satelliten, am 26. September 1979 und am 14. Juni 1980, wurde die Wassertransparenz in 25 Punkten des Oderhaffs gemessen.

Die Diagramme der x- und y-Farbwertanteile (Abb. 1 und Abb. 2) zeigen deutliche Unterschiede zwischen Wasser- und Landobjekten. Diese Diagramme belegen jedoch auch, daß die Verlaufskurve von Farbwertanteilen für Gewässer zu den einzelnen Terminen einen unterschiedlichen Charakter hat. Die Ursache liegt hier sowohl in verschiedenen Wassertransparenzen wie auch in einem anderen Trübungsgrad der Atmosphäre.

Um die Einwirkung der Atmosphärentrübung zu beseitigen, müssen alle Diagramme zu dem achromatischen Punkt verschoben werden (Abb. 3). Wenn jetzt die Diagramme des Zusammenhangs zwischen x-Farbwertanteil und der Wassertransparenz analysiert werden, so kann man feststellen, daß nach der Reduktion eine direkte Vergleichbarkeit der Wasseraufnahme zu den analysierten Terminen für die Wassertransparenz in der Spanne von 0,5 m bis zu 2,0 m erzielt ist (Abb. 4). Dies bedeutet, daß hier sowohl der Einfluß der verschiedenen Sonnenhöhen als auch der verschiedene Trübungsgrad der Atmosphäre für die einzelnen Termine beseitigt worden ist.

Die y-Farbwertanteile sind für die Korrelation mit der Wassertransparenz nicht verwertbar (Abb. 5).

Zur Bestimmung einer Korrelation zwischen den reduzierten x-Farbwertanteilen und der Wassertransparenz, welche in situ gemessen wurde, werden die in Bewölkungszonen oder in Flachwasserzonen gelegenen Punkte nicht verwendet. Für die Korrelationsbestimmung wurden 15 Punkte verwendet, darunter 6 Punkte aus den Messungen am 26. September 1979 und 9 Punkte aus den Messungen am 14. Juni 1980.

Für die Wassertransparenz ist ein relativ hoher Korrelationskoeffizient ($r = 0,80$) berechnet worden. Der Standardfehler der Bestimmung der Wassertransparenz betrug nach den x'-Werten ± 26 cm.

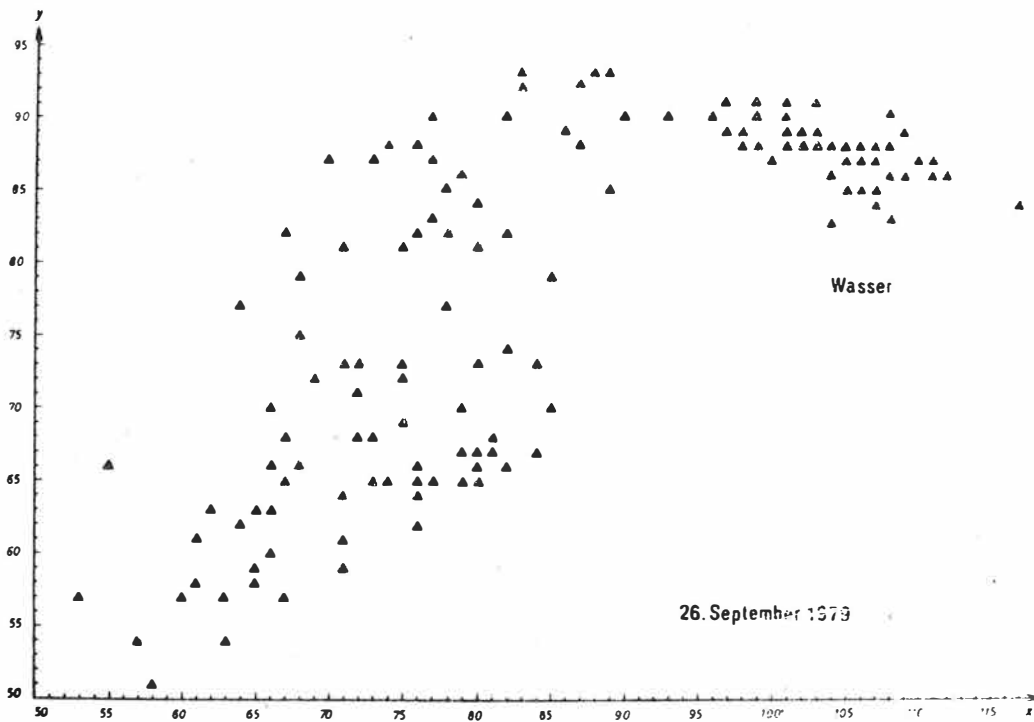


Abb. 1 Diagramm der x- und y-Färbwertanteile für das digitale LANDSAT-Bild des am 26. September 1979 registrierten Gebietes des Oderhaffs

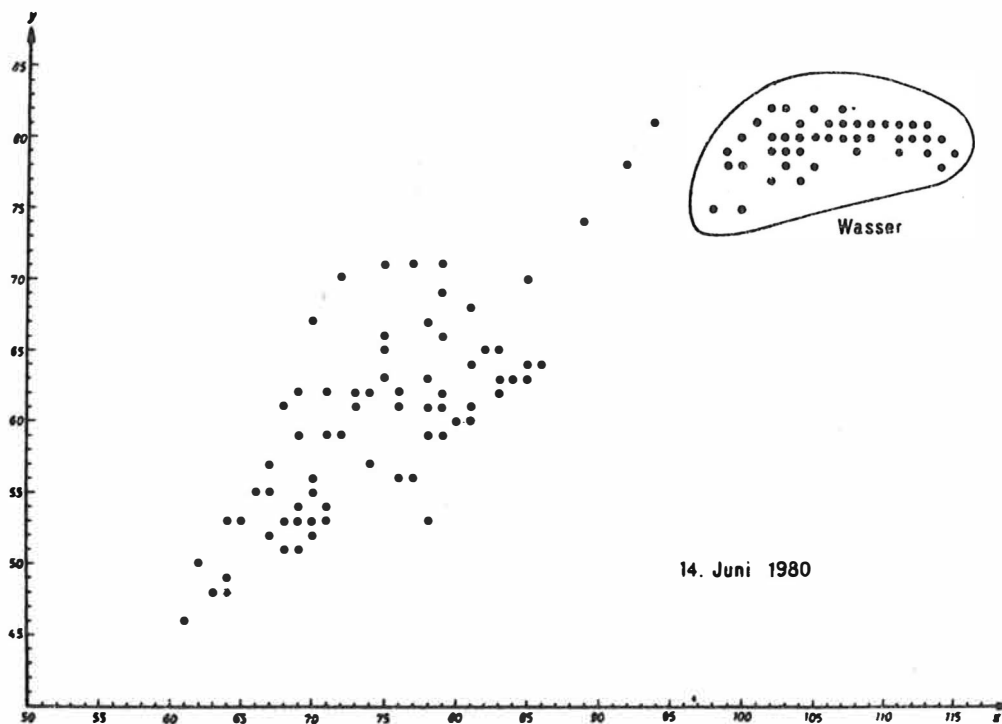


Abb. 2 Diagramm der x- und y-Färbwertanteile für das digitale LANDSAT-Bild des am 14. Juni 1980 registrierten Gebietes des Oderhaffs

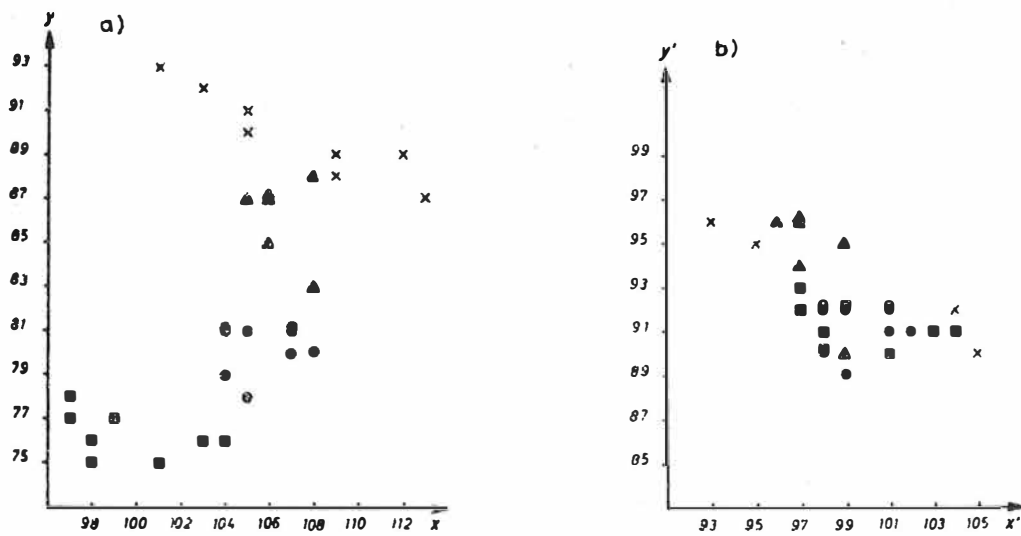


Abb. 3 Diagramme der modifizierten Farbwertanteile für Wasser am 11. Mai 1976, 23. Mai 1979, 26. September 1979, 14. Juni 1980
 a) vor der Beseitigung der Atmosphärentrübung (x, y)
 b) nach der Beseitigung der Atmosphärentrübung (x', y')

Zur digitalen Verarbeitung der Satellitenbilder nach der vorgelegten Methode wurden Berechnungsprogramme vorbereitet, welche auch Möglichkeiten und Unterprogramme des interaktiven digitalen Bildverarbeitungssystems ZPAAC ausnutzen.

Die Ergebnisse der digitalen Bildverarbeitung wurden mit Farbfilm bei Einsatz des Gerätes PHOTOMATION 1700 aufgenommen. Die thematischen Karten im Maßstab 1 : 200 000 wurden auf der Grundlage einer Generalisierung von den aus Farbnegativen hergestellten Vergrößerungen erarbeitet. Diese Karten sind eine Vorinterpretation der verarbeiteten Bilder.

4. Schlußfolgerungen

Die Methode der modifizierten Farbwertanteile kann zur Verfolgung von Änderungen der Wassertransparenz in großen Gewässern mittels Satellitenbildern nützlich sein. Die Möglichkeit und Wirksamkeit dieser Methode zur Beseitigung des Einflusses der Änderungen der Sonnenhöhe und Atmosphärentrübung zur Erzielung einer Vergleichbarkeit der multitemporalen Satellitenbilder wurde wahrscheinlich gemacht. Doch um eine endgültige Bestätigung der Wirksamkeit dieser Methode herbeizuführen, sollen die Untersuchungen mit einer größeren Anzahl von Daten fortgeführt werden.

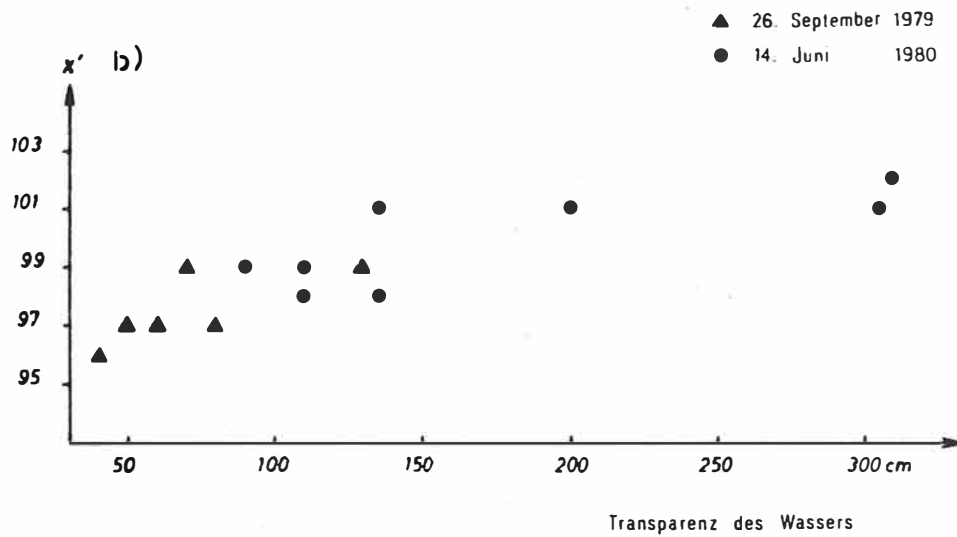
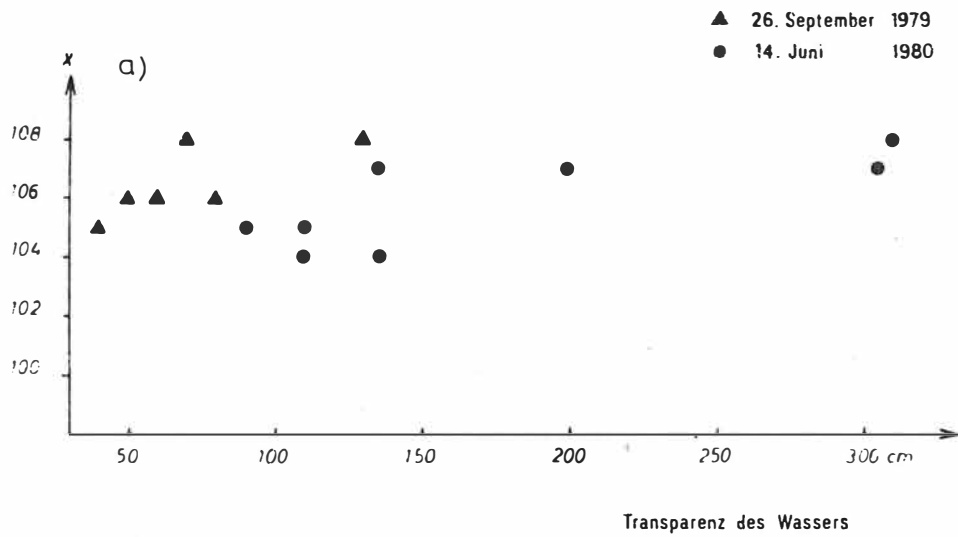


Abb. 4 Abhängigkeit der modifizierten x -Farbwertanteile (vertikale Achse) von der Wassertransparenz (horizontale Achse) am 26. September 1979 und am 14. Juni 1980
e) vor der Beseitigung der Atmosphärentrübung (x)
b) nach der Beseitigung der Atmosphärentrübung (x')

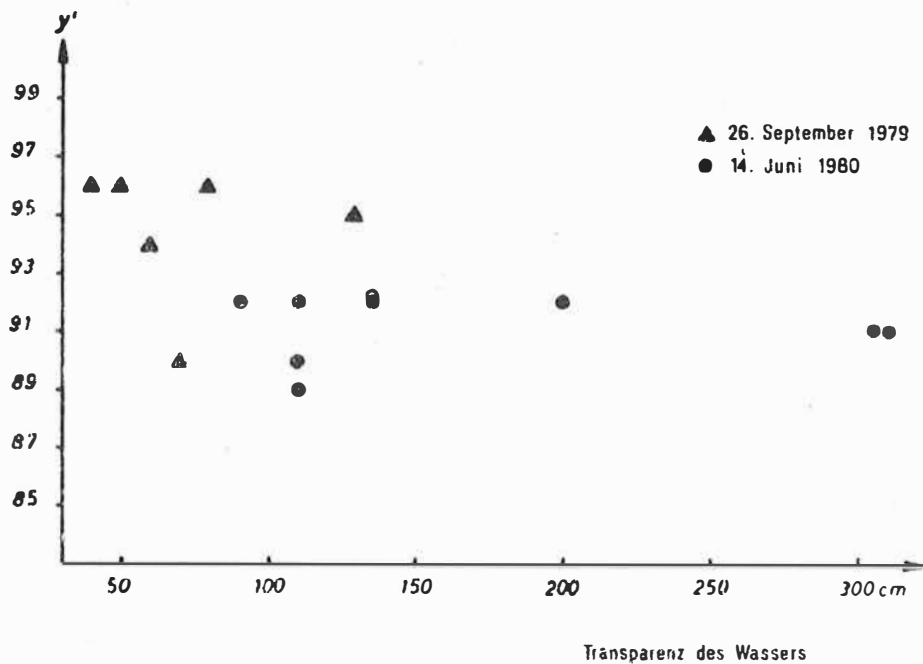


Abb. 5 Abhängigkeit der modifizierten y' -Farbwertanteile (vertikale Achse) von der Wassertrensparenz (horizontale Achse) am 26. September 1979 und am 14. Juni 1980

Literatur

ALFOLDI, T. T., J. C. MUNDAY: Water quality analysis by digital chromaticity mapping of Landsat data. *The Canadian Journal of Remote Sensing*, 15 March 1977

BARANOWSKA, T.: The digital analysis of multitemporal multispectral images of the Szczecin Bay by the method of modified chromaticity coordinates. *Proceedings of the Institute of Geodesy and Cartography /Prace Instytutu Geodezji i Kartografii/*, vol. XXIX, no. 2, 1982

HELBIG, E.: *Podstawy fotometrii*. WNT, Warszawa 1975

MUNDAY, J. C., T. T. ALFOLDI: Landsat test of diffuse reflectance models for aquatic solids measurements. *Remote Sensing of Environment*, 1979, No. 8

Vegetationsformen der Boddenschilfröhrichte und ihre Identifikation auf Luftbildern

S. SLOBODDA

Die inneren Küstengewässer (Bodden) der DDR sind gegenwärtig auf weite Uferstrecken durch Verlandung gekennzeichnet. Im Küstenbereich wird unter Verlandung sowohl der Landzuwachs durch phytogene Verlandung mit Torf- und Muddesakkumulation als auch die Anlandung von minerogenen Sedimenten (Schlick und Sand) verstanden. Bodden-Verlandungseufer mit vorherrschender Röhrichtvegetation bilden Grenzsäume, deren Strukturen und Prozeßabläufe zwischen den küstennahen Festlandebereichen und den flach auslaufenden, brackwasserhaltigen Boddengewässern vermitteln. Die Übergangsbereiche zwischen diesen beiden ökologisch scharf geschiedenen Zustandsformen werden durch relativ schmale Kontaktgürtel eingenommen. Diese sind durch ein zeitlich wie räumlich variables ökologisches Pendelmilieu gekennzeichnet, das sowohl vom landwärts abnehmenden Energie- und Stoffeintrag des Boddens (vor allem dem hydrometeorologisch bedingten, wassergebundenen Sediment-, Salz- und Nährstoffeintrag), aber auch vom landseitigen Energie- und Nährstoffeintrag in Richtung Bodden beeinflusst wird. Für den Kontaktgürtel des Bodden-Verlandungseufers sind daher Energie- und Stoffdurchsätze von höherer bis abgeschwächter Intensität, verbunden mit Akkumulations- und Stagnationsbereichen und deren Auswirkungen auf den biologischen Stoffumsatz der Verlandungsvegetation bezeichnend. Die Bodden-Verlandungseufer lassen sich somit als heterogene Grenzsaum-Standortmosaik interpretieren, deren miteinander kommunizierende topische Elementareinheiten eine regelhafte streifenförmige Anordnung in uferparalleler Richtung aufweisen. In ufernormaler Abfolge, also vom Flachwasser über die Wasserlinie bis zur landseitigen Grenze des Brackwassereinflusses wird diese standörtliche Zonierung durch voneinander unterscheidbare Pflanzenvergesellschaftungen widerspiegelt, die als Vegetationsformen den jeweiligen Standortseinheiten inhaltlich und areal (als Phytotope) entsprechen /5, 6/. Ein derartiger Vegetations-Grenzsaumtyp mit Kontaktgürtel und dessen ökologischem Pendelmilieu wurde von WESTHOFF und van LEEUWEN als "Limes convergens" bezeichnet /8/.

Die Vegetationszonierungen sind durch das räumlich sukzessive, z. T. auch alternierende Hervortreten charakteristischer ökologisch-soziologischer Artengruppen ausgewiesen, wobei dem Gemeinen Schilf (*Phragmites australis*) die Schlüsselstellung innerhalb der Röhricht-Vegetationsformen zukommt. Auf der Grundlage ökologischer und produktionsbiologischer Untersuchungen im Testgebiet Barth/Fahrenkamp (Darß-Zingster Boddenkette) sind 5 ökologisch relevante Phänotypen (Bestandstypen) des Schilfs ausgewiesen worden /9, 10/. Deren biometrische Parameter (Mittlere Halmlänge, Bestandsdichte und Produktivität) spiegeln die Standortverhältnisse der Bodden-Verlandungseufer in ihren zonierten Abfolgen wider und sind mit ihrer Bindung an bestimmte Vegetationsformen geeignete, integrale Meßgrößen für die Erfassung der Stoffumsätze im Geosystem Boddenufer /3/. Sie gestatten damit Aussagen über den landeskulturellen Zustand, insbesondere über das vorhandene oder bereits überforderte Pufferungsvermögen der Schilfröhrichtzonierungen im Grenzsaum zwischen eutrophierten Boddengewässern und intensiv agrarisch genutzten küstennahen Moränen- und Niederungsflächen. Die Größe des Stoffumsatzes der als Nährstofffallen fungierenden Röhrichte und ihrer Widerspiegelung in abgrenzbaren Vegetationseinheiten kennzeichnen das biotische Regulationspotential im Bereich der inneren Küstengewässer.

Ausgehend von den Erkundungen im Testgebiet Fahrenkamp (1981/82) wurden ab 1983 die Bodden-Verlandungsküsten des Grabow und des Saaler Boddens innerhalb der Darß-Zingster Boddenkette im Normabstand von 500 m durch Profilschnitte erkundet, um u. a. die generellen Ausbildungsformen von Verlandungseufern an Boddenküsten zu erfassen und für eine multivalente Auswertbarkeit zu typisieren und zu kartieren. Es lag nahe, die Möglichkeiten der Luftbildinterpretation für dieses Vorhaben zu prüfen, wobei sich das gut untersuchte Testgebiet Fahrenkamp als Vergleichsareal anbot.

Erste Erfahrungen mit der Luftbildinterpretation von Küstenabschnitten der Darß-Zingster Boddenkette wurden von LINDNER und WOLFF (1974) /4/ mitgeteilt. Bei einer Hochbefliegung konnte die Submersvegetation des Flachwassers mit UT 18-Farbfilm aufgenommen und daraufhin gut identifiziert und kartiert werden. In den Uferbereichen waren die bestandbildenden Röhricht-Leitpflanzen Strandsimse, Selzteichsimse und Schilf sicher unterscheidbar; die innere Differenzierung der Schilfröhrichte wurde jedoch nicht berücksichtigt.

Als Grundlage für eine Überprüfung von Luftbildmaterial boten sich die Ergebnisse von Vegetationskartierungen der Röhrichtzonen im Raum Fahrenkamp aus den Vegetationsperioden 1981 und 1982 an. Die Vegetationskarte (Abb. 1) gibt den generellen Aufbau der Grenzsaum-Standortmosaik mit ihrem Streifen-Anordnungsmuster wieder und weist Lage sowie Ausdehnung der einzelnen, durch Vegetationsaufnahmen belegten Vegetationsformen nach.

Ausgehend von dieser Geländekartierung wurde versucht, zugängliches Luftbildmaterial vom Testgebiet Fahrenkamp und dessen Inhalt mit den terrestrisch erkundeten Sachverhalten zu vergleichen. Aus einer Befliegungsserie von Multispektralaufnahmen über dem Küstengebiet der DDR vom 1. 5. 1978 in 6000 m Höhe wurde die MKF 6-Aufnahme 322 für die Luftbildinterpretation unseres Testgebietes ausgewählt und mit Hilfe des Multispektralprojektors MSP 4 ausgewertet⁺.

Unabhängig von der Farbsynthese kam es bei der Auswertung der Mehrkanal-Aufnahme am Mischprojektor besonders auf die Herausarbeitung von Helligkeitskontrasten mit deutlichen Grenzen im Bereich der Bodden an. Der Zeitpunkt der Aufnahme (1. Mai) ließ allerdings von vornherein mehr die standörtlichen Differenzierungen als die Vegetationszonierungen selbst im Luftbild erwarten. Die Interpretation erfolgte danach anhand einer Arbeitskopie von einer kontrastreichen Farbvariante.

Die vorausgehende Suche nach einer für die visuelle Auswertung geeigneten Filterkombination mit Farb- und Helligkeitskontrasten am MSP 4 erfordert für den Anfänger ein längeres Einarbeiten, besonders beim Hervorheben notwendiger Details in den sehr eng gelagerten Boddenuferzonierungen /7/.

In bewußter Anlehnung und maßstäblicher Angleichung an die Detailkartierung im Gelände von 1981/82 (siehe Abb. 1) erbrachte die Auswertung der MKF-6-Aufnahme vom 1. Mai 1978 folgende Ergebnisse (Abb. 2):

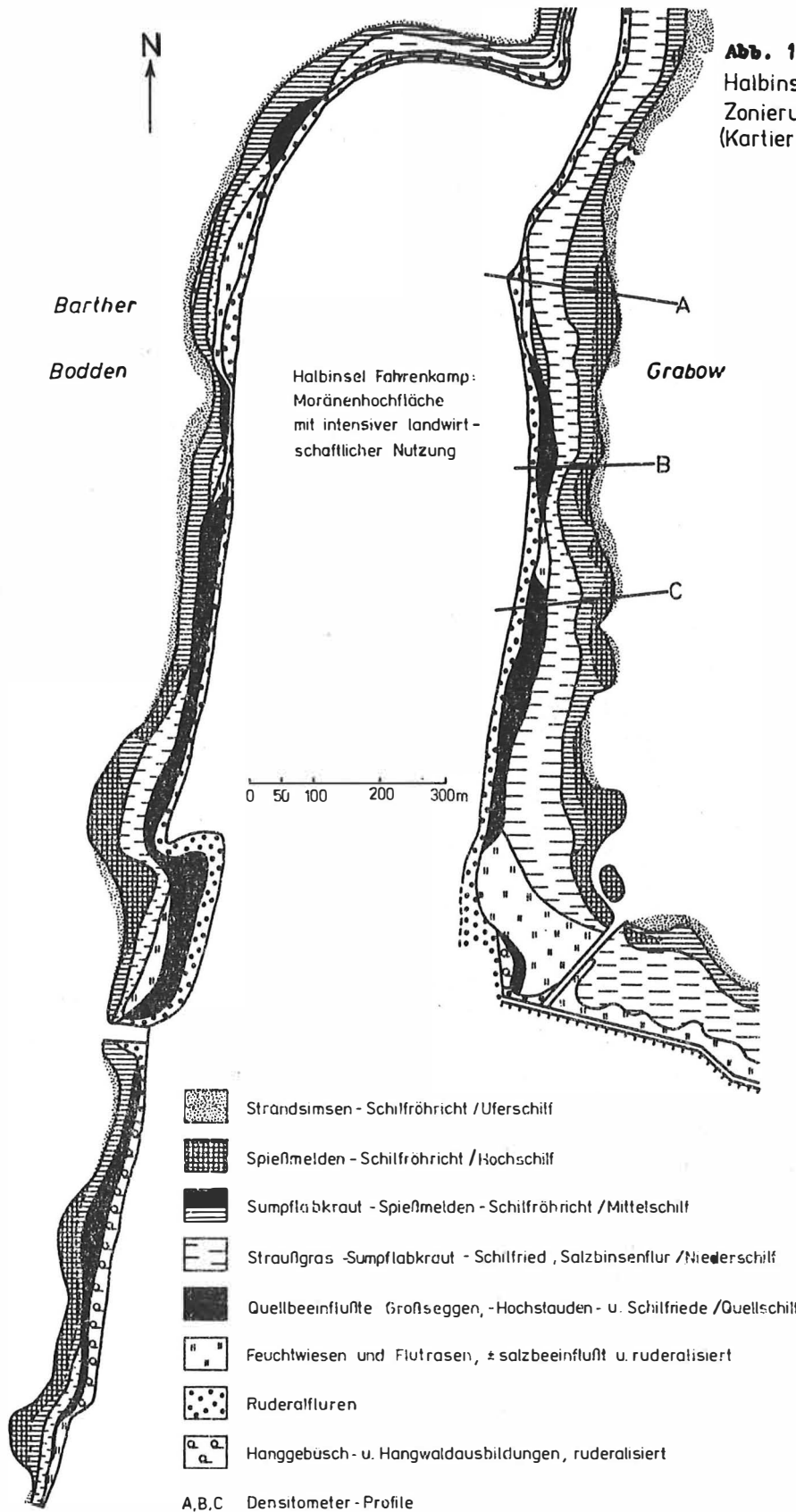
Die Schilfröhrichte waren zum Aufnahmezeitpunkt noch nicht entwickelt, d. h. sie treten auch im Luftbild phänologisch noch nicht in Erscheinung oder sind meist nur indirekt durch flächendeckende Ansammlungen vorjähriger Streu und Helm-Überstände, z. T. als vernäbte Flächen nachweisbar.

Eine bereits im Flachwasser angesiedelte Pionier-Röhrichtzone, das Strandsimsen-Schilfröhricht (Bestandstyp Uferschilf) fehlt im Luftbild fast völlig (bis auf > 20 m breite Siedlungen mit erhaltenen Überständen), weil sie nach starker hydrodynamischer Beanspruchung (Wellenschlag, Eisschub) erst ab Mitte Mai wieder in Erscheinung tritt.

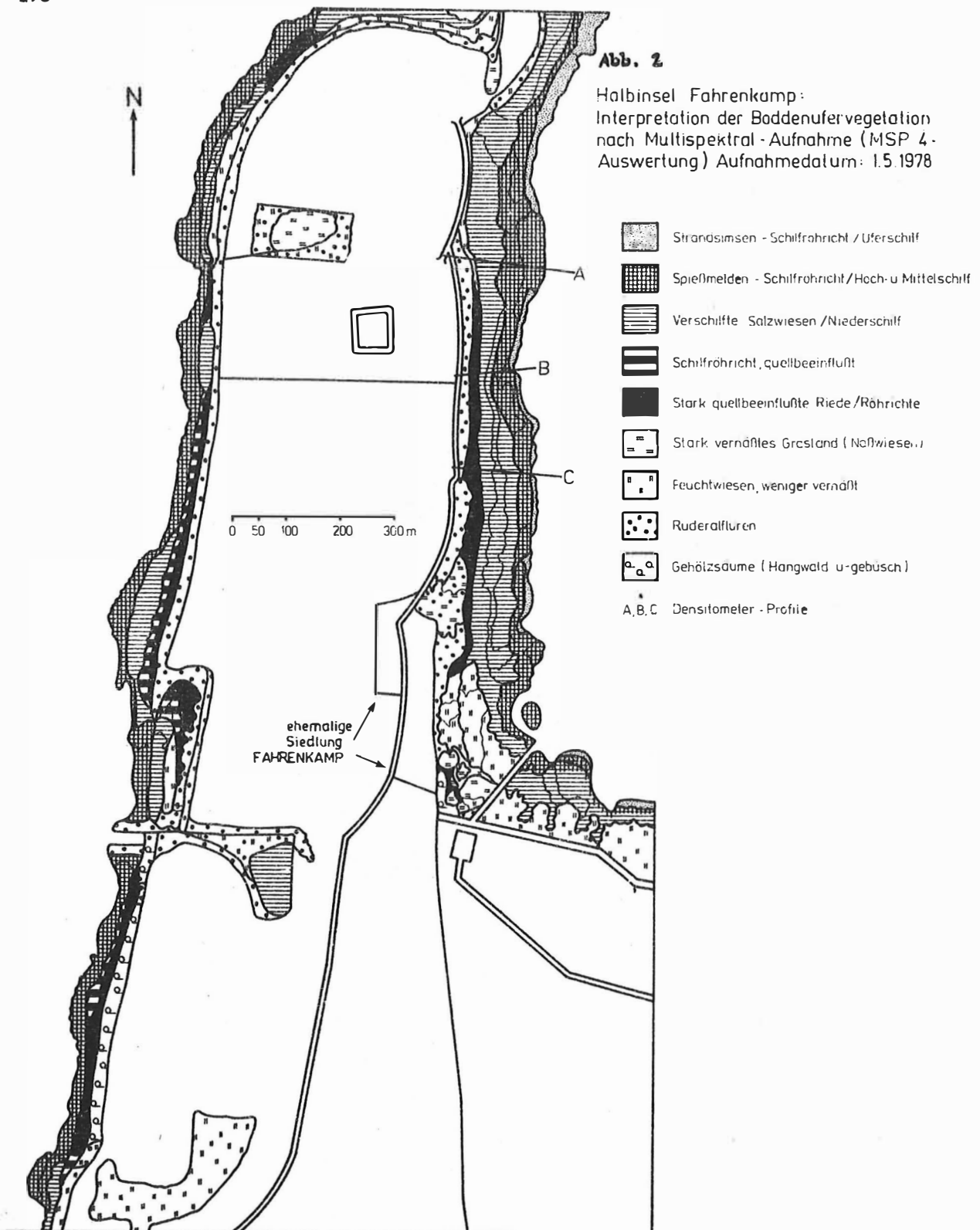
Die landwärts anschließenden, geschlossenen Röhrichte (Spießmellen-Schilfröhricht; produktive Bestandstypen Hochschilf und Mittelschilf) sind Anfang Mai durch dichte Streulagen und Überständezonen gekennzeichnet und treten als ± homogene bis schwach schlierig-fleckige farbschwache Streifen hervor, die z. T. in Fleckenpartien aufgelöst sind.

⁺ Für eine Möglichkeit der Einweisung und des Arbeitens am MSP 4 sowie am MIKRODENSITOMETER MD 100 im Zentralinstitut für Physik der Erde (ZIPE) Potsdam bin ich Herrn Prof. Dr. KAUTZLEBEN sowie Herrn Dr. KROITZSCH und Kolln. FRUBRICH für ihre sachdienliche Unterstützung bei der Einführung in die Methodik der MKF-6-Luftbildinterpretation besonders dankbar.

Abb. 1
Halbinsel Fahrenkamp östlich Barth:
Zonierung der Boddenufervegetation
(Kartierung 1981/82)



zur Veröffentlichung freigegeben unter S 7/85



Zentral gelegene, vorschilfte Salzweiden (Salzbinsenflur sowie Straußgros-Sumpflabkraut-Schilfried; Bestandstyp Niederschilf) mit uferparallel an Riegen, aber auch zerfahrene vernähte Flächen (Rohrwerbung im Winter!) weisen Anfang Mai eine gewisse innere Heterogenität auf, die durch \pm zonierte angeordnete Flecken mit Helligkeitsunterschieden und deutlichen Grenzen belegt ist. Für die Breitenabgrenzung dieser (wie auch der anderen) Zonierungen war der Vergleich mit der Geländekartierung unerlässlich.

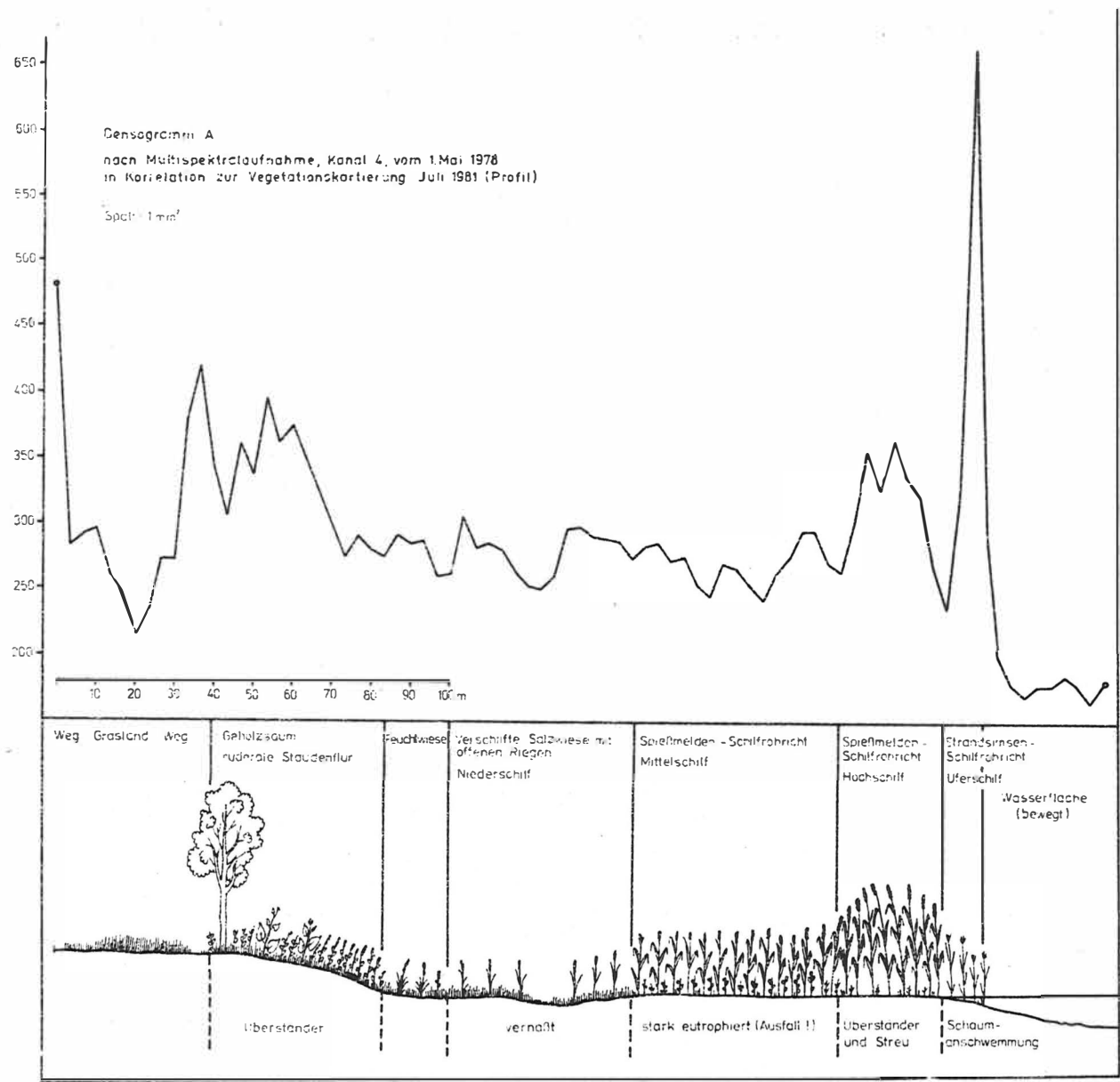
Sehr deutlich sind die landseitigen Uferzonierungen im Luftbild abgesetzt. Im Testgebiet bestehen sie aus quellbeeinflussten Schilfriedern bzw. -röhrichtern mit stärkeren Anteilen einer krautigen Begleitflora (Rispenseggen-Schilfried, Brennessel-Schilfröhricht u. a.; Bestandstyp Quellschilf), streckenweise an flacheren Ufern auch aus Feuchtwiesen (Gänsefingerkraut-Rohrschwingelwiese, Rotschwingelwiese). Die zur Aufnahmezeit bereits entfalteten, von nährstoffreichen Quellaustritten geförderten Krautfluren zwischen lückigem Überständer- und Streumaterial heben sich als farbkräftiges Band deutlich von den phänologisch verzögerten boddenseitigen Röhrichtern ab. Besonders unterhalb der für das Gebiet typischen fossilen Kliffstrecken treten frisch ergrünte Staudenfluren mit hoher Farbsättigung hervor. Quellbeeinflusste Schilfröhrichte reichen nach den Geländebefunden noch weiter boddenwärts, zeigen jedoch in ihrem Artenbestand zugunsten dominanter Schilfbestände eine gewisse floristische "Ausdünnung" im extremeren Milieu, so daß sie im Luftbild wie die o. g. Schilfröhrichte in Erscheinung treten.

Deutlich abgesetzt erscheinen auch die gehölzbestandenen ehemaligen Kliffabhänge am Westufer der Halbinsel sowie eine breite Staudenflur- und Flutresenzonierung der Halbinsel nahe der ehemaligen Siedlung Fahrenkamp. Ihre durch eine lebhaftere Fleckenstruktur angedeutete innere Differenzierung, die sowohl vernähte Ruderalfluren unterhalb von Düngstätten als auch \pm ruderalisierte Flutrasen mit nassen Riegen und Tümpeln umfaßt, läßt sich gut abgrenzen. Bei enger Nachbarschaft zu offenen, vernähten Schilfriedflächen, deren standörtliches Erscheinungsbild zur Aufnahmezeit dem der Flutresen sehr ähnelt, erfordert eine genaue Unterscheidung wiederum die Auskünfte der terrestrischen Kartierung.

Zum Vergleich und zur Absicherung der Bodden-Verlandungsuferinterpretation aus den Strukturen einer MKF-6-Aufnahme kamen drei bereits im Gelände eingehend erkundete Uferprofile am Ostufer der Halbinsel für eine Untersuchung der Remission in Betracht (Lage siehe Abb. 1 und 2). Vom Aufnahmenegativ des Kanals 4 (Roter Spektralbereich, λ_0 660 nm) wurden am MIKRODENSITOMETER MD 100 drei Remissionsmeßreihen gewonnen (Noniusausschnitt 1 mm^2) und als Densogramme graphisch ausgewertet (Abb. 3 - 5). Die drei Profile liegen jeweils nur wenige 100 m auseinander und können zu einem Boddenufertyp gerechnet werden. Ihre Densogramme erlauben nach den Schwärzungswerten des Aufnahmenegativs folgende Interpretation:

Die höchsten Remissionswerte treten jeweils an den landseitig festgelegten Profilgrenzen (offener Fahrweg am Ackerrand) sowie an der Wasserlinie auf (Schaumstreifen unmittelbar an der Wasserlinie vor geschlossener Röhrichtfront, bedingt durch auflandigen Wind aus östlicher Richtung). Stark schwankende Remission wiesen die Hangbereiche an fossilen Kliffen auf: Sowohl die höhere Remission der trockenen, vorjährigen Streu bzw. Überständer als auch die aufkommende Krautvegetation mit höherer Absorption bzw. geringerer Remission wurden im Meßausschnitt erfaßt. Generell heben sich frisch ergrünte Vegetationsflächen durch die von der Strahlungsabsorption bedingten "Körperfarbe" von anderen, stärker reflektierenden Flächen ab /2/. Auch feuchtere Flächenpartien weisen eine höhere Absorption auf: Vernähte Riegen im ehemaligen Salzweidenbereich und bereits schwach ergrünte Schilfriedzonen (Niederschilfbereich) sowie unter Wasser stehende, zerfahrene oder durch Eutrophierung zusammengebrochene Schilfröhrichtflächen (letztere im Densogramm A) zeigen eine geringere Remission. Geschlossene, intakte Schilfröhrichte sind Anfang Mai bei trockener Witterung durch helle Überständer- und Streusammlungen gekennzeichnet. Mittel- und Hoch-

Abb. 3 Halbinsel Fahrenkamp östlich Barth
Boddenuferzonierung am Ostufer



Densogramm B

nach Multispektralaufnahme, Kanal 4, vom 1. Mai 1978
in Korrelation zur Vegetationskartierung Juli 1981 (Profil)

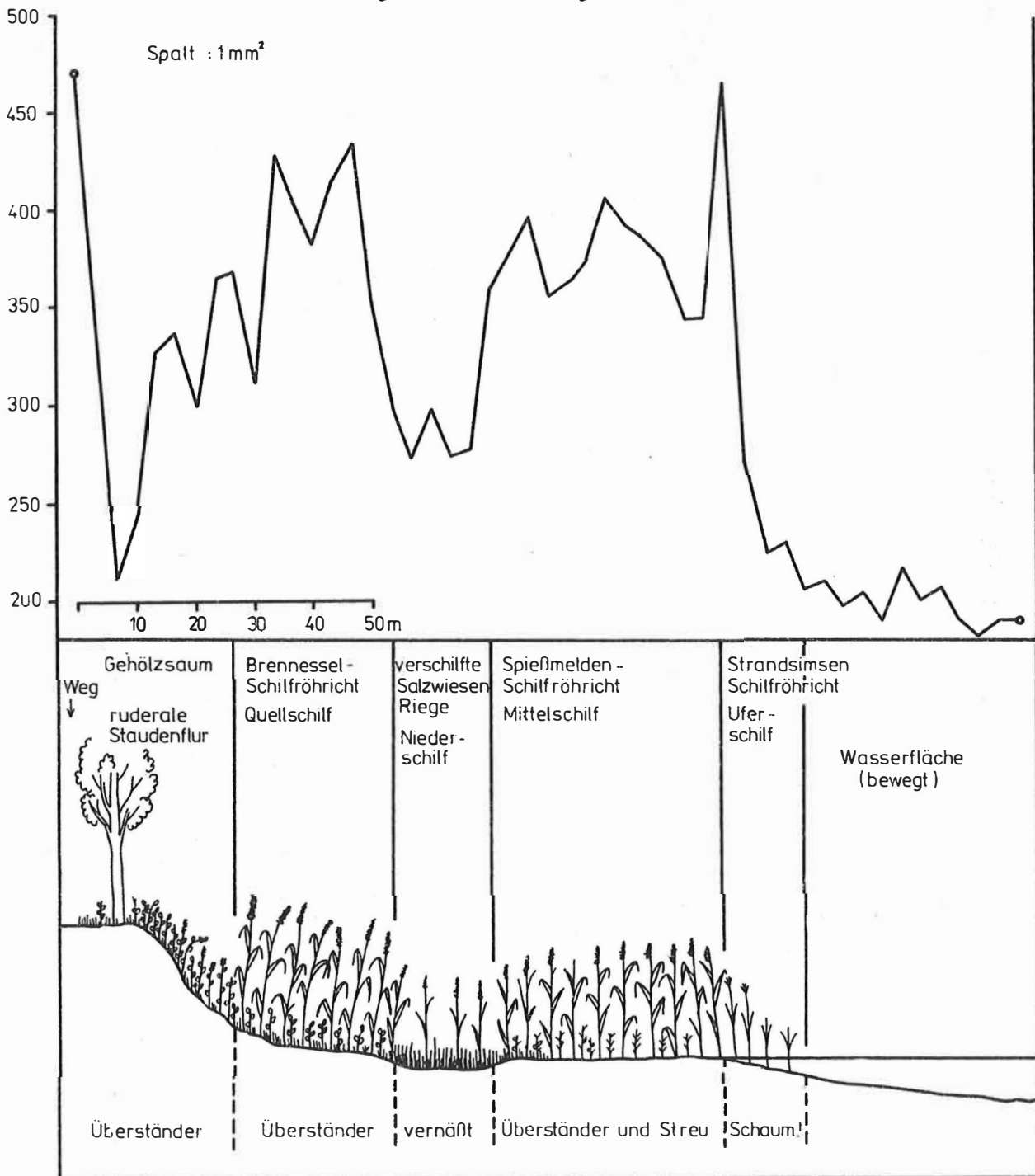


Abb. 4 Halbinsel Fahrenkamp östlich Barth
Bodenuferzonierung am Ostufer

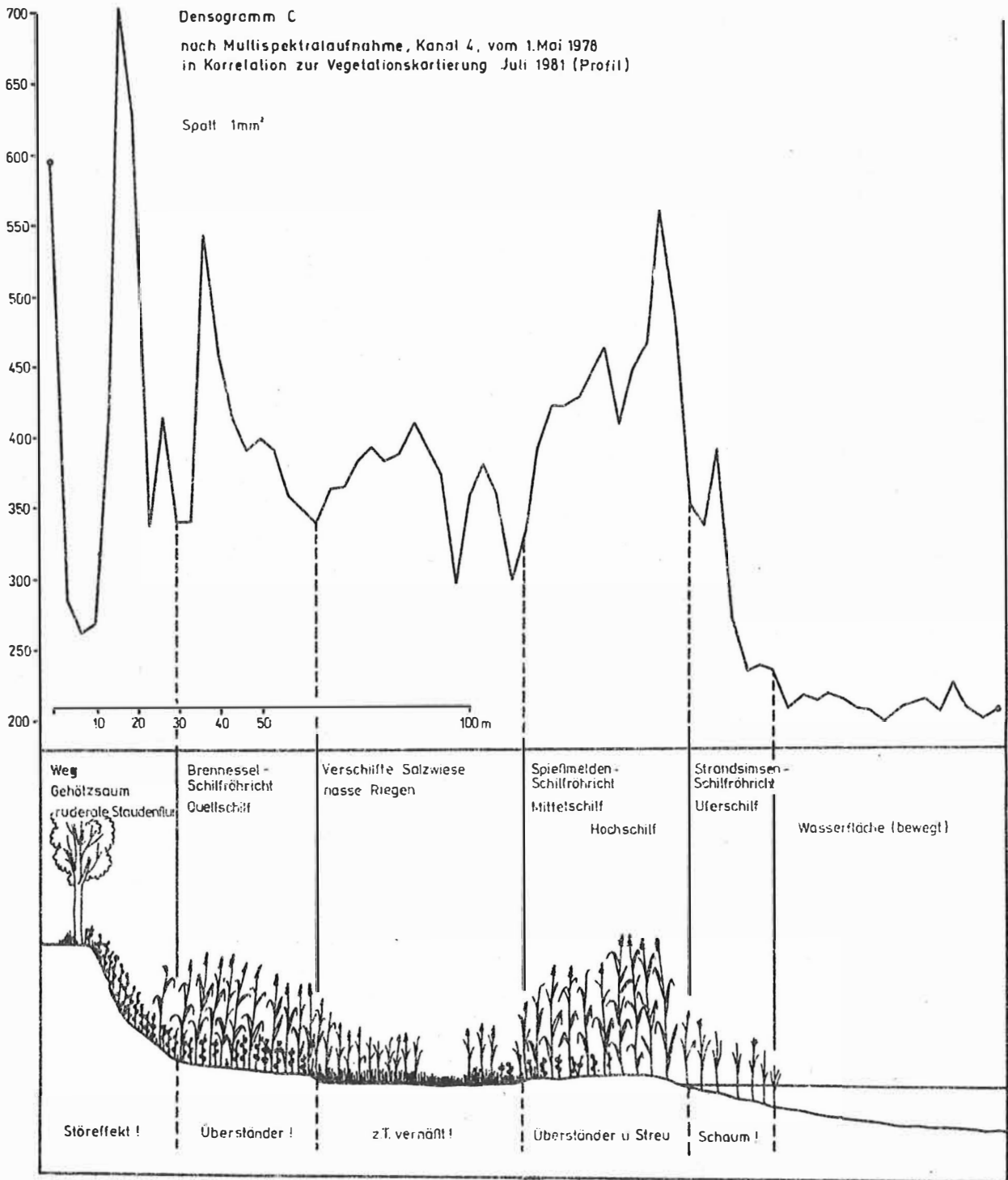


Abb. 5 Halbinsel Fahrenkamp östlich Barth
 Boddenuferzonierung am Ostufer

schilfzonierungen heben sich daher durch abgesetzte höhere Remissionen ab. Die niedrigsten Remissionen wurden in den miterfaßten Flachwasserpartien und z. T. im geschlossenen Grasland der Hochfläche (Densogramm A) und in Staudenfluren am Kliffoberhang registriert.

Sowohl die verwendete MSP 4-Farbsynthese als auch die Densitometer-Testprofile einer MKF-6-Aufnahme im Bereich eines terrestrisch gut untersuchten Testgebietes geben die Boddenuferzonierung in ihrer inneren Differenzierung (Grenzaum-Standortmosaik mit Streifen-Anordnungsmuster) generell wieder. Eine sichere Unterscheidung der für Bodden-Verlandungsufer typischen Vegetationszonierungen konnte auf Grund des Aufnahmezeitpunktes nur indirekt aus den Kenntnissen standörtlicher Gegebenheiten unter Berücksichtigung der terrestrischen Kartierungsergebnisse erfolgen. Zwischen der MKF-6-Befliegung und der Geländekartierung liegen Zeitintervalle von 3 bzw. 4 Jahren. Dennoch ergab sich aus dem Vergleich zwischen den lokalisierten, ausgemessenen Kartierungsprofilen (im 100 m-Normabstand) und dem Luftbild befriedigende Übereinstimmung hinsichtlich der Profil- und Zonierungsbreiten. Einzelne Lagebezeichnungen und der Uferlinienverlauf, die bei der Kartierung durch Interpolation zunächst zu sehr generalisiert wurden, konnten mit Hilfe des Luftbildes im Detail korrigiert und vervollständigt werden. Von der Erarbeitung eines Interpretationsschlüssels wurde jedoch vorerst Abstand genommen, weil der bisher zu geringe Umfang eigener Luftbildauswertungen und der für eine Vegetations-Nachkartierung ungünstige Befliegungstermin dafür Grenzen setzen.

Zur genaueren und vollständigen Interpretation voll entwickelter Vegetationsformen und ihrer Schilfbestandstypen als integrale Merkmale von Bodden-Verlandungsuffern sind Luftbild-Befliegungen gegen Ende der Vegetationsperiode erforderlich. Nach Geländebeobachtungen, die durch VOIGTLAND /9, 10/ im Detail belegt sind, weisen die Schilfzonierungen im September markante Unterschiede in der Bestandsdichte, der Wuchshöhe und der photosynthetischen Aktivität auf. Der unterschiedliche Chlorophyllgehalt der Schilfröhrichte im Frühherbst, bedingt durch das zeitlich gestaffelte Vergilben der Blätter (Chlorophyllabbau zuerst in den zentralen Bereichen mit extremen Standortbedingungen!) wurde bereits im Gelände deutlich sichtbar. Erst recht dürfte sich der unterschiedliche Chlorophyllgehalt auf MKF-6-Luftbildern durch abgestufte Remissionenwerte mit Grenzkontrasten für die Vegetationszonierungen niederschlagen und eine optimale Kartierung größerer Röhrichtuferstrecken ermöglichen, wenn Luftbilder vom Spätsommer oder Frühherbst ausgewertet werden könnten. Luftbilddauswertungen von Multispektralaufnahmen aus vorwiegend agrarisch genutzten Landschaften der DDR mit unterschiedlich entwickelten Vegetationsflächen /1/ führten zu analogen Schlußfolgerungen.

Literatur

- /1/ BARSCH, H. u. H. WIRTH: Methodische Untersuchungen zur Auswertung multispektraler Fernerkundungsdaten für Flächennutzungskartierungen in der DDR.- In: Peterm. Geogr. Mitt. 127(1983)3.- S. 191 - 202
- /2/ KAUTZLEBEN, H.; KROITZSCH, V. u. H. WIRTH: Die Fernerkundung der Erde mit Hilfe der Multispektralphotographie.- In: Vermessungstechnik 25(1977)3.- S. 78 - 81
- /3/ KNOLL, B.; LAMPE, R.; SLOBODDA, S. u. R. VOIGTLAND: Prozeß- und Strukturarkundung an den Küsten der inneren Seegewässer der DDR.- Wiss. Abh. der Geogr. Ges. der DDR 18 (im Druck)
- /4/ LINDNER, A. u. G. WOLFF: On aerophotographic interpretation in the mapping of the deposition belt and of the submerged plant societies in waters of low depth of visibility.- In: Jena Review 3(1974).- S. 182 - 185

- /5/ SCHLOTER, H.: Geobotanisch-vegetationsökologische Grundlagen der Naturraumerkundung und -kartierung.- In: Peterm. Geogr. Mitt. 125(1981)2.- S. 73 - 82
- /6/ SCHLOTER, H.: Geobotanische Kennzeichnung und vegetationsökologische Bewertung von Naturraumeinheiten.- In: Arch. Naturschutz u. Landschaftsforschung 22(1982)2.- S. 69 - 77
- /7/ SÖLLNER, R.: Beiträge zur Theorie der Farbmischung von Multispektralbildern in Farbmischprojektoren.- In: Vermessungstechnik 25(1977)9.- S. 301 - 303
- /8/ Van LEEUWEN, Chr. G.: Het verband tussen natuurlijke en antropogene landschapsvormen, beziën vanuit de betrekkingen in grensmilieus's.- In: Gorteria 2(1965)8.- S. 93 - 105
- /9/ VOIGTLAND, R.: Wasserchemismus und Biomasseproduktion in Schilfröhrichtern und deren Beeinflussung durch Grund- und Boddenwässer.- In: Wiss. Z. Univ. Greifswald, Math.-Nat. R. 32 (1983)1 - 2.- S. 113 - 119
- /10/ VOIGTLAND, R.: Biologische und hydrochemische Stoffhaushaltsuntersuchungen in Schilfverlandungszonen.- 1984.- Greifswald, Univ., Math.-Nat. Fak., Diss. A

Differenzierung und Klassifizierung von Waldmassiven im Rahmen der Umweltüberwachung

D. KALLWEIT

Das biologische Monitoring hat sich in den letzten Jahren zu einem wichtigen Bestandteil der Umweltüberwachung entwickelt. Biologische Systeme integrieren in sich alle stofflichen und energetischen Veränderungen ihrer Umwelt und verarbeiten sie, indem sie geänderte Zustandscharakteristika oder Ausgangsgrößen aufweisen.

Koniferenwälder, d. h. Kiefern-, Fichten- oder auch Tannenwälder sind gegenüber Immissionsbelastungen empfindliche Indikatoren. Diese seit über 100 Jahren bekannte Tatsache ist durch die Anwendung der Falschfarbentechnik zur Identifizierung von Rauchschäden in der Forstwirtschaft für die Umweltüberwachung interessant geworden. Einen weiteren Aufschwung hat die Nutzung des Bioindikators Wald für die Umweltüberwachung durch die Entwicklung der kosmischen Fernerkundung erfahren, weil damit ein System der operativen Kontrolle, wie es ein Umweltüberwachungssystem sein muß, in greifbare Nähe gerückt ist. Innerhalb eines solchen Systems, z. B. eines hochauflösenden multispektralen Scanners kann die Waldzustandskontrolle sehr effektiv eingeordnet werden.

Ausgehend von der Tatsache, daß in der DDR ein Viertel des Territoriums von Waldökosystemen bedeckt sind, die zu 54 % aus Kiefern und zu 21 % aus Fichten bestehen und über das gesamte Territorium nahezu gleichmäßig verteilt sind, wurde die Eignung der Methoden der Fernerkundung für die Umweltüberwachung anhand der Waldgebiete untersucht.

Nach HILDEBRANDT /2/ sind eine Reihe wichtiger Voraussetzungen notwendig, die einen erfolgreichen Einsatz der Methoden der Fernerkundung für diese Zielstellung gewährleisten:

1. Die Erkennung von Veränderungen des Waldzustandes setzt voraus, daß zwischen gesunden und veränderten Waldbeständen in einem oder mehreren Spektralbereichen objektspezifische Remissionsunterschiede auftreten. Das Unterschiedsquantum muß so beschaffen sein, daß es nach dem Durchgang durch die Atmosphäre vom Sensor noch erfaßt werden kann.
2. Es müssen objektspezifische Entwicklungsphasen für die Wahl optimaler Aufnahmezeitpunkte berücksichtigt werden.
3. Das einzusetzende Fernerkundungssystem muß für die Spektralbereiche sensibel sein, in denen sich die Remissionsunterschiede dokumentieren. Das zu untersuchende Objekt muß größer als die geometrische Auflösung des Aufnahmesystems sein, d. h. es muß erkennbar sein.

Es wurde folgerichtig das Remissionsverhalten von Kiefern analysiert. Die durch eigene Messungen gewonnene Remissionskennlinie der Nadeln (Abb. 1) entspricht den Literaturangaben von BÄCKSTRÖM und WELANDER /1/ sowie KRINOW /3/ und gilt gleichwohl für Kiefernzweige.

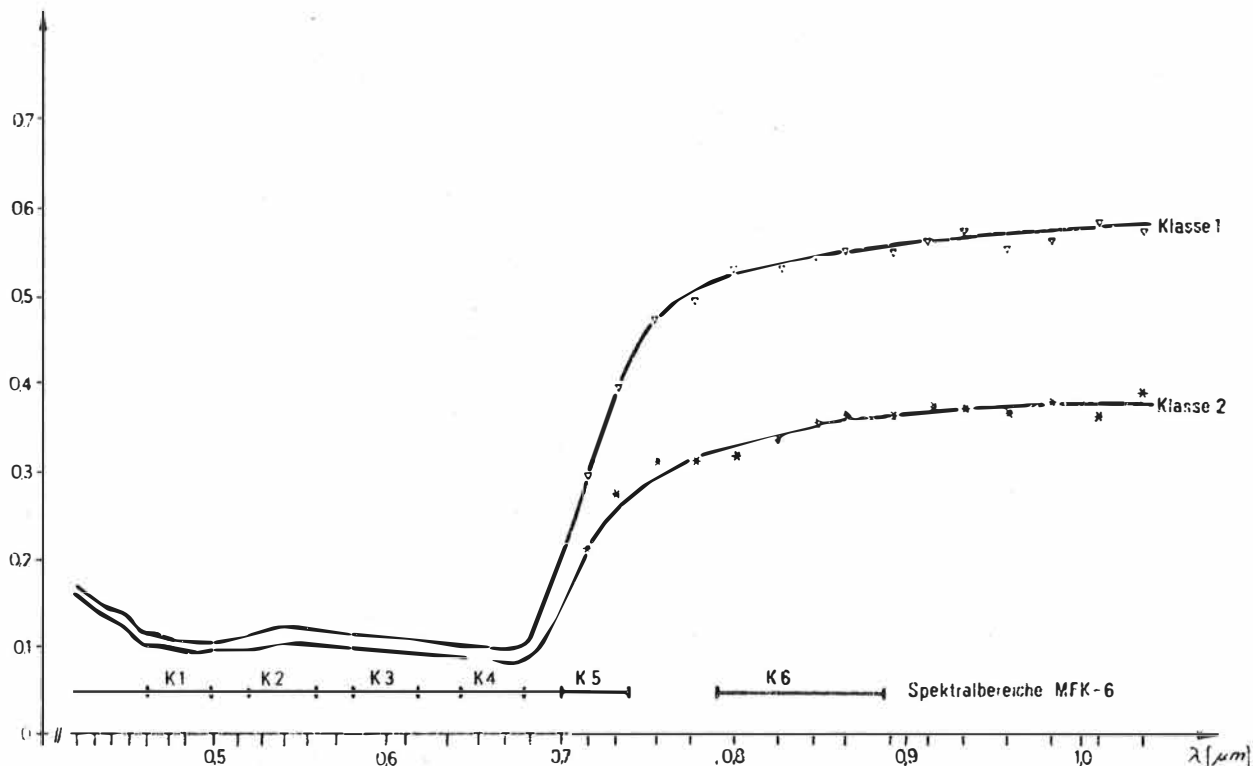


Abb. 1 Remissionskennlinie von Kiefernadeln des 2. Nadeljahrgange
(Klasse 1 - gesund; Klasse 2 - belastet)

Im Spektralbereich von $0,4 - 0,7 \mu\text{m}$ sind die Remissionsunterschiede zwischen unbelasteten und belasteten Kiefernadeln sowie Zweigen sehr gering. Die Differenzierung erfolgt im Bereich $0,75 - 1,1 \mu\text{m}$. Das für die Untersuchungen genutzte Spektrometer gestattet Messungen im Bereich von $0,42 - 1,1 \mu\text{m}$. Die Remissionsmessungen wurden als Relativmessungen durchgeführt. Der Unterschied zwischen der hohen Remission für gesunde einjährige Nadeln zu den belasteten einjährigen Nadeln beträgt bis zu 30 %.

Weiterhin wurde über mehrere Vegetationsperioden das Remissionsverhalten von Kiefernadeln im Prozeß ihrer Entwicklung (d. h. vom Nadelaustrieb bis zur voll ausgereiften Nadel) in den Spektralbereichen $0,70 - 0,74 \mu\text{m}$ und $0,79 - 0,89 \mu\text{m}$, was den Kanälen 5 und 6 der MKF-6 entspricht, verfolgt (Abb. 2).

Mit der Entwicklung der jungen Kiefernadeln (Austrieb Ende Mai/Juni) fällt die relative Remission von einem Maximalwert $r = 80 \%$ auf $r = 73 \%$ in den Monaten Juli, August und September. Der Übergang in die Winterruhe erfolgt in den Monaten Oktober, November und ist von einem steilen Abfall der Remission $r = 50 \%$ gekennzeichnet. Das Absinken der Remission setzt sich bis zum Monat März fort. Ab März erfolgt der Übergang von der Winterruhe in eine

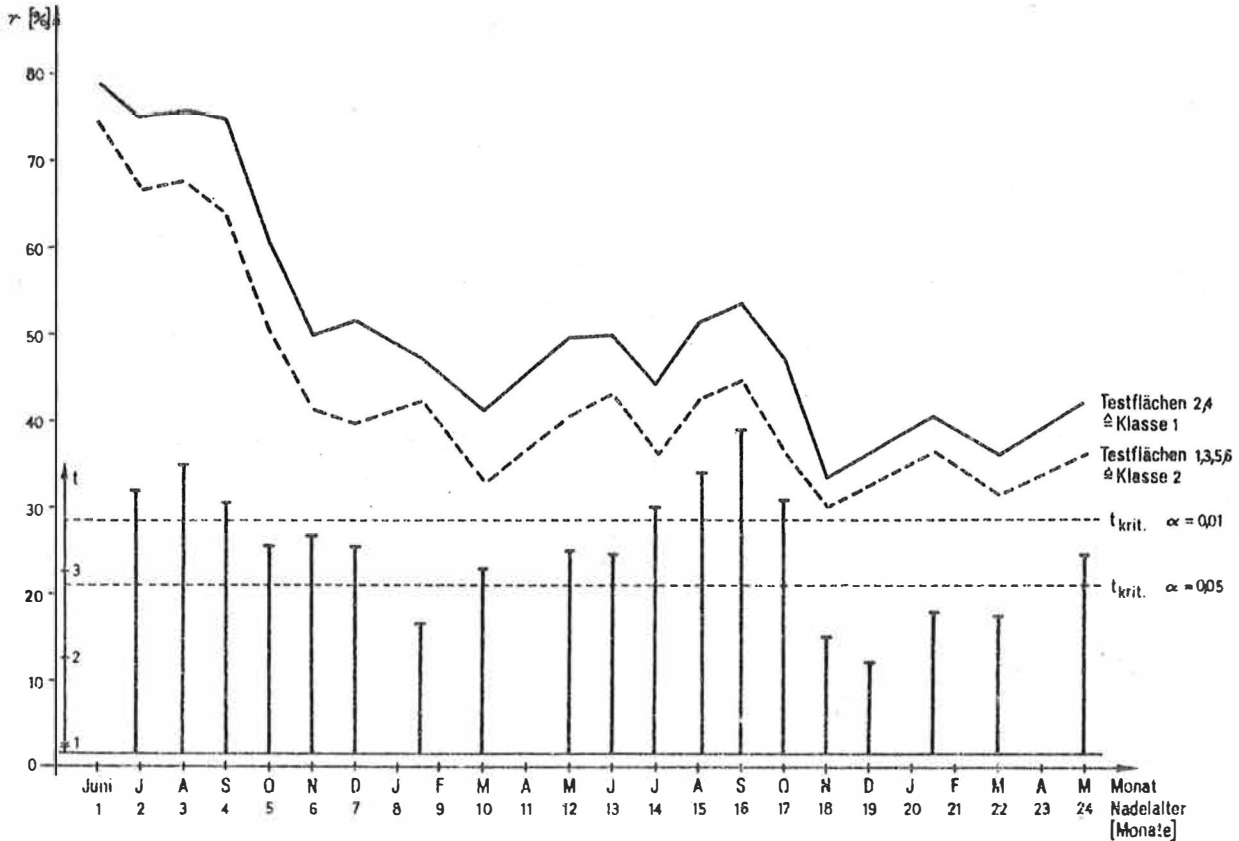


Abb. 2 Remission von Kiefernnadeln im Spektralbereich von $0,79 - 0,89 \mu\text{m}$ mit Angabe der kritischen t -Werte für die Prüfung der Mittelwertdifferenzen

neue Aktivitätsphase, der durch einen erneuerten Anstieg der Remission auf ein Niveau $r = 50 \%$ charakterisiert ist, das dem im vergangenen November entspricht. Dieses Niveau wird bis zum Abschluß des Austriebes des neuen Nadeljahrganges im Juni beibehalten.

Der zweite Jahresrhythmus der jetzt zweijährigen Nadeln zeigt im Verlauf der Vegetationsperiode einen dem 1. Nadeljahrgang entsprechenden Verlauf auf geringem Niveau. Die Remissionscharakteristik zeigt insgesamt einen der Stoffwechselaktivität entsprechenden Jahresgang, und das Unterschiedsquantum der Remission für Kiefernnadeln und Zweige ist mit zeitweise 30% hinreichend groß. Desweiteren wird die Zeitabhängigkeit der Remissionsdifferenz verdeutlicht, was eine praktische Bedeutung für die Auswahl des optimalen Aufnahmezeitraumes hat, der danach in den Monaten August, September liegt.

Für erste methodische Studien zur Überwachung der Waldgebiete wurden multispektrale kosmische Aufnahmen vom Typ MKF-6 und Scannerdaten vom Typ FRAGMENT genutzt. Beide Aufnahmesysteme verfügen über Aufnahmekanäle, die die Remissionsunterschiede im Spektralbereich von $0,75 - 1,1 \mu\text{m}$ erfassen. Für die MKF-6 sind das der Kanal 6 und bedingt der Kanal 5 und für den Scanner FRAGMENT die Kanäle 4 mit dem Bereich von $0,70 - 0,80 \mu\text{m}$ und 5 von $0,80 - 1,10 \mu\text{m}$.

Als Interpretationseinheit für die Erkennung von flächenhaften, integralen Zustandsänderungen der Waldökosysteme wurde die Forstebteilung bzw. Teilfläche festgelegt. Den Untersuchungen lag die Annahme zugrunde, daß die für Kiefernadeln und Zweige belegten Remissionsunterschiede auch für Einzelbäume bzw. Baumbestände unter Berücksichtigung einer Reihe von ^{die} Remissionsunterschiede verringernden Einflußfaktoren (Atmosphäre, Sonnenstand, Schattenbildung) gilt. Diese Annahme bestätigen Histogrammanalysen von Kiefernreinbeständen für zwei verschiedene kosmische Datensätze. Für Forstebteilungen, die auf Grund produktionsbiologischer und biochemischer Untersuchungsergebnisse bei gleichartigen standörtlichen Gegebenheiten deutliche Unterschiede im Zustand aufwiesen, konnten anhand der Schwärzungsverteilung insbesondere in den Kanälen 5 und 6 gleichsinnige Unterschiede belegt werden (Abb. 3).

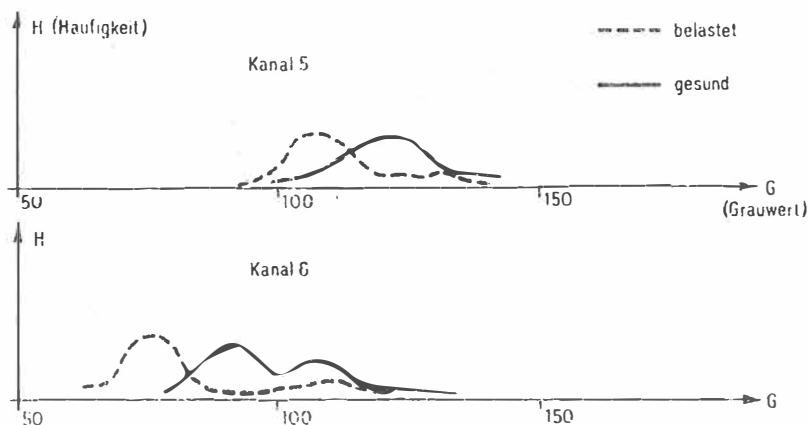


Abb. 3 Histogrammanalyse zwei verschieden belasteter Kiefernreinbestände für die Kanäle 5 und 6

Anhand des Remissionsverhaltens ist neben der Differenzierung in belastete und gesunde Kiefernbestände auch eine Differenzierung in verschiedene Altersgruppen möglich. Durch die sich während der Entwicklung der Kiefer vollziehende Veränderung der Baumkrone, von einer spitzen dichten Krone in eine breite verflachte Krone und veränderte Bestandsstrukturen, können drei charakteristische Altersklassen

- Jungwüchse bzw. Stangenhölzer bis 40 Jahre
- Baumhölzer von 50 - 90 Jahren
- Althölzer über 100 Jahre

unterschieden werden.

Für das Naturschutzgebiet "Stechlin" wurde anhand einer FRAGMENT-Aufnahme eine Klassifizierung des Waldes in Laub-, Nadel- und Mischwald und eine Differenzierung der Nadelwaldflächen (Kiefer) in verschiedene Altersklassen versucht. Die Bildbearbeitung erfolgte nach dem Prinzip der stufenweisen Dechiffrierung in folgenden Etappen:

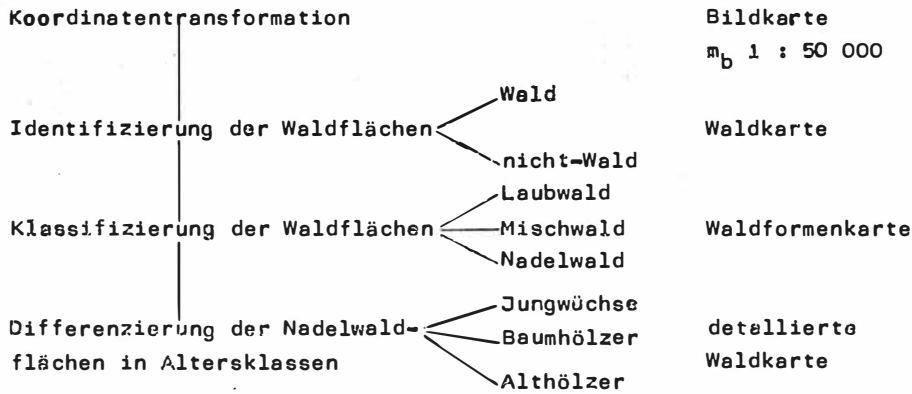


Abb. 4 Bearbeitungsschritte für die Dateninterpretation

Der interessierende Ausschnitt der FRAGMENT-Aufnahme vom 2. 6. 1981 wurde durch Anwendung eines linearen Transformationspolynoms, dessen Koeffizienten durch Ausgleichung von Paßpunkten an den Ufern der Binnenseen bestimmt wurden, geometrisch auf eine Kartengrundlage im Maßstab 1 : 50 000 transformiert (Fehler ± 150 m). Für die allgemeine Identifizierung der Waldflächen erfolgte eine Parallelepipet-Klassifizierung mit Hilfe des 4. und 5. Kanals. Anhand einer Farbsynthese der Kanäle 2 (0,50 - 0,60 μ m), 4 und 5 konnten die Waldformen auf Grund von Farbunterschieden kartiert werden (Abb. 5).

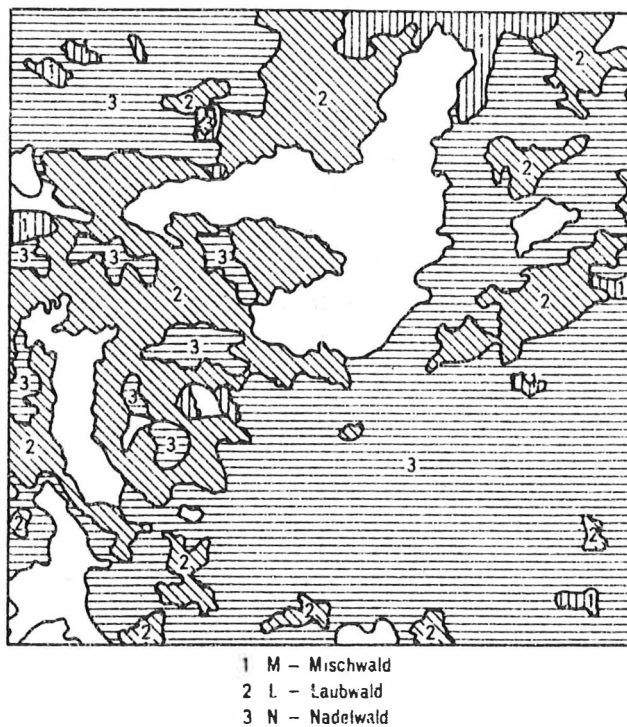


Abb. 5 Waldformenkarte (weiß - Gewässer)

Auf einem Pseudofarbbild, das aus dem 5. Spektralband nach einer Medianfilterung und nach Ausgabe der Daten mit drei verschiedenen Übertragungsfunktionen und anschließender Farbmischung der so entstandenen Filmvorlagen hergestellt wurde, erscheinen die Nadelwaldflächen in einem Farbbereich mit verschiedenen Farbabstufungen. Eine Analyse der Farbabstufungen ergab eine Korrelation zwischen Farbton und Altersklasse. Es konnten die in Abb. 4 aufgezeigten Altersklassen ausgewiesen werden (Abb. 6).

Die Überprüfung des Ergebnisses erfolgte im Gelände, wobei von 50 stichprobenmäßig überprüften Beständen lediglich 2 Fehlklassifizierungen vorlagen ($\sim 5\%$ Fehler).

Anhand der bisher gewonnenen Erfahrungen erscheint eine Indikation des Umweltzustandes durch den Waldzustand möglich und über die Interpretation von kosmischen multispektralen Scannerdaten erreichbar. Zur Zeit ist die geometrische Auflösung mit 80 m noch zu gering. Benötigt werden ca. 30 m bei regelmäßiger Bereitstellung. Die für die Zielstellung interessierenden Remissionsuntersuchungen sollten bis auf $2,5\ \mu\text{m}$ erweitert werden und den thermischen IR-Bereich von 8 - $15\ \mu\text{m}$ einbeziehen, was für die Erkennung weiterer Belastungserscheinungen von Bedeutung ist. Ein operatives Überwachungssystem sollte nach dem Muster eines mehrphasigen Stichprobenystems aufgebaut sein, das sich auf kosmische multispektrale Scannerdaten, Luftbildaufnahmen aus



- 1 Jungwuchse
- 2 Baumholzer
- 3 Altholzer

Abb. 6 Differenzierung der Nadelwaldflächen in Altersklassen
(weiß = Gewässer)

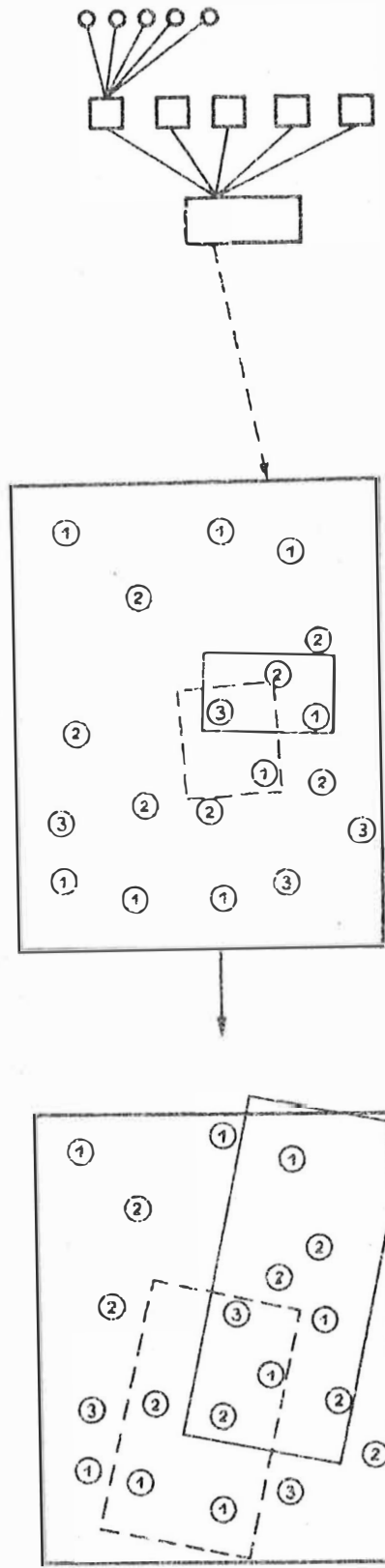
Hoch- und teilweise auf Niedrigbefliegungen und ergänzenden terrestrischen Messungen stützt.

Es könnte folgende Struktur haben (Abb. 7):

Meßpunkte

Testfläche

Testgebiet
(Belastungs-
stufe)



Bestimmung des Belastungsgrades von Testgebieten im Rahmen des Biomonitoring (einschl. Remissionsbestimmungen von Baumteilen und Bäumen)

Bodenmeßkomplex

Erfassung des Ab- bildungsverhaltens eines Belastungs- grades und des Ein- flusses von Stand- ortfaktoren sowie forstwirtschaftli- chen Bewirtschaf- tungsmaßnahmen

Niedrigbefliegung (mit Spektrometer)

Erfassung des Ab- bildungsverhaltens verschiedener Be- lastungsgrade von Testgebietsgruppen und des Einflusses von Standortfaktoren (Auswahl geeig- neter Etalonflächen für die Belastungs- grade)

Hochbefliegung (mit Spektrometer)

großräumige Erfas- sung des Waldzustan- des im nationalen Maßstab (flächen- deckend) (Atmosphärenkorrek- tur)

kosmischer MSS

Abb. 7 Struktur eines opera- tiven Überwachungs- systems

- /1/ BÄCKSTRÖM, H.; WELANDER, E.: En undersökning av remissionsförmågan hos blad och barr av olika trädslag.- In: Norrlands Skogsvårdsförbunds Tidskr.(1953)1.- S. 141 - 169
- /2/ HILDEBRANDT, G.: Voraussetzungen und Praxis der Inventur von Vegetationsschäden durch Fernerkundung.- In: Allg. Forstz. (1981),- S. 720 - 723
- /3/ KRINOW, E. L.: Spektrales Remissionsverhalten natürlicher Objekte (russ.).- Moskau: Leningrad: Verl. d. AdW d. UdSSR, 1947

ENTWICKLUNGSTENDENZEN DER GEOFERNERKUNDUNG

Grundzüge einer Rahmentechnologie zur Herstellung von Flächennutzungskarten nach Daten der Geofernerkundung

B. BRÜLKE

1. Vorbemerkung

Zur Gewinnung von Daten der Geofernerkundung (DFE) wurde bisher eine Vielzahl von methodischen Untersuchungen zur Aufbereitung der Rohdaten und zu ihrer fachspezifischen Auswertung durchgeführt. Für die Dokumentation der dabei erhaltenen georäumlichen Informationen bieten sich vor allem analoge Speicher in Form von Bildern und Karten an. Sie erlauben bei geringem Speicherplatzbedarf eine sehr anschauliche Darstellung der aus DFE gewonnenen Informationen und haben besonders für die flächenhaft produzierenden Volkswirtschaftszweige bei der Planung und Überwachung ihrer Flächenfonds eine wachsende Bedeutung.

Die Mehrzahl der durchgeführten Untersuchungen ist auch auf die Erstellung derartiger Speicher gerichtet, doch gibt es nur vergleichsweise wenige Arbeiten, die den Gesamtprozeß bis zur fertig gedruckten mehrfarbigen Karte verfolgt haben (z. B. /1/, /2/). In den vergangenen Jahren wurden an der Pädagogischen Hochschule Potsdam in Zusammenarbeit mit dem MDZ Fernerkundung des ZIPE Untersuchungen angestellt, die die Auswertung von DFE zur Kartierung der Flächennutzungsstruktur und ihre Darstellung in Karten sowie die Dokumentation der Grundsätze der dazu nötigen Bearbeitungstechnologie zum Inhalt hatten. Die Konzipierung dieser Rahmentechnologie war Anlaß dafür, einige Grundzüge der Technologie der Kartenherstellung aus DFE näher zu untersuchen.

2. Technologische Struktur der Auswertung von DFE zur Kartenherstellung

2.1. Grundelemente und Phasengliederung des technologischen Prozesses

Der Begriff Technologie umfaßt allgemein eine aufeinander abgestimmte Folge von Arbeitsgängen, die bei der Umwandlung von Ausgangsmaterialien zu einem Endprodukt durchzuführen sind (verschiedentlich wird als Synonym auch der Begriff "Bearbeitungsmethodik" verwendet). Für eine Technologie ist es kennzeichnend, daß Naturvorgänge zielgerichtet technisch genutzt werden, wobei es verschiedene Lösungsmöglichkeiten gibt. Durch diese Arbeitsgänge werden Veränderungen am Ausgangsmaterial als Arbeitsgegenstand durchgeführt, durch die es schrittweise zum Endprodukt umgewandelt wird. Welche Bearbeitungsvorgänge dabei durchzuführen sind, hängt sowohl von Ausgangsmaterial und Endprodukt als auch von natürlichen, technischen und ökonomischen Randbedingungen ab /4/.

Nach /3/ umfaßt eine Rahmentechnologie "die Fixierung der technologischen Grundbedingungen für die Herstellung" kartographischer Erzeugnisse und "bildet die Grundlage der speziellen Technologie für die einzelnen Kartengruppen" (/3/, S. 496). Als Arbeitsgegenstände, die durch eine Technologie verändert werden, kann man allgemein 3 Klassen nennen:

Stoffe, Energien und Informationen. Die Verarbeitung von DFE gehört eindeutig zu den informationsändernden technologischen Vorgängen. Dabei ist darauf hinzuweisen, daß Informationen immer an materielle Träger (Signale) gebunden sind, die bei der Bearbeitung ebenfalls verändert werden können. Diese Signale können stofflicher, strahlungsenergetischer und stofflichenergetischer Natur sein. Die Informationsänderung wiederum ist auf 3 verschiedene Arten möglich: als Informationsumformung durch Änderung der Signalform (z. B. Registrierung einfallender Strahlung durch Schwärzung von Fotoemulsionen), als Informationstransport und als Informationswandlung. Zur letztgenannten Art zählen alle die Informationsstruktur ändernden Vorgänge, wobei durch arithmetische, logische und algorithmische Verknüpfung neue Informationen entstehen /4/.

Die Interpretation von DFE ist hierin einzuordnen. Nach WOLFFGRAMM /4/ lassen sich die für die Bearbeitung des Datenmaterials nötigen Arbeitsgänge in 3 Phasen gliedern. Die Phase, in der die wesentliche, das Enderzeugnis bestimmende Bearbeitung erfolgt, wird Hauptphase genannt. In der davor liegenden Vor(bereitungs)phase erfolgt die Vorbereitung und Anpassung der Ausgangsmaterialien an die Verarbeitungsprozesse der Hauptphase, während in der Schlußphase deren Ergebnis in ein nutzbares Endprodukt überführt wird. Auf eine Rahmentechnologie zur Verarbeitung von DFE angewandt, entspricht die analoge oder digitale Aufbereitung von Bild- und Scannerdaten der Vorphase, die Dechiffrierung und Interpretation einschließlich der Anfertigung analoger Autorenenoriginale der Hauptphase, während in die Schlußphase kartographische und polygraphische Arbeitsgänge zur Erzeugung des Endprodukts gehören (Abb. 1). Die Verknüpfung der im Bild enthaltenen Informationen

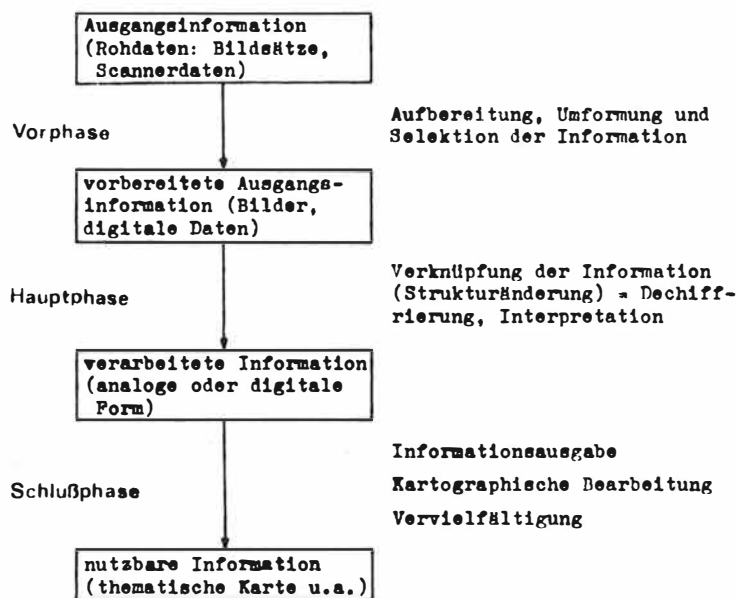


Abb. 1 Phasenstruktur der Verarbeitung von DFE

miteinander sowie mit anderen Informationen, die gegenständlich bzw. als Kenntnisse und Erfahrungen des Interpreten vorliegen, führt zu Klassen von punkt-, linien- und flächenhaften Objekten. Sie stellt zweifellos den wesensbestimmenden Prozeß der Technologie in Form einer Informationswandlung dar. Mit dieser Phasenform ist eine, wenn auch sehr ver-

allgemeinere Form solch einer Rahmentechnologie vorhanden. Sie ist jedoch für die Praxis nur von eingeschränktem Wert, da dort ein weit höherer Detaillierungsgrad benötigt wird. Es ist nötig, die ablaufenden Prozesse in ihrer Reihenfolge und Verknüpfung so genau zu beschreiben, wie es im konkreten Fall nötig ist. Des Spektrum der Möglichkeiten geht dabei von allgemeinen Ablaufschemata bis zu jedes Detail konkret beschreibenden Produktionstechnologien.

2.2. Ablaufschema der technologischen Prozesse bei der Kartenherstellung

Für die Belange der thematischen Kartographie wurde von GRIESS ein Prozeßablaufschema der Kartenproduktion (Abb. 2) vorgelegt, das 6 Etappen der Kartenherstellung ausweist (/3/, S. 583). Diese Etappen und die ihnen zugeordneten Aufgaben entsprechen inhaltlich den An-

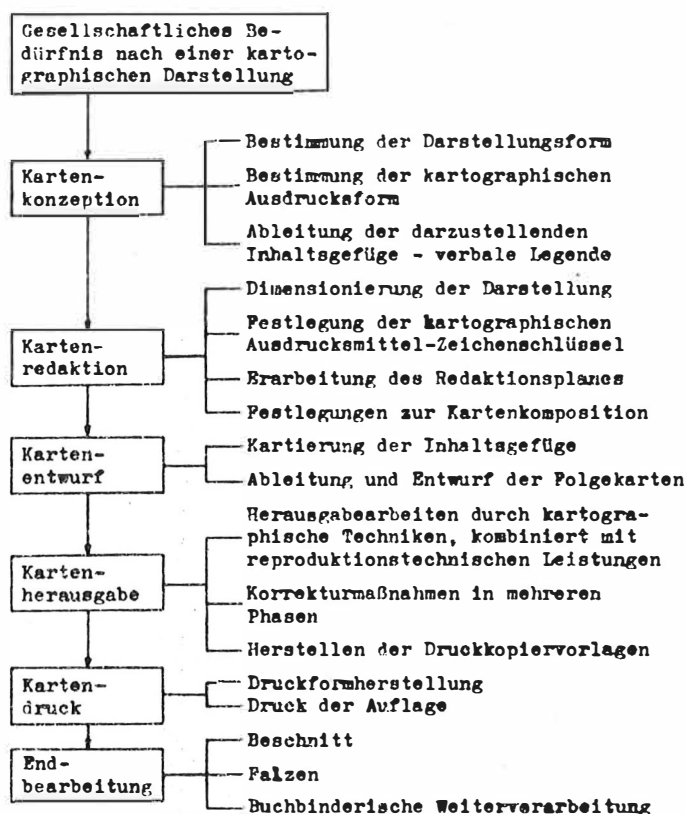


Abb. 2 Prozeßablauf der Kartenherstellung in der thematischen Kartographie (nach H. GRIESS)

forderungen einer Rahmentechnologie. Außerdem werden hier die einzelnen Schritte definitiv benannt im Gegensatz zur Relativbezeichnung im 3-Phasen-Konzept. Bei einer arbeitsteiligen Produktion der Karten kann klar gesagt werden, welchen Abschnitt welcher Partner durchführt. Für jeden Teilprozeß läßt sich die Phasengliederung nach Definition von Ausgangsmaterial und Endprodukt wieder anwenden, wobei eine andere Phasenzuordnung als im Gesamtprozeß entsteht. So bildet bei der kartographischen Bearbeitung die Formänderung der Information vom Autorenoriginal zum Foliensatz der Druckkopierunterlagen die Hauptphase. Im vorliegenden Schema ist die 3. Etappe, der Kartenentwurf, als Hauptphase anzusehen, da

hier der Karteninhalt so strukturiert wird, wie er in der fertigen Karte enthalten sein soll. Kartenkonzeption und -redaktion sind die Vorbereitung darauf, während in den nachfolgenden Etappen nur eine Form- und keine Strukturänderung der Information mehr erfolgt. Für die gestellte Aufgabe, die Grundzüge einer Rahmentechnologie zur Herstellung von Flächennutzungskarten und anderer Karten nach DFE darzustellen, erschien dieses Modell sehr geeignet, da sich einige Vorgänge bei der Aufbereitung und Interpretation von DFE mit den in diesem Schema formulierten Aufgaben parallelisieren lassen bzw. übereinstimmen. So ist z. B. die "Ableitung der darzustellenden Inhaltsgefüge" eng verbunden mit der Formulierung des fernerkundlichen Auswerteziels, während die "Festlegung der kartographischen Ausdrucksmittel-Zeichenschlüssel" und die Erarbeitung oder Anpassung von Dechiffrierungs- und Interpretationsschlüsseln in engem Zusammenhang gesehen werden muß. Die "Kartierung der Inhaltsgefüge" schließlich kann nicht ohne Auswertung der DFE und unter Einbeziehung anderer Materialien erfolgen.

3. Prozeßablaufschema zur Herstellung von Flächennutzungskarten aus DFE

Zur Darstellung der gesuchten Rahmentechnologie zur Flächennutzungskartierung wurde dieses Prozeßablaufschema erweitert (Abb. 3). In die Etappen Kartenkonzeption und Kartenredaktion wurden die für die Vorbereitung der Daten notwendigen Arbeitsgänge eingeordnet. Die im vorstehend genannten Schema enthaltenen kartographischen Arbeitsgänge gelten natürlich auch, sind im Schema jedoch nicht explizit ausgewiesen. Die Etappe Kartentwurf ist in ihre wesentlichen Züge aufgegliedert dargestellt. Demgegenüber erfolgte in der Schlußphase keine Ergänzung; lediglich das Ziel "Gesellschaftliche Nutzung thematischer Karten" wurde hinzugefügt, da erst damit das im Ausgangszustand formulierte "Gesellschaftliche Bedürfnis nach thematischen Karten" erfüllt ist. Weiterhin ist die Phasengliederung vermerkt.

Im folgenden sollen einige Erläuterungen zum vorgelegten Technologieschema folgen: Ausgehend vom Ziel der Fernerkundungsaufgabe ist die Karte inhaltlich und nach der Form zu konzipieren, wobei das zur Verfügung stehende bzw. zu beschaffende Datenmaterial zu berücksichtigen ist. Als Ergebnis dieser Arbeit muß festgelegt sein, welches Datenmaterial (analoge oder digitale DFE) für die konkrete Karte eingesetzt wird. Außerdem ist die topographische Bezugsgrundlage und das nötige Zusatzmaterial festzulegen. Dabei ist gleichzeitig über die Art der Aufbereitung, Vorverarbeitung und Selektion von Daten aus dem Gesamtmaterial zu entscheiden. Photographische Aufnahmen werden in der Regel auf optisch-analoge Weise aufbereitet. Der technologische Hauptweg beinhaltet dabei die Grauwertaufbereitung, die geometrische Transformation und die Farbsynthese. Die Grauwertaufbereitung hat dabei die Verbesserung der Grauwertverteilung im Bild zur besseren Erkennung durch das menschliche Auge (z. T. auch die Herausfilterung einzelner Grauwertstufen) zum Ziel. Die geometrische Transformation umfaßt Maßstabsänderungen und Entzerrungen, während die Farbsynthese von Multispektralaufnahmen ebenfalls der visuellen Interpretation dient. Daneben sind auch andere Aufbereitungsschritte möglich, wobei die Photographien auch in die digitale Form überführt werden können. Für Digitaldaten von Scannern sind mit der radiometrischen und geometrischen Korrektur einschließlich Transformation ähnliche Verarbeitungswege vorzusehen. Lediglich die Farbsynthese als typische Analogverarbeitung entfällt. Scannerdaten sind ihrer Natur nach Absolutmessungen der Strahlung, die mit entsprechenden Korrekturwerten radiometrisch geeicht werden können. Die geometrische Korrektur umfaßt vor allem die Ausmerzung von Übertragungsfehlern (Zeilenfehler, Streifung) bei Scannerdaten bzw. die Korrelation von Einzelaufnahmen eines digitalisierten Bildsatzes, während es bei der digitalen Transformation ähnlich wie bei der Analogbearbeitung um die Entzerrung der Daten bzw. ihre Anpassung an einen vorgesehenen Kartennetzentwurf geht. Ebenso wie die Digitalisierung von Photos ist umgekehrt auch die Analogausgabe digitaler Daten durch Visualisierung zu verschiedenen Bearbeitungszeitpunkten möglich, wodurch sich eine Vielzahl von Verknüpfungsmöglichkeiten zwischen Analog- und Digitalbearbeitung ergibt.

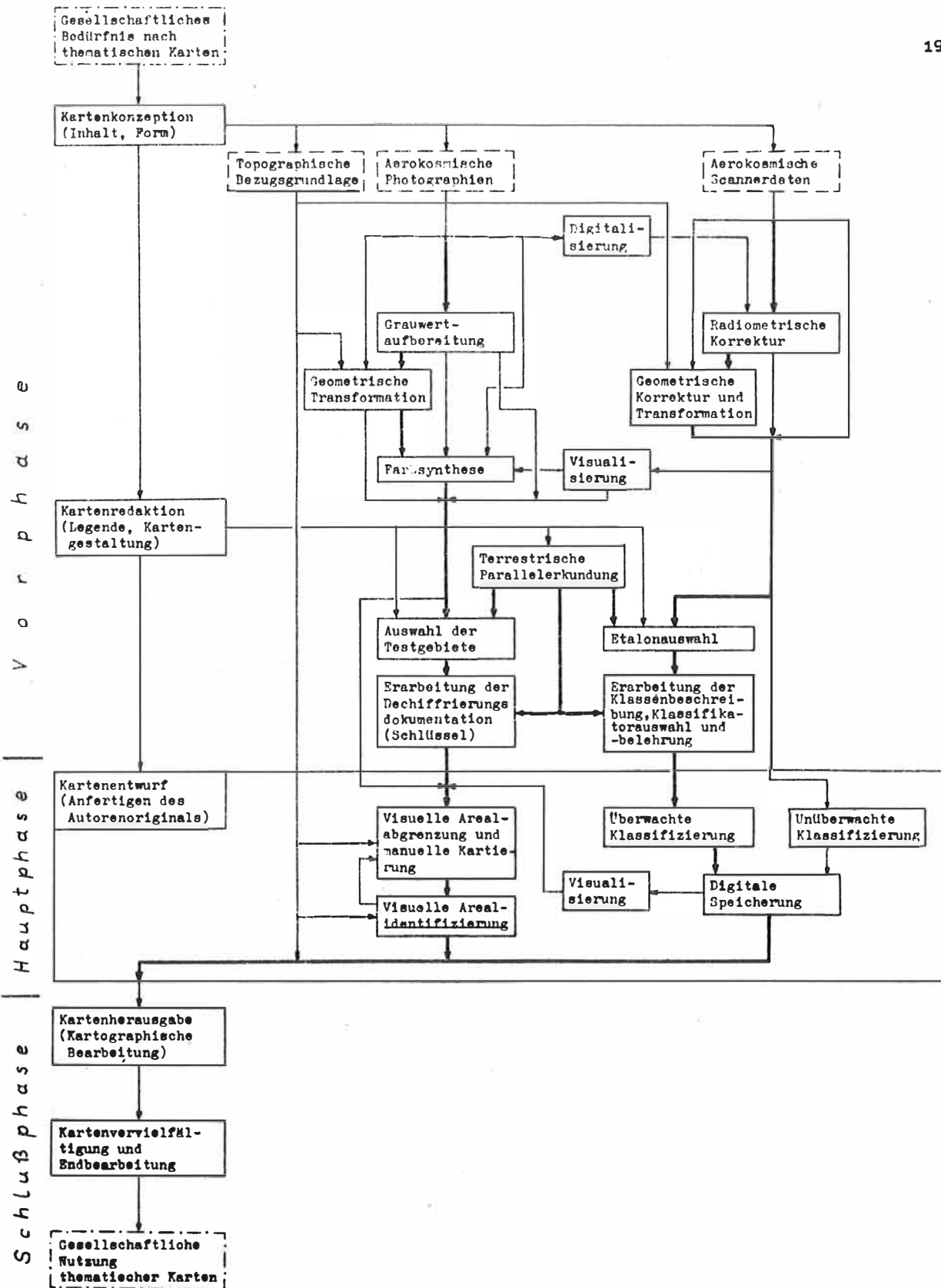


Abb. 3 Prozessablauf der Herstellung von Flächennutzungskarten nach DFE

In der Etappe der Kartenredaktion werden konkrete Festlegungen über das endgültige Gesicht der Karte sowohl inhaltlich als auch gestaltungsmäßig getroffen. Bei der visuell-manuellen Kartierung ist dies die Phase, in der die Legende der Karte aufgestellt und dementsprechend der Auswerteschlüssel festgelegt bzw. angepaßt wird. Für die Erarbeitung der Schlüssel müssen Testgebiete ausgewählt werden, die der jeweiligen Kartierung als Areal für die Bodenkontrolle und als visuelle Vergleichsfläche bei der Auswertung des Bildmaterials dienen. Es hat sich in vielen Untersuchungen gezeigt, daß ohne vergleichende Bodenuntersuchungen eine sichere Interpretation der in DFE abgebildeten Phänomene nicht möglich ist. Diese Untersuchungen sollten möglichst parallel zur Aufnahme erfolgen. Gleiches gilt für die Vorbereitung rechnergestützter Klassifizierungen. Auch hierbei ist für eine sichere Klassenbeschreibung die Erhebung von Bodeninformationen unbedingt notwendig.

In der Kartenentwurfsetappe entsteht auf analogem Wege ein Kartierungsoriginal, in dem der Interpret auf seinem Zeichenmaterial visuell erkannte Areale durch Linienzüge umgrenzt. Dabei oder daran anschließend identifiziert er anhand seines Schlüssels die Arealart. Nach dem Anbringen einer Kennung in der Fläche (alphanumerisch durch Farben) fährt er mit dem nächsten Areal fort. Dabei beginnt er mit leicht interpretierbaren Arealen und schreitet zu schwierigeren fort, bis die Gesamtfläche ausgewertet ist. Bei der rechnergestützten Auswertung ist zwischen überwachter und unüberwachter Klassifizierung zu unterscheiden. Die überwachte Klassifizierung beruht darauf, daß der Rechner jedes einzelne Bildelement (Pixel) mit der ihm eingegebenen Klassenbeschreibung vergleicht und dann einer Klasse zuweist. Im Ergebnis entsteht im Digitalspeicher eine Datenstruktur, die eine eindeutige Pixel-Klassen-Zuordnung enthält. Die unüberwachte Klassifizierung ist für die Klassenzuweisung nicht geeignet, da hier keine Beziehungen zu definierten Klassen bestehen, sondern nur statistische Verteilungen im Merkmalsraum ausgewertet werden können. Für die Untersuchung innerer Differenziertheiten von Klassen ist sie jedoch gut geeignet. Die Verbindung zwischen analoger und digitaler Auswertung ist möglich und für einige Anwendungsgebiete empfehlenswert. Durch die digitale Klassifizierung nach Klassen, die sicher auswertbar sind, wird eine Vorkartierung erzeugt, die nach Visualisierung als Grundlage für die visuelle Interpretation schwerer erkennbarer Räume dient. Diese hybride Technologie ist sowohl auf Bildausgaben auf Papier und Film möglich wie auch im interaktiven Betrieb an Bildschirmgeräten.

Die kartographische Bearbeitung manuell oder automatisiert kartierter Autorenoriginale in Form von Strichzeichnungen erfolgt im weiteren nach den erprobten Technologien der thematischen Kartographie. Bildhafte Originale, die durch Analogbearbeitung (z. B. Farbsynthese) oder durch Visualisierung von Digitaldaten bildhaft ausgegeben werden, können mittels Farbscannern der polygraphischen Industrie weiterverarbeitet werden. Im Interesse der schnellen Verarbeitung der bei künftigen operativen Fernerkundungssystemen in größerer Menge anfallenden Auswerteergebnisse erscheint es jedoch nötig, neben der rechnergestützten Verarbeitung dieser Daten Verfahren zu entwickeln, die den Weg zur Druckkopiervorlage (DKV) zeitlich drastisch abkürzen. Dabei kommt es vor allem darauf an, den manuellen Aufwand, der die meiste Zeit kostet, zu minimieren und möglichst die DKV durch direkte Ausgabe der digital gespeicherten Information in Bildausgabegeräten zu erzeugen. Die Vielfältigkeit mit den hocheffektiven Technologien der Polygraphie stellt kein Problem dar.

4. Schlußfolgerungen

Das vorgelegte Schema der Rahmentechnologie zur Flächennutzungskartierung nach DFE läßt deutlich werden, daß die visuell-manuelle Kartierung und die digitale Klassifizierung eine ähnliche Grundstruktur der Arbeitsschritte aufweisen. Dadurch ist auch eine Vielzahl von Kombinationen durch Austausch von Arbeitsschritten möglich. Für die Produktion spezieller

Karten sind auf dieser Grundlage Technologien zu entwickeln, die jeden notwendigen Arbeitsgang ausweisen. Dabei wird es notwendig sein, im Interesse optimaler Lösungen eine frühzeitige Abstimmung zwischen DFE-auswertenden Fachleuten und Kartographen zu erreichen. Noch besser wäre eine Zusammenarbeit während der gesamten Bearbeitung, um die erhaltenen Informationen ohne wesentliche inhaltliche Verluste auf effektivem und schnellem Wege als Karte oder in ähnlicher Form dem Nutzer zur Verfügung zu stellen.

Literatur

- /1/ FREY, L.; KRÄMER, I.: Informationen über Möglichkeiten der Nutzung von aerokosmischen Aufnahmen für die Herstellung von Kartengrundlagen der thematischen Kartographie.- In: Veröff. Zentralinst. Physik der Erde.- Potsdam (1979)61.-
- /2/ FREY, L.; SCHUBERT, L.: Methode zur Ableitung einer Flächennutzungskarte 1 : 50 000 aus multispektralen Luftbildern. Veröff. Zentralinst. Physik der Erde.- Potsdam (1982)74.-
- /3/ OGRISSEK (Hreg.): ABC Kartenkunde.- Leipzig: Brockhau, 1983.
- /4/ WOLFFGRAMM, H.: Allgemeine Technologie.- Leipzig: Fachbuchverl., 1978

Überführung von dechiffrierten Daten der Fernerkundung (DFE) in einen digitalen geographischen Datenspeicher

W. GÄRTNER, L. SCHUBERT

1. Einleitung, Problemstellung

Der fortgeschrittene Stand von Systemen zur Gewinnung und Auswertung von Fernerkundungsdaten und Interpretationserfahrungen versetzen uns in die Lage, eine Vielzahl thematischer Informationen über statische und dynamische Erscheinungen auf der Erdoberfläche zu ermitteln. Es zeigte sich aber auch, daß die angestrebte multivalente Nutzung der aus der neuen Informationsquelle 'DFE' abgeleiteten Daten gleichermaßen auch die Bereitstellung eines geeigneten Instrumentariums zu deren informationstechnischer Beherrschung voraussetzt. Im Mittelpunkt diesbezüglicher Aktivitäten steht folgerichtig die EDV-gerechte Speicherung und rechentechnische Auswertung von naturraumbezogenen, infrestrukturellen und produktionstechnischen Daten sowie Informationen zur Siedlungs- und Bevölkerungsstruktur. Am Aufbau derartiger Systeme, deren grundlegende Bestandteile thematische Datenbanken auf Raster- und/oder Polygonbasis sind, wird seit Jahren in vielen Ländern gearbeitet. Diesem Trend entsprechend wurde am IGG der AdW ein digitaler territorialer Datenspeicher (DIGG) geschaffen, der es ermöglichen wird, die mit Mitteln und Methoden der Fernerkundung gewonnenen Informationen mit Daten anderer Herkunft zu kombinieren. Insbesondere sind es Angaben zur aktuellen Flächennutzung und Bodenbedeckung, die speziell für die weiterführende Analyse bzw. Modellierung von landwirtschaftlichen und territorialen Strukturen eingesetzt werden sollen. Die geometrischen Bezugseinheiten dieses Speichers bilden quadratische 1 km² Maschen, die durch Angabe von Rechts- und Hochwert in das Gauß-Krüger-Koordinatensystem eingeordnet werden können. Darüber hinaus werden mit dem DIGG prinzipielle Voraussetzungen für die automatisierte Herstellung thematischer Karten geschaffen.

Vorbedingung für die Einspeicherung der zunächst in Form thematischer Karten oder Bildmatrizen vorliegenden Daten ist die Transformation deren Lagekoordinaten in das dem DIGG zugrunde liegende Gauß-Krüger-Koordinatensystem. Bis zur Ausführung dieses Arbeitsschrittes sind in Abhängigkeit vom jeweils verwendeten Ausgangsmaterial die im folgenden näher erläuterten Aufgaben auszuführen.

2. Die Analog-Digital-Wandlung - Ausgangsmaterial und Verfahren

Ausgangsmaterial

Je nach Ursprung bzw. Verarbeitungsform von DFE liegen die Auswertergebnisse in analoger Form als thematische Karten vor oder in digitaler Form als Bildmatrizen auf Magnetband/-platte gespeichert (Abb. 1). Bildmatrizen als Aufzeichnungsform von Bilddaten sind ty-

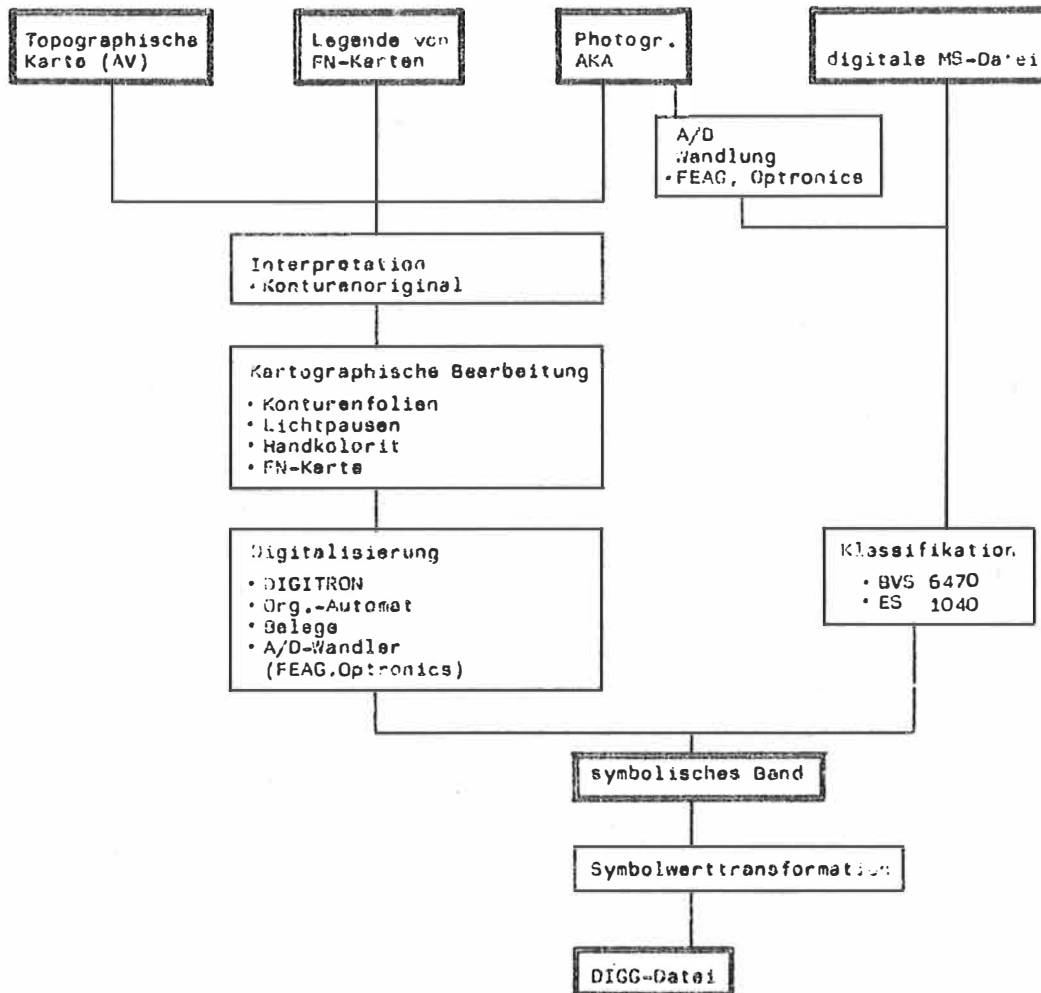


Abb. 1 Schema zur Gewinnung von Flächennutzungsinformationen aus Daten der Fernerkundung und deren Einspeicherung in den digitalen geographischen Datenspeicher des IGG (DIGG)

pisch für die Verwendung von Scannersystemen an Bord automatisch arbeitender kosmischer Stationen oder das nachträgliche Scannen fotografischer Aufnahmen. Dieser Form der Datenerfassung liegt die Zerlegung einer Bildszene in einzelne Bildpunkte, sog. Pixel, zugrunde. Derart strukturierte und in rechnerkompetibler Form auf Magnetband gespeicherte Daten stellen sowohl für eine rechnergestützte Bildauswertung als auch die hier behandelte Einspeicherung in einen ebenfalls auf quadratischen Bezugseinheiten basierenden Datenspeicher ein besonders geeignetes Ausgangsmaterial dar.

Thematische Karten als Ergebnisse der visuellen Bildauswertung von Satelliten- und Flugzeugaufnahmen bedürfen einer Digitalisierung, in deren Ergebnis durch rechentechnische

Verarbeitung eine Rastermatrix entsteht. Nach dem Herangehen bei der Erfassung von Lage- und Objektmerkmalen unterscheiden wir die Digitalisierung in Rasterform und Vektorform. Vergleichbar mit der Wirkungsweise eines automatisch arbeitenden Zeilenabtaeters (Scanner) wird bei der manuellen Digitalisierung im Rasterformat die Vorlage in einer Menge quadratischer Maschen aufgelöst, die analog der Elemente einer Matrix regelmäßig angeordnet sind. Jede dieser Maschen repräsentiert einen Ausschnitt der Erdoberfläche, der zunächst durch Zeilen- und Spaltennummer geometrisch bestimmt wird und im folgenden über Paßpunkte durch Gauß-Krüger-Koordinaten exakt ausgedrückt werden kann. Die qualitative Kennzeichnung dieser Koordinaten erfolgt durch eine den Maschen zugeordnete Zahl.

Bei der Digitalisierung im Vektorformat geht es darum, Konturen durch eine Folge von Stützpunktkoordinaten zu bestimmen und die so umgrenzten Flächen qualitativ zu kennzeichnen. Die Rekonstruktion der Linien geschieht durch Berechnung der Vektoren zwischen zwei benachbarten Stützpunkten. Dieses Verfahren kommt vorwiegend im Rahmen der rechnergestützten Kartierung in Maßstabsbereichen $> 1 : 10\ 000$ zur Anwendung. Der größte Teil der zum Digitalisieren verwendeten Hardware ist - der Bedeutung für die Kartographie entsprechend - gegenwärtig noch für die Arbeit im Vektorformat konzipiert.

Bezogen auf den Interpretationsgegenstand 'Flächennutzung' und gemäß der Orientierung auf eine multivalente Auswertung des Bildmaterials, wird auch in den folgenden Jahren die visuelle Auswertung und manuell kartographische Umsetzung von Interpretationsergebnissen dominieren. Die Analog-Digital-Wandlung der dabei entstehenden kartographischen Darstellungen unterschiedlicher Gestaltung und graphischer Qualität - vom Konturenoriginal bis hin zur gedruckt vorliegenden Karte - ist gegenwärtig nur unter Verwendung aufwendiger Digitalisierungsverfahren zu verwirklichen. Es erschien uns deshalb wichtig, auf solche Digitalisierungsverfahren zu orientieren, bei denen sich der manuelle Aufwand durch Einsatz spezieller Gerätetechnik (Scanner, Schreibeinheit eines Organisationsautomaten) reduzieren läßt. Darüber hinaus wurde die Absicht verfolgt, in einer möglichst 'frühen' Auswerte- bzw. kartographischen Bearbeitungsphase die Digitalisierung der graphischen Vorlagen vorzunehmen und einen maschinenlesbaren Datenträger zu erzeugen. Bei der Verwendung visueller Auswerteverfahren ist diese Bedingung mit dem Vorliegen eines Konturenoriginals oder interpretationsgerecht aufbereiteten Farbsynthesbildes erreicht.

Verfahren zur Analog-Digital-Wandlung thematischer Informationen

Zur Digitalisierung der durch visuelle Dechiffrierung gewonnenen Vorlagen finden Verwendung (vgl. Abb. 2).

- des zeilenweise Auflisten qualitativ gekennzeichneten Quadratraster

Auf eine Flächennutzungsdarstellung wird ein Gitternetz eingepaßt und den einzelnen Maschen die jeweils dominierende Nutzungsart zugeordnet. Die Auflistung erfolgt auf EDV-Formulare.

- die Parallelschardigitalisierung

Mittlere Koordinatenerfassungsgeräte DIGITRON werden entlang von Parallelen zur x-Achse die Schnittpunkte mit Konturen von Flächennutzungsarten koordinatenmäßig auf Lochstreifen erfaßt. Eine qualitative Kennzeichnung erfolgt durch manuelle Eingabe entsprechend der Nutzungsart des zugelegenen Streckenabschnittes. Nach der rechentechnischen Verarbeitung des Lochstreifens entsteht eine Symbolwertmatrix.

- zeilenweise Beschriftung von Konturenvorlagen bzw. Papierabzügen fotografischer DFE mit Sonderzeichen unter Verwendung eines Organisationsautomaten.

Bei dieser Form der Datenerfassung kann die vom Auswerter vorgenommene Symbolisierung anhand des Ausdruckes kontrolliert und der entstehende Lochstreifen auf einfache Weise korrigiert werden. Durch die Maße der Typen ist allerdings die Größe der Erhebungsmasche fest vorgegeben. Um diebezüglich eine Vereinheitlichung der Verfahren anzustreben, ist

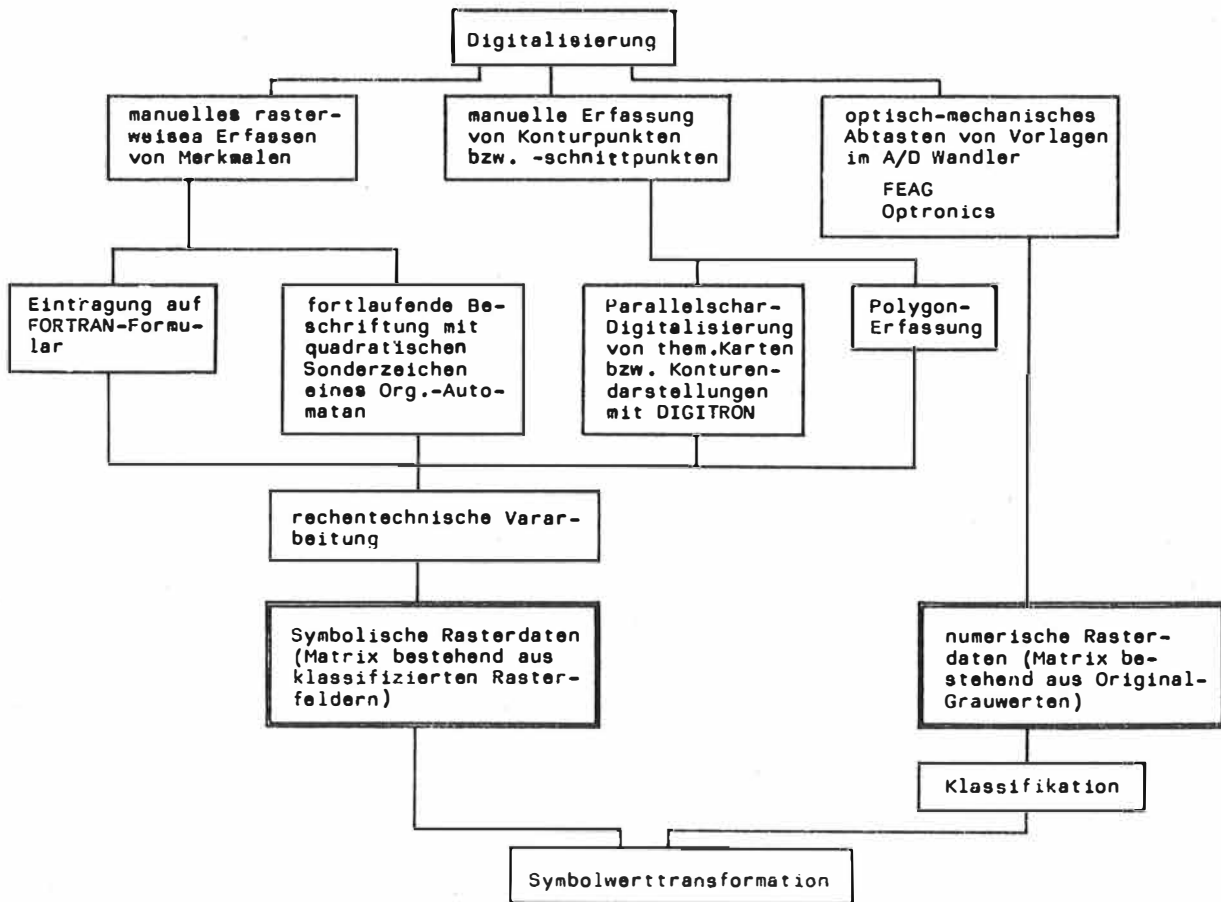


Abb. 2 Verfahren zur Analog-Digital-Wandlung von AKA und daraus abgeleiteten Interpretationsergebnissen

gegebenenfalls der Maßstab der Vorlagen zu verändern. Durch Verwendung quadratischer Typen - entsprechende Schreibwerksätze sind verfügbar - können z. B. auch die bei Paralleldruckern auftretenden geometrischen Verzerrungen vermieden werden.

- Datenerfassung in Vektorform

In möglichst großmaßstäbigen Interpretationsoriginalen werden von konturierten Flächennutzungsarten die Stützpunktkoordinaten erfaßt. Daraus werden Polygone errechnet, denen die jeweilige Nutzungsart in Form eines Zifferncodes zugewiesen wird. Eine Umrechnung in Raster wird angestrebt. Diesem Herangehen gleichzusetzen ist die interaktiv am Bildschirm einer Bildverarbeitungsanlage vorgenommene Konturierung von Flächennutzungsarten mittels Cursor (diesem Herangehen liegt jedoch das Rasterkonzept zugrunde, was die Aggregation der Rasterelemente zu DIGG-Maschen begünstigt).

- Scannen graphischer und fotografischer Vorlagen

Bei diesem Verfahren werden Filmdiapositive von Strich- oder Halbtonvorlagen - schwarz-weiß oder farbig - mittels Scanner zeilenweise abgetastet und in eine Matrixstruktur überführt. Die Anwendung von Methoden der Rasterdatenverarbeitung, im speziellen Fall der automatischen Klassifikation bzw. bei Strichvorlagen von Skelettierungsprogrammen, führt zu der jeweils gewünschten Symbolwertmatrix. Da bei Verwendung von Scannerauf-

zeichnungen all jene Arbeitsschritte entfallen, die bisher analog und unter hohem personellen Aufwand erfolgen mußten; wird dieser Form der Analog-Digital-Wandlung in Zukunft nach Meinung der Autoren größere Beachtung zu schenken sein. Erwähnt sei in diesem Zusammenhang nur die Möglichkeit, aus mehrfarbigen, gedruckt vorliegenden thematischen Karten Angaben zu extrahieren und in einen Speicher zu überführen. Erste Versuche dazu wurden am Methodisch-Diagnostischen Zentrum des ZIPE der AdW angestellt /6/.

3. Symbolwerttransformation und Einspeicherung von Ergebnissen der Rasterdatenverarbeitung in die Dateien des DIGG

Im Ergebnis der Digitalisierung, der Klassifikation der Digitalisierungsergebnisse bzw. kosmischer Scannerdaten entstehen klassifizierte, d. h. symbolisierte Rastermatrizen. Da deren einzelne Rasterfelder (Matrixelemente) auf Grund geometrischer Verzerrungen sowie flächenmäßig nicht deckungsgleich mit den 1 km^2 -Maschen des DIGG sind, macht sich eine Koordinatentransformation erforderlich. Sie schließt die Transformation der symbolischen Werte mit ein. Die so bezeichnete Symbolwerttransformation dient dem Zweck, nach Übertragung des Schwerpunktes einer DIGG-Masche oder Submasche auf die Rastermatrix, den dort befindlichen symbolischen Wert der 'Ausgangs'-DIGG-Masche zuzuweisen. Hierfür wird von uns das Verfahren der indirekten Transformation verwendet (Abb. 3). Die sich daraus evtl. er-

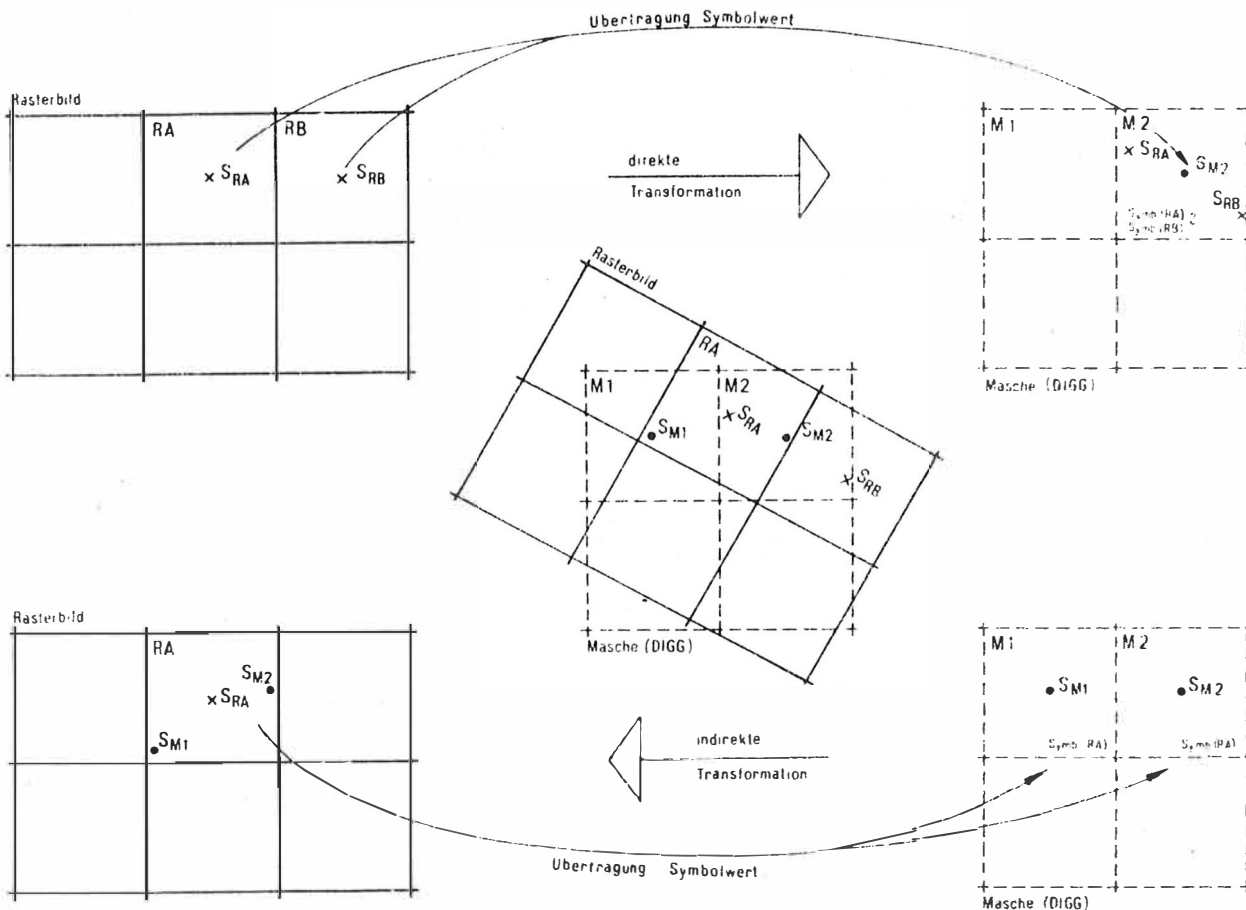


Abb. 3 Prinzip der Symbolwerttransformation

gebenden Dislokationen von Symbolwerten werden wesentlich vom Größenverhältnis der Rasterfelder von Symbolwertmatrix und DIGG-Raster bestimmt.

Unter Verwendung kosmischer Scannerdaten wird eine geometrische Entzerrung in der Regel von einer Klassifikation vorgenommen, so daß mit dem Vorliegen des Klassifikationsergebnisses der Lagebezug der Pixel innerhalb des geodätischen Koordinatensystems gegeben ist.

In DIGG-gerechter Datenstruktur abgespeichert, stellt die ins Gauß-Krüger-Koordinatensystem übertragene Bildmatrix bzw. die Symbolwertmatrix eine Rasterdatei des DIGG dar (Abb. 4). Diese Rasterdatei läßt sich über entsprechende Programme in eine problemorientierte Felderdatei (PFDAT) überführen. Unter Verwendung der Feldorientierungsdatei ist

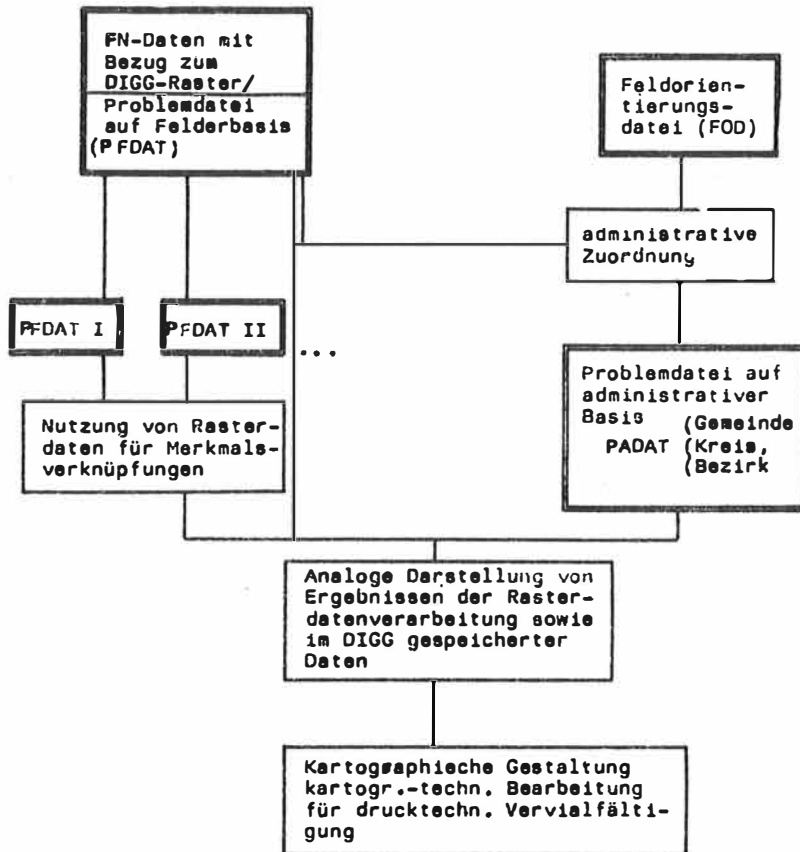


Abb. 4 Einspeicherung von Ergebnissen der Rasterdatenverarbeitung in die Dateien des DIGG

eine Ableitung von Problemdateien auf administrativer Basis (PADAT) (Gemeinde, Kreis, Bezirk) zu realisieren.

Aus den letztgenannten Schritten ergibt sich die Möglichkeit, die Dateien mit Hilfe der Auswerteprogramme des DIGG weiterzubearbeiten und die Auswerteergebnisse auf Rasterbasis kartographisch darzustellen.

Literatur

- /1/ HENGELHAUPT, U., BACINSKI, E., KRÜNERT, R. und L. SCHUBERT: Digitale Bildverarbeitung mit EC 1040 zur Dechiffrierung der Hauptarten der Flächennutzung aus Multispektralphotos. In: Veröff. d. Zentralinst. f. Physik d. Erde.- Potsdam (1982)74.- S. 139 - 143
- /2/ KRÜNERT, R., HENGELHAUPT, U., SCHMIDT, I., und L. SCHUBERT: Geographisch-kartographische Analyse der Flächennutzung nach multispektralen Luft- und Satellitenaufnahmen.- In: Peterm. Geogr. Mitt.- (1983)2
- /3/ PETZOLD, E.: Einsatzmöglichkeiten EDV-gestützter räumlicher Informationssysteme für hydrologische Planungszwecke.- In: Münstersche Geogr. Arb.- Paderborn 14(1982)
- /4/ REGBER, R. und H. USBECK: Der digitale geographische Datenspeicher des IGG.- In: Wies. Mitt. d. Inst. f. Geogr. und Geoökol. d. AdW d. DDR, (1983)6.- S. 31 - 45
- /5/ WIRTH, H., SCHILBACH, G. und H. WEICHELT: Rechnergestützte Analyse von MKF-6-Aufnahmen durch überwachte Klassifizierung.- In: Vermessungstechnik, 28(1980)6.- S. 194 - 197
- /6/ WIRTH, H. und G. SCHILBACH: Beitrag zur automatischen Aktualisierung thematischer Karten.- In: Beiträge zur 2. Konferenz Fernerkundung, Veröff. des Zentralinst. für Physik der Erde.- Potsdam (1983)76
- /7/ NUTZERDOKUMENTATION zum Bildverarbeitungssystem (IPS) A 6471, VEB Robotron-Vertrieb Berlin, 1983

Untersuchungen spektraler Charakteristiken natürlicher Objekte auf Festgebieten in der DDR

H. BARSCH, K.-H. MAREK, R. SÜLLNER, H. WEICHELT

Bereits mehrfach wurde die Notwendigkeit der Gewinnung quantitativer Aussagen aus Fernerkundungsdaten betont. Das ist insbesondere bei solchen Aufgaben erforderlich, wo es um die Einschätzung und Analyse des Zustandes von Bodenobjekten sowie die Abgrenzung unterschiedlicher Zustandswerte voneinander geht.

Für die quantitative Auswertung von Fernerkundungsdaten benötigt man Kenntnisse über das spektrale Verhalten der natürlichen Objekte und über die Ursachen bzw. Ursechenkomplexe, die zu einer Änderung bestimmter spektraler Merkmale führen. Solche Kenntnisse müssen im Rahmen von Grundlagenuntersuchungen durch Messungen am Boden gewonnen werden. Dabei sind die spektralen Eigenschaften der Objekte und die verschiedenen fachspezifischen Merkmale, die den aktuellen Objektzustand bestimmen bzw. beeinflussen können, möglichst synchron zu messen. Zur Charakterisierung der spektralen Eigenschaften der Objekte wird im allgemeinen der gerichtete spektrale Remissionskoeffizient benutzt, der das Verhältnis der aus dem oberen Halbraum einfallenden Strahlung zu der in die Meßrichtung remittierten Strahlung darstellt.

Die Messung dieses Remissionskoeffizienten muß im Gelände unter insitu-Bedingungen erfolgen, da die dort herrschenden Gegebenheiten bzgl. der statistisch verteilten Einzelobjekte und Objektbestandteile sowie der in der Natur herrschenden Beleuchtungsverhältnisse unter Laborbedingungen kaum rekonstruierbar sind. Auf den theoretischen Hintergrund

von Bodenmessungen und ihrer Auswertung kann hier nicht näher eingegangen werden, es sei auf die entsprechenden Beiträge auf der 1. und 2. Fernerkundungskonferenz hingewiesen /1, 2/.

Am Zentralinstitut für Physik der Erde (ZIPE) der Akademie der Wissenschaften der DDR wurden für die Durchführung von Bodenmessungen die notwendigen technischen Mittel geschaffen (Abb. 1 und 2). Dazu wurde ein Trägerfahrzeug für den Geländeeinsatz bereitge-

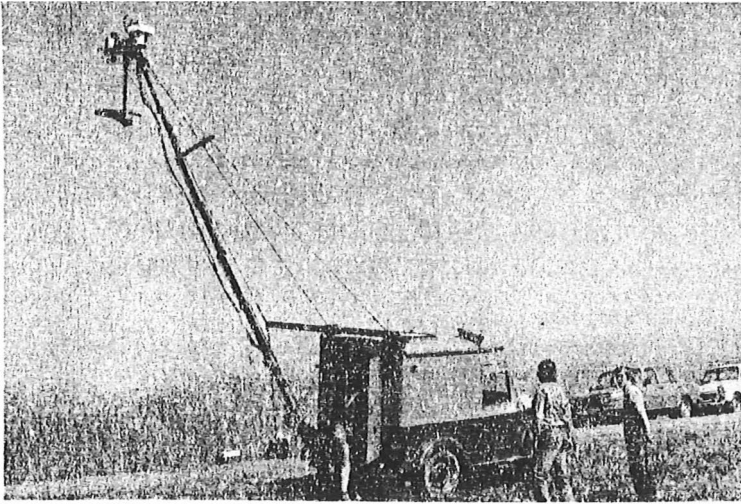


Abb. 1 Bodenmeßkomplex im Einsatz

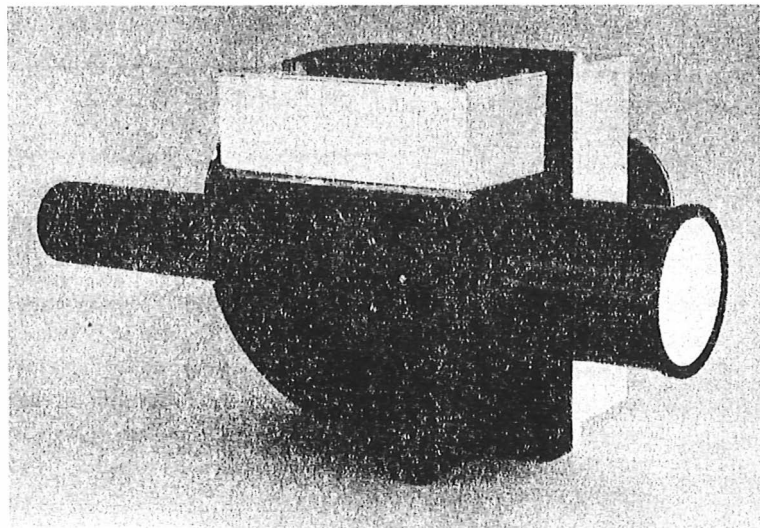


Abb. 2 Feldepektrometer BSP - 83 (Sensorteil)

stellt und umgebaut und die notwendigen Meßgeräte, wie Feldepektrometer oder Radiometer, sowie Geräte zur Datenaufzeichnung entwickelt bzw. adaptiert.

Bei der praktischen Durchführung von in situ-Bodenmessungen, insbesondere bei der Spektrometrie unter Feldbedingungen, sind einige wesentliche Besonderheiten gegenüber Laborexperimenten zu beachten. Während man bei Laborspektrometern bemüht ist, eine möglichst konstante Lichtquelle sowie homogene Beleuchtungsbedingungen zu realisieren, ist dies bei Feldmessungen nicht möglich. Die Beleuchtung des Objektes erfolgt hier durch die natürliche

Einstrahlung auf die Erdoberfläche, die im Tagesverlauf in Abhängigkeit vom Sonnenstand und von den meteorologischen Bedingungen z. T. beträchtlichen Schwankungen unterworfen ist. Abb. 3 zeigt die Beleuchtungsverhältnisse für unbewölkten Himmel in der Zeit von 9.30 Uhr bis ca. 16.00 Uhr MESZ.

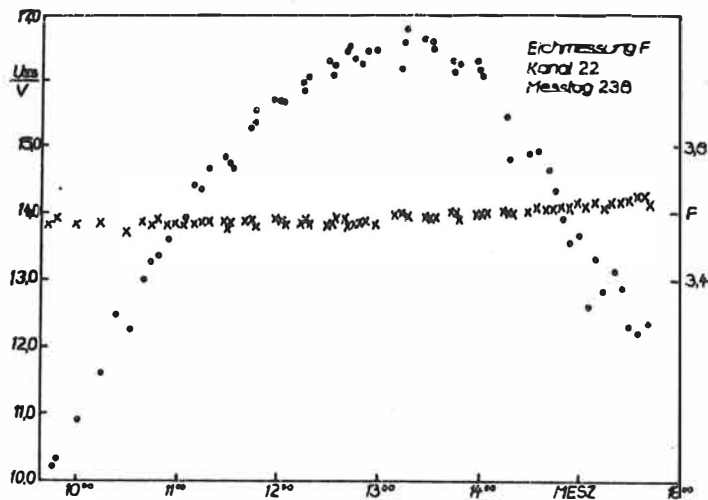


Abb. 3 Meßwerte der Globalstrahlung für wolkenlosen Himmel

Bei schnellziehender, wechselnder Bewölkung liegen die Verhältnisse noch wesentlich ungünstiger, dabei können sich Helligkeitsänderungen um den Faktor 3 - 5 innerhalb von wenigen Minuten ergeben. Daraus kann die Forderung abgeleitet werden, daß die Messung der einfallenden Strahlung und der remittierten Strahlung gleichzeitig oder zumindest unmittelbar nacheinander erfolgen muß. Detailliertere Untersuchungen haben gezeigt, daß unter den meteorologischen Bedingungen der DDR der zeitliche Abstand der Messungen nicht größer als 0,5 sec sein darf, um den Meßfehler in vertretbaren Grenzen zu halten. Auf weitere Fehlerquellen bei Feldmessungen, wie z. B. die Objektindikatix, über die auch die Verteilung der Globalstrahlung sowie die Windverhältnisse die Messung beeinflussen können, die Größe der Integrationsfläche bei der Messung sowie zufällige Schwankungen einzelner Objektparameter, sei nur am Rande hingewiesen.

Die Untersuchung der Objekte unter fachspezifischen Gesichtspunkten erfolgt durch die jeweiligen mit dem ZIPE zusammenarbeitenden Kooperationspartner. Bei den im folgenden vorgestellten Beispielen erfolgt die Zusammenarbeit mit dem Wissenschaftsbereich Physische Geographie der Pädagogischen Hochschule Potsdam (PHP) (Leitung Prof. Barsch und Dr. Schubert). Das Testgebiet, von der PHP bereits seit längerer Zeit betreut, enthält Winterroggen auf einer trockenen Sandplatte und Knäuelgras in einer vermoorten Niederung (Abb. 4). Es handelt sich hierbei um eine kuppige Platte mit anhydromorphen Sand-Geechiebelehm-Mosaik. Vorherrschend sind Sand-Rosterden, die teilweise von Geschiebelehm-Mergel unterlagert sind. Dadurch unterscheiden sich diese Böden in erster Linie durch ihre unterschiedliche Wasserspeicherfähigkeit. Entsprechend sind auch die verschiedenen Standorte A, B und C von den Spezialisten der PHP auf dem Roggenschlag festgestellt worden.

Die meteorologischen Bedingungen im Jahre 1982 brachten einen zunächst typischen Witterungsablauf mit ausreichend Niederschlägen im April und im Mai, auf den denn ab Juni eine langanhaltende Trockenperiode folgte. Dieser Witterungsverlauf spiegelt sich in

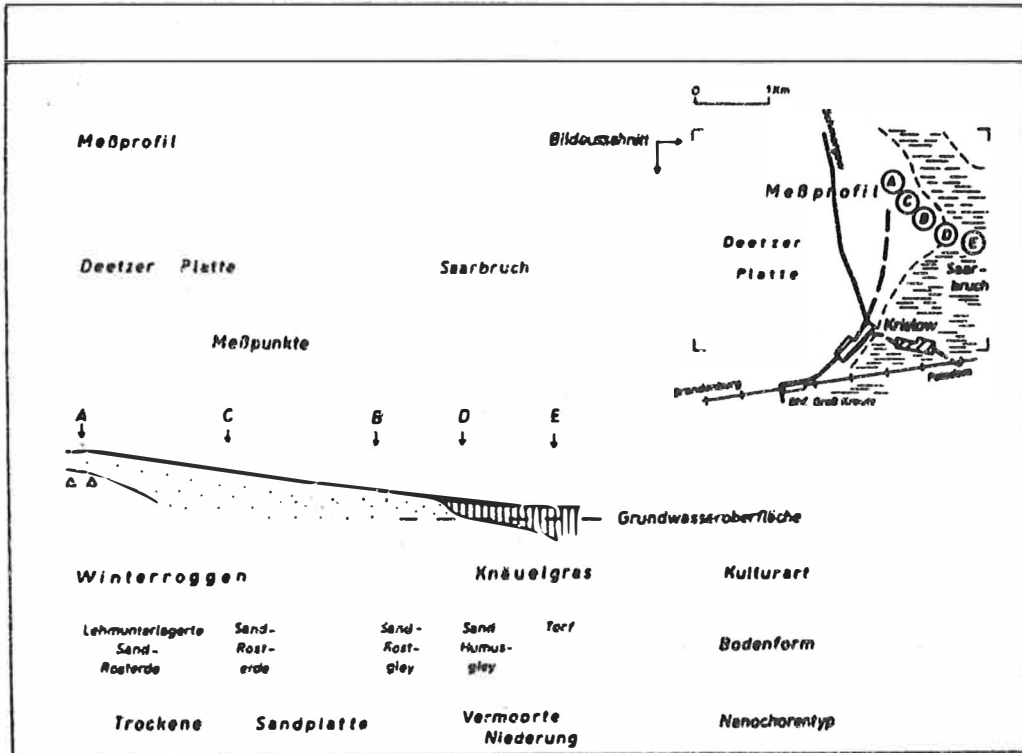


Abb. 4 Testgebiet Schmergow der Pädagogischen Hochschule Potedam

Abb. 5 - 7 wider. Anfang Juni zeigten die Kurven der Standorte A und B noch keine erkennbaren Unterschiede im Zustand der Pflanzen. Die Remissionskurve der Weidefläche (Standort D) zeigte auf Grund des höheren Bedeckungsgrades und des höheren Chlorophyllgehaltes der Objekte die charakteristischen Vegetationsmerkmale der Spektralkurve in ausgeprägter Form.

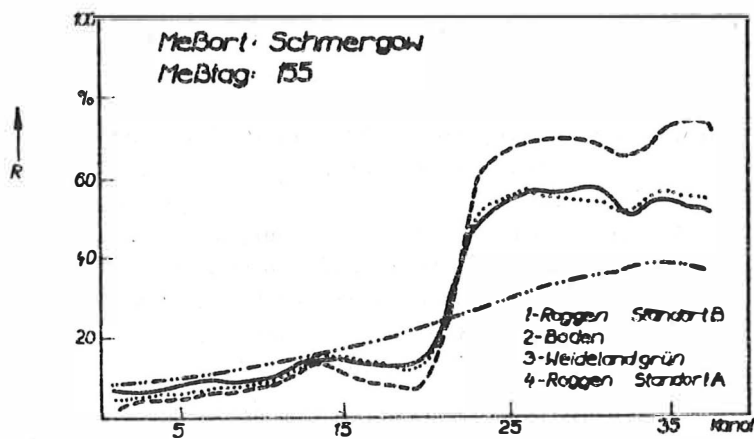


Abb. 5 Spektralkurven Schmergow 4. 6. 1982

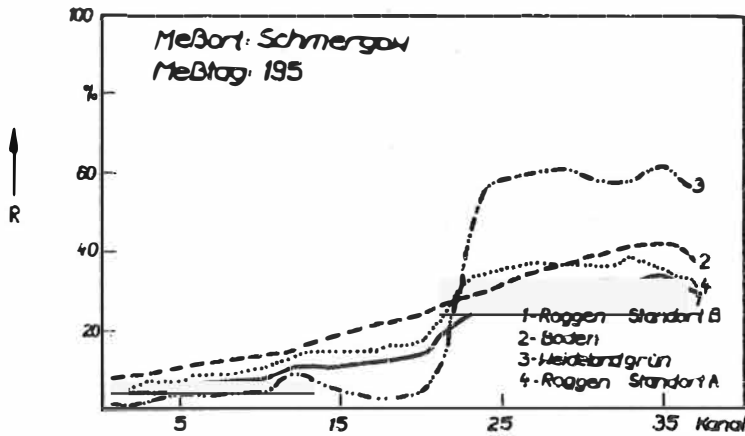


Abb. 6 Spektralkurven Schmergow 14. 7. 1982

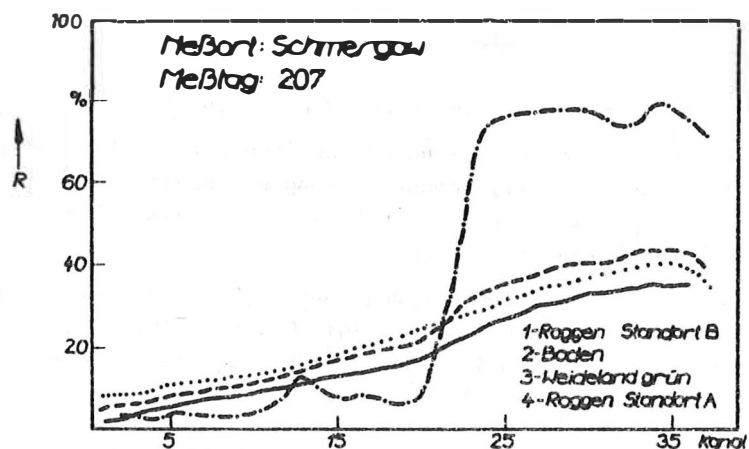


Abb. 7 Spektralkurven Schmergow 25. 7. 1982

Die danach einsetzende trockene Witterung wirkte sich auf Grund der o. g. unterschiedlichen Bodenbeschaffenheit auf die Pflanzen am Standort B stärker aus und beschleunigte deren Entwicklung. Mitte Juli war hier bereits die charakteristische Chlorophyllabsorptionsbande und der grüne Pik verschwunden; während er bei der Kurve am Standort A noch erkennbar war. Auch der Anstieg zum Infrarot-Plateau war am Standort A noch stärker ausgeprägt. Erst Ende Juli hatte auch das Getreide am Standort A das Reifestadium erreicht, während am Standort B bereits keine Vegetationsmerkmale in der Remissionskurve mehr erkennbar waren. Die insgesamt niedrige Remission im Infrarotbereich könnte auf eine geringe Biomasse am Standort B hindeuten, was durch entsprechende Laboruntersuchungen in der PHP auch bestätigt wurde.

Die Messungen des Jahres 1983 führten zu ähnlichen Resultaten wie im Jahre 1982, da analoge meteorologische Bedingungen vorlagen (Abb. 8). Erkennbar ist das Verschwinden der charakteristischen Vegetationsmerkmale der Remissionskurve im Verlaufe der Getreidereife. Dabei ist auffallend, daß dieses Verschwinden nicht gleichzeitig erfolgt. Vielmehr ist zu erkennen, daß zu Beginn des Reifeprozesses zunächst der grüne Pik bzw. das Rot-Minimum verschwindet, was mit einer rapiden Abnahme des Chlorophyllgehaltes der Pflanzen einhergeht.

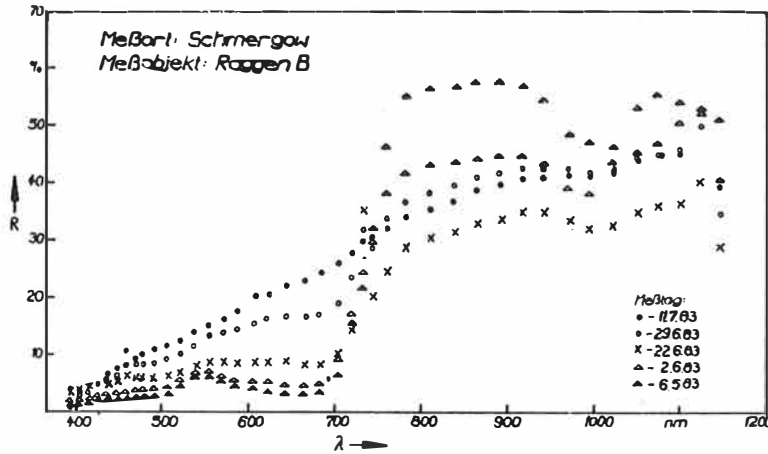


Abb. 8 Spektralkurven Schmergow 1983 (Standort B)

Dagegen bleibt das Infrarot-Plateau noch bis zur Vollreife erhalten. Diese Eigenschaft ist mit dem Zellaufbau der Pflanzen verknüpft. Aus diesem spezifischen Verhalten der Pflanzen können Rückschlüsse auf den Verlauf des Reifeprozesses gezogen werden.

Die durchgeführten Messungen der fachspezifischen Merkmale wie Biomasse, Chlorophyllgehalt, Feuchtegehalt, Bodenbedeckung und Blattflächenindex ergaben eine Zustandscharakterisierung, die mit der aus den Remissionsmerkmalen abgeleiteten Zustandseinschätzung eine gute Übereinstimmung aufwies.

Wie die im Jahre 1983 durchgeführten Remissionsmessungen ergaben, zeigt das durch Witterungseinflüsse beeinträchtigte Getreide (Lagergetreide) einen deutlich höheren Remissionskoeffizienten im gesamten Spektralbereich, wobei die Form der Spektralkurve im wesentlichen erhalten bleibt (Abb. 9). Ein solches Phänomen kann dazu führen, daß der

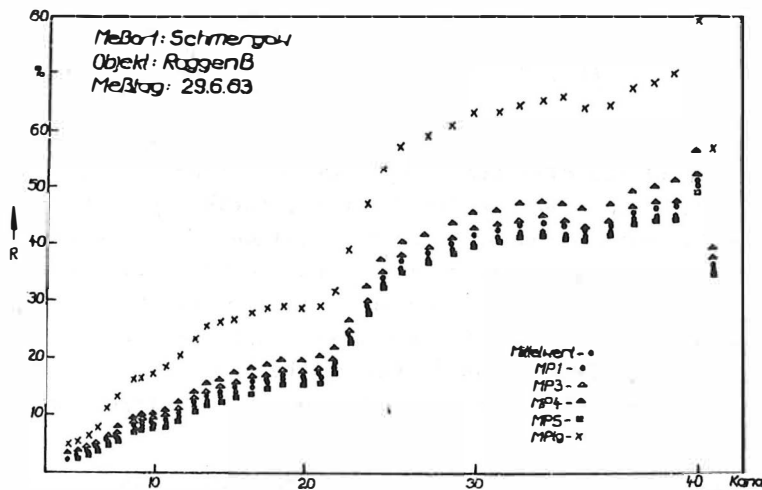


Abb. 9 Spektralkurven Schmergow 1983 (stehendes und liegendes Getreide)

Variationskoeffizient der Messungen bis auf Werte von 25 - 30 % ansteigt, wenn liegendes Getreide in unterschiedlichen Flächenanteilen in dem jeweiligen Meßpunkt vorkommt,

während er eonet zwischen einzelnen Meßpunkten eines Standorte auf einer ale homogen eingeschätzten Fläche zwischen 5 - 10 % beträgt. Dieses Verhalten kann zu ernsthafte Schwierigkeiten bei automatisch arbeitenden Objekterkennungssystemen führen. Auf weitere mit Methoden der statistischen Datenanalyse durchgeführten Auswertungen soll hier nicht näher eingegangen werden, es sei auf /3/ verwiesen.

Von besonderem praktischen Interesse ist die Möglichkeit, von den Punktmessungen am Boden zu flächenhaften Aussagen zu gelangen. Dieser Übergang gelang anhand von Luftaufnahmen, die mit einem automatischen unüberwachten Algorithmus reyniert wurden. Dieser von Dipl. Ing. W. HERR entwickelte Algorithmus hat den Vorteil, daß er eine Aussage über die Signifikanz der Anzahl der ermittelten Klassen gestattet. Dazu wird ein iteratives Verfahren genutzt, bei dem mit einer hypothetischen Klassenzahl ein Modellhistogramm erstellt und der Unterschied zu dem realen Histogramm dabei minimiert wird.

In Abb. 10 sind die unterschiedlichen Reifezustände der Standorte A und B deutlich erkennbar. Der Bereich eines jeden Standortes ist flächenhaft ausgegrenzt.



im Gebiet Schmergow

Literatur

- /1/ WEICHELT, H.; HERR, W.; RÜSER, S.; SÜLLNER, R.: Methodik und erste Ergebnisse von Bodenexperimenten auf Teetflächen. In: Veröffentlichungen des Zentralinst. f. Physik d. Erde Nr. 74, Potsdam 1982
- /2/ SÜLLNER, R.; SCHMIDT, K.; WEICHELT, H.: Erkennungskonzepte für die Ableitung thematischer Informationen aus Fernerkundungsdaten. In: Veröffentlichungen des Zentralinst. f. Physik d. Erde Nr. 76, Potsdam 1983
- /3/ WEICHELT, H.: Beiträge zur Inairu-Messung von Spektralcharakteristiken natürlicher Objekte. In: Dissertation A, Zentralinst. f. Physik d. Erde, Potsdam 1984

Zur Extraktion von Textur- und Strukturmerkmalen in Fernerkundungsdaten

R. SÜLLNER, R. SIEBERT, K. SCHMIDT

1. Einleitung

Für die visuelle Interpretation von Fernerkundungsaufnahmen besitzen Strukturen und Texturen eine besondere Bedeutung. Seit mehr als 10 Jahren werden deshalb Versuche unternommen, Textur- und Strukturmerkmale zusätzlich zu den spektralen Merkmalen auch bei der numerischen Klassifikation von Fernerkundungsdaten zu nutzen /1, 3, 5, 6/. Die dabei erreichten Ergebnisse sind teilweise befriedigend, aber zum Teil auch widersprüchlich.

Einerseits gelang es, die Erkennungsgenauigkeiten auf ca. 95 % zu steigern, andererseits traten auch Verschlechterungen der Erkennungsgenauigkeiten auf. In diesem Zusammenhang sollen in der vorliegenden Arbeit die Erfahrungen der Autoren bei der Nutzung verschiedener Texturmaße für Aufgabenstellungen der Fernerkundung dargestellt und die dabei auftretenden kritischen Stellen der Texturanalyse, die zu instabilen Ergebnissen führen können, diskutiert werden.

2. Aufgabenstellungen für die Textur- und Strukturanalyse in Fernerkundungsdaten

Die konkreten Aufgabenstellungen für die Textur- und Strukturanalyse sind eng gekoppelt mit den allgemeinen Zielstellungen der Nutzung von Verfahren der Fernerkundung. In der DDR besteht das Hauptziel der Anwendung von Verfahren der Fernerkundung in der Gewinnung von aktuellen Informationen über:

- a) die Art und die räumliche Anordnung der Bodenbedeckung
- b) den Zustand der einzelnen Nutzflächen.

Generell können dabei die Aufgaben für die Textur- und Strukturanalyse nach den drei Auflösungsbereichen 0,5 - 3 dm, 1 - 5 m, 10 - 100 m klassifiziert werden (Tab. 1). Neben den in Tab. 1 formulierten Zielstellungen der Textur- bzw. Strukturerkennung, die sich vorwiegend auf die Gewinnung von Zustandsaussagen über Nutzflächen beziehen, sind die Textur- bzw. Strukturmerkmale auch für die Bestimmung der Objektart von prinzipieller Bedeutung. Allerdings kann bei vielen volkswirtschaftlich relevanten Aufgabenstellungen die Objektart als bekannt vorausgesetzt werden bzw. ihre Bestimmung ist allein mit spektralen Merkmalen möglich.

Neben den für die Flächennutzung in Tab. 1 genannten Aufgabenstellungen spielen Struktur- und Texturmerkmale noch bei der Analyse von Wellenfeldern des Ozeans sowie bei geologischen Fragestellungen eine Rolle. Insgesamt ist erkennbar, daß bei den bestehenden Aufgabenstellungen Texturen im "klassischen Sinne" eine untergeordnete Rolle spielen. "Reine" Texturen treten eigentlich nur bei Forstflächen und evtl. noch bei ozeanologischen Wellenfeldern auf. Bei den meisten Aufgabenstellungen überwiegen Strukturen bzw. stark gestörte Texturen. Bei den gegenwärtig existierenden Fernerkundungssensoren erhalten die Anwendungen im Auflösungsbereich 0,5 - 3 dm noch keine tiefere praktische Bedeutung. Die Anwendungen im Auflösungsbereich von 1 - 5 m beziehen sich auf Flugzeug-Hochbefliegungsaufnahmen, im Auflösungsbereich 10 - 100 m auf Kosmosaufnahmen.

3. Bestimmung der erforderlichen geometrischen Auflösung und Größe der Extraktionsfläche

Texturmerkmale werden über eine Extraktionsfläche (Operatorfeld), die aus einer bestimmten Anzahl von Auflösungselementen zusammengesetzt ist, ermittelt. Von fundamentaler Bedeutung für die Stabilität der ableitbaren Texturmerkmale ist die Größe der Extraktionsfläche und des Auflösungselementes /2, 6, 7/. Generell sind diese Größen so zu bestimmen, daß das Texturmaß invariant gegenüber Verschiebungen der Extraktionsfläche wird. Zur Gewinnung von Erfahrungen für die Optimierung dieser Größen bei Aufgabenstellungen auf dem Gebiet der Geofernerkundung wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

Tab. 1 Typisierung von Aufgabenstellungen zur Struktur- und Texturanalyse auf dem Gebiet der Flächennutzung

Auflösungs- bereich	Objekt	Ziel der Textur- bzw. Strukturerkennung	durchschnittliche Objektgrößen
0,5 - 3 dm	landwirtschaftl. Nutzflächen	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammenhang zwischen Ertrag und Textur • Erkennung des Vitalitätszustandes 	50 ... 100 ha
1 - 5 m	forstwirtschaftl. Nutzflächen	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammenhang zwischen Holzvorrat und Textur 	3 ha
	Obstplantagen	<ul style="list-style-type: none"> • Erkennung von Ausfallstellen, Stellen mit Minderertrag 	50 ha
	fleckartige Strukturen in land- und forstwirtschaftl. Nutzflächen	<ul style="list-style-type: none"> • Lokalisierung bestimmter Flecken • Erfassung der Auswirkung auf den Ertrag 	
	Bearbeitungsstrukturen auf landwirtschaftl. Nutzflächen	<ul style="list-style-type: none"> • Erkennung des Bearbeitungszustandes 	
10 - 100 m	Städte, Siedlungen	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammenhang zwischen Textur und Siedlungstypen sowie geograph. Kennziffern 	20 ... 100 ha
	größere fleckartige Strukturen in land- u. forstwirtschaftl. Nutzflächen	<ul style="list-style-type: none"> • Lokalisierung bestimmter Flecken • Erfassung der Auswirkung auf den Ertrag 	

a) Untersuchung der Abhängigkeit des Grauwert-Variationskoeffizienten γ von der Größe des Pixels

Aus dem Verlauf von γ über die Meßfleckgröße können Aussagen zur erforderlichen Auflösung bei der Texturanalyse abgeleitet werden. Meßfleckgrößen im stabilen Bereich von γ zeigen an, daß das Strahlungssignal verschiebungsinvariant ist, d. h. es ist keine Textur (mehr) erkennbar. Bei großem γ ($\geq 30\%$) werden auf der anderen Seite nur Einzelobjekte erfaßt. Daher sind zur Ableitung von Texturmerkmalen Auflösungen anzustreben, die zwischen 10 und 25 % liegen. Varianzanteile, die von Einzelobjekten herrühren, können eliminiert werden, "echte" texturbedingte Varianzen werden noch erfaßt. Die Ergebnisse für verschiedene Objektarten zeigt Abb. 1. Es ergeben sich folgende, für die Texturanalyse erforderliche Größen des Auflösungselements:

Getreide: ca. 0,5 - 1 dm
 Hackfrüchte: ca. 1 - 5 dm
 Obstplantage: ca. 1 - 3 m.

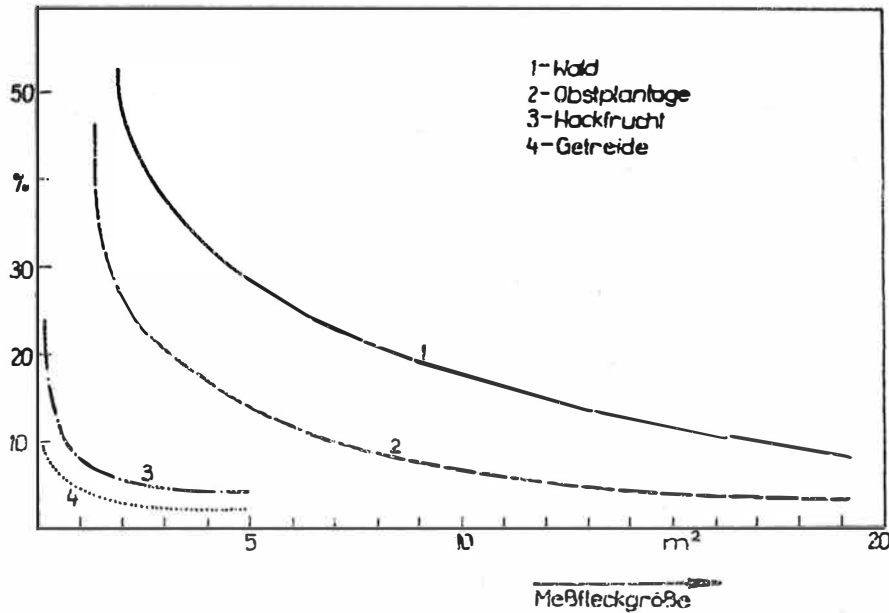


Abb. 1 Verhalten des Grauwertevariationskoeffizienten von der geometrischen Pixelgröße

- b) Untersuchung der Änderung der eindimensionalen Autokorrelationsfunktion einer Textur in Abhängigkeit von der Größe der Pixel

Die Ergebnisse für die eindimensionale Autokorrelationsfunktion sind am Beispiel der Objekte Wald und Obstplantage in den Abb. 2.1 und 2.2 dargestellt. Auch hier ergibt sich, daß bei Verschlechterung der geometrischen Auflösung ab einem bestimmten Wert (für Wald bei 12 m, für Obstplantagen bei 3 m) die Autokorrelationsfunktion instabil wird. Die entsprechenden Werte können als erforderliche Mindestauflösung für die Texturanalyse betrachtet werden.

- c) Untersuchung der Änderung des Grauwert-Histogramms über einem Operatorfeld bei schrittweiser Verkleinerung des Operatorfeldes und konstanter Auflösung

Die Ergebnisse für die Änderung des Histogramms am Beispiel von Kiefernwald zeigt Abb. 3. Das Operatorfeld wurde beginnend mit einer Größe von 80 x 80 Pixeln schrittweise verkleinert, die geometrische Auflösung betrug ca. 3 m. Die typische Histogrammform bleibt bis zu einer Operatorfeldgröße von etwa 30 x 30 Pixeln erhalten. Danach wird das Histogramm instabil.

- d) Untersuchung der Stabilität von Texturmerkmalen auf der Basis der Cooccurrence-Statistik in Abhängigkeit von der Größe des Operatorfeldes

Abb. 4 zeigt die erhaltenen Ergebnisse am Beispiel des Verlaufs des Texturmerkmals SDM (Kontrastparameter der Cooccurrence-Statistik). Das Texturmerkmal bleibt im vorliegenden Beispiel (künstliche Texturen) bis zu einer Größe des Operatorfeldes von 100 x 100 Pixeln stabil. Bei einer weiteren Verkleinerung wird der Wert instabil und beginnt zu schwingen.

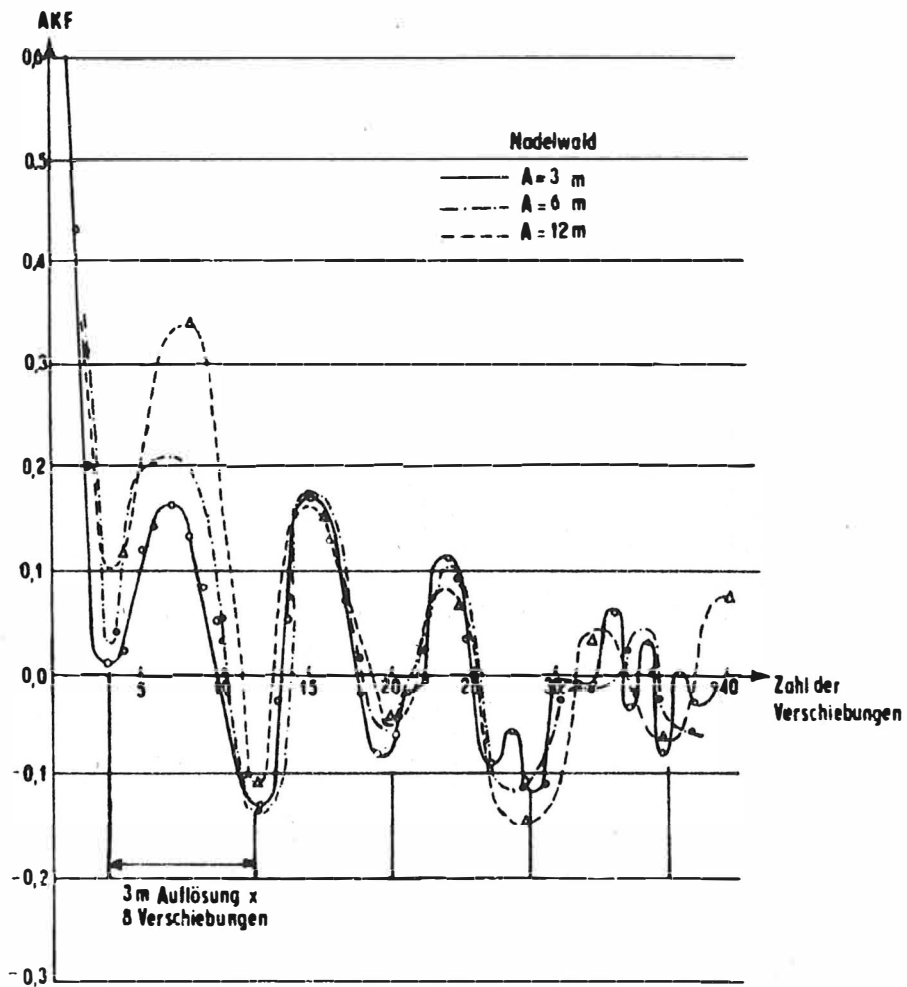


Abb. 2.1 Einfluß der Pixelgröße auf die eindimensionale Autokorrelationsfunktion für Nadelwald

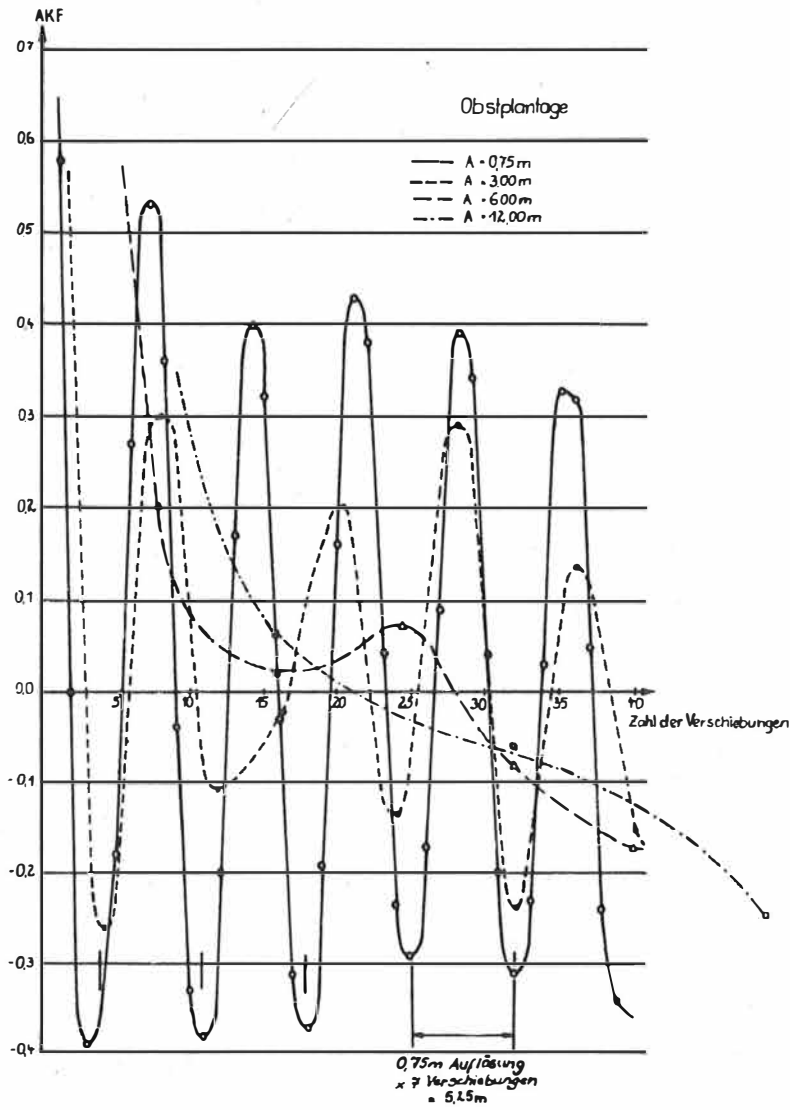


Abb. 2.2 Einfluß der Pixelgröße auf die eindimensionale Autokorrelationsfunktion für eine Obstplantage

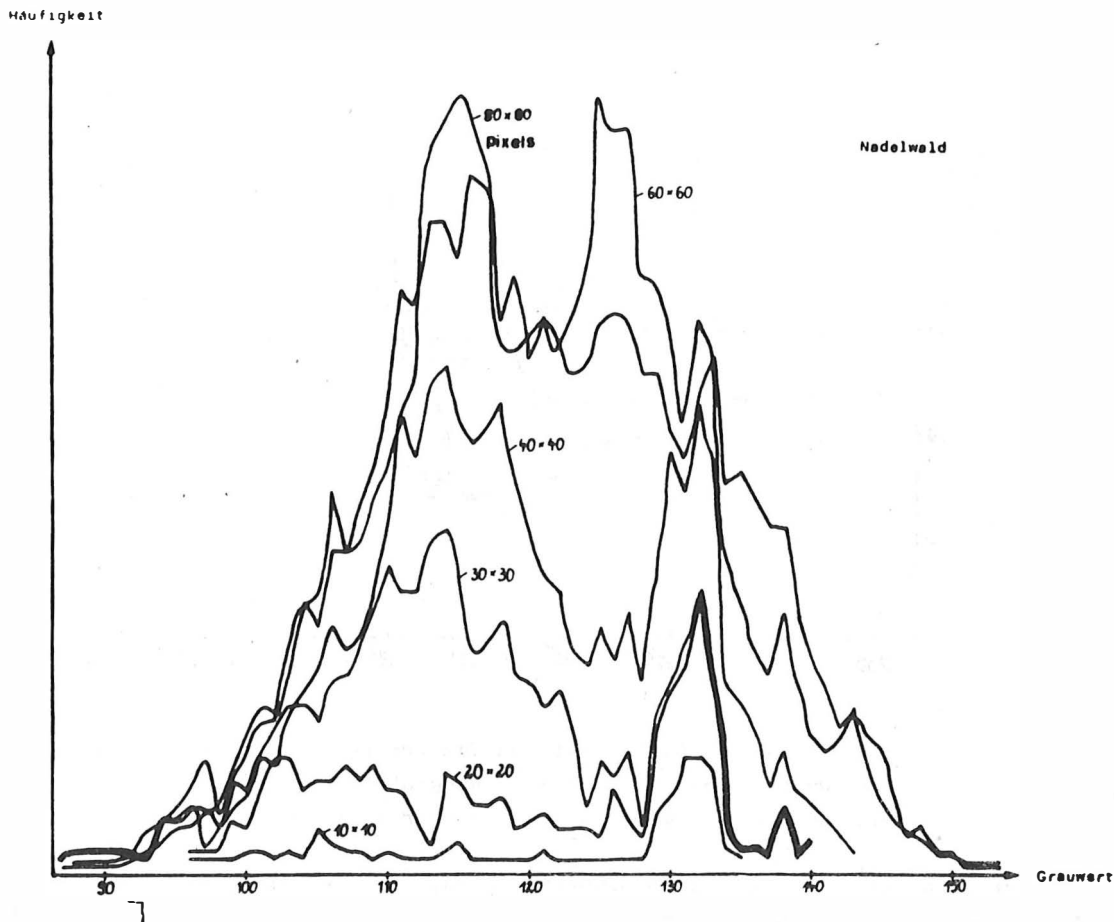


Abb. 3 Abhängigkeit des Grauerthistogramme von der Operatorfläche (OP). OP wird dabei schrittweise verkleinert, wobei die Auflösung unverändert bleibt.

Weiterhin wurden diese methodischen Untersuchungen auch bei den Verfahren der Run-Length-Statistik, der einfachen Grauwertmaximumdetektion und der kohärent-optischen Fouriertransformation durchgeführt.

Dabei wurden neben diesen Untersuchungen an natürlichen Texturen auch mit Hilfe von kugelförmigen Körpern künstliche Texturen erzeugt und unter verschiedenen Beleuchtungswinkeln fotografiert (Abb. 5). Damit konnten z. B. Texturen, wie sie bei Luftaufnahmen Kiefern- bzw. Laubwäldern ähnlich sind, simuliert werden.

Es wurden folgende verallgemeinerbare Ergebnisse zur Dimensionierung der Extraktionsfläche sowie der geometrischen Auflösung erhalten:

- a) Innerhalb der Extraktionsfläche für die Texturanalyse sollten mindestens 5×5 der texturbildenden Objekte (z. B. 5×5 Baumkronen bzw. "verschmolzene" Baumkronengruppen bei Waldtexturen) enthalten sein. Damit ergibt sich z. B. für Laub- und Kiefernwaldtexturen eine minimale Größe der Extraktionsfläche von ca. $40 \text{ m} \times 40 \text{ m}$.

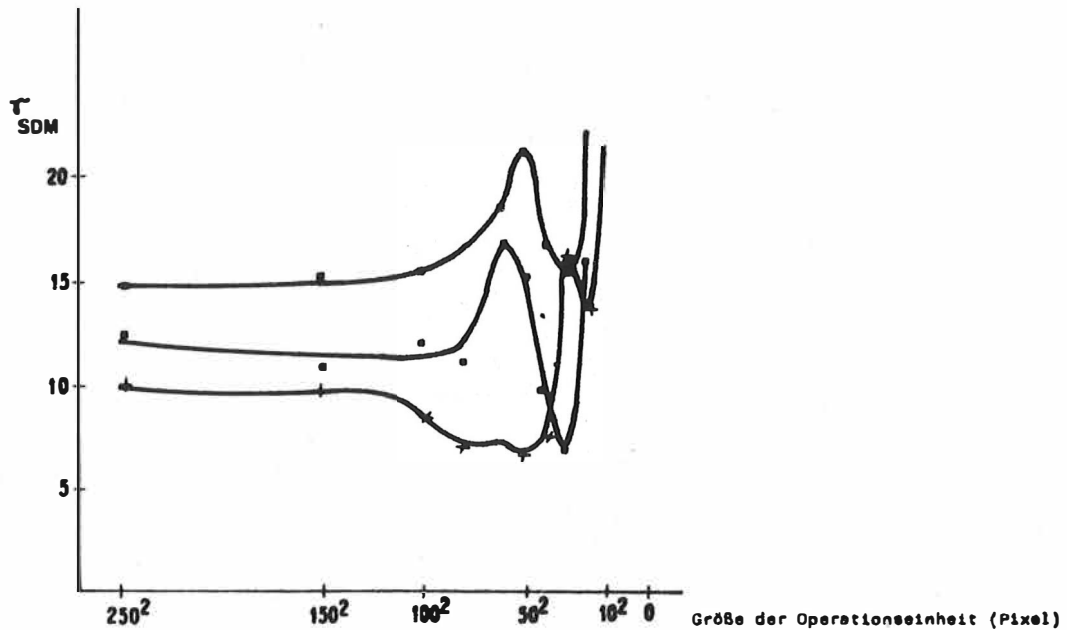


Abb. 4 Untersuchung der Stabilität von Texturmerkmalen aus der Cooccurrence-Statistik in Abhängigkeit von der Operatorgröße (am Beispiel künstlicher Texturen)

- b) Die geometrische Auflösung ist so zu dimensionieren, daß sie nicht schlechter als die Hälfte der Größe der texturerzeugenden Objekte ist.

Diese Aussagen gelten in erster Linie für die statistischen Verfahren der Texturanalyse. Aus den hier abgeleiteten Operatorfeldgrößen und den durch die volkswirtschaftliche Aufgabenstellung gegebenen Flächengrößen, ergeben sich weitere Anwendungsbeschränkungen.

4. Zur Signifikanz der formalisierbaren Textur- und Strukturmerkmale für die Datenauswertung

Auf Grund des Oberflächenreliefs der natürlichen Objekte sind die in Fernerkundungsaufnahmen auftretenden Texturen i. a. vom Beleuchtungswinkel (Sonnenhöhe) und von der Hangneigung abhängig /4/.

Ein visueller Interpret kann trotzdem die verschiedenen Texturen natürlicher Objekte in aerokosmischen Aufnahmen auch bei verschiedenen Aufnahmesituationen sehr gut erkennen und klassifizieren.

Von der numerischen Klassifizierung von Texturen kann dies nicht gesagt werden.

Es zeigt sich bei den statistischen Verfahren der Texturanalyse trotz Optimierung der Größe der Extraktionsfläche und des Auflösungselements eine starke Instabilität gegenüber der Aufnahmesituation und dem Relief. Abb. 6 zeigt, daß eine sehr gute Korrelation zwischen dem Cooccurrence-Merkmal SDM und dem Alter von Kiefernreinbeständen auf ebenem Gelände besteht. Das Ergebnis bezieht sich allerdings nur auf ein einziges Bild. Bei Fichtenreinbeständen war es auf Grund der stark variierenden Hangneigungen und -richtungen nicht

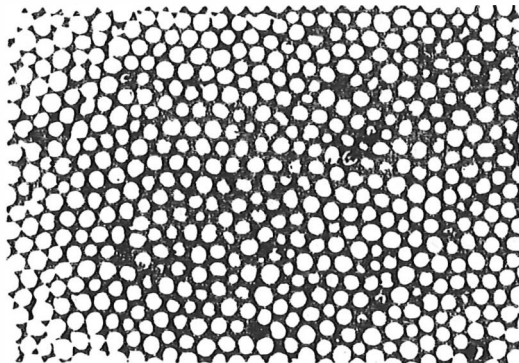
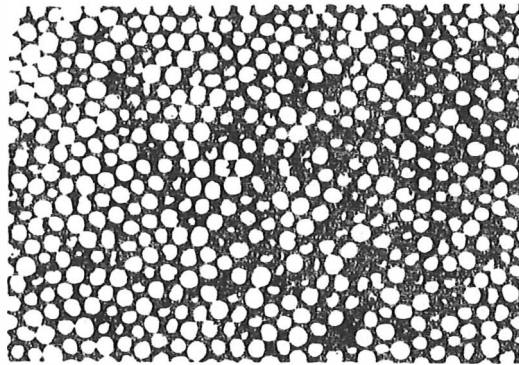
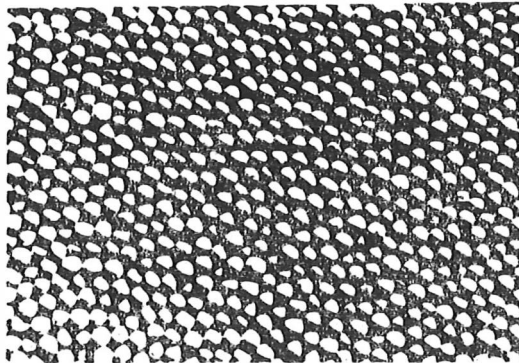


Abb. 5 Künstliche Texturen am Beispiel von Erbsen, aufgenommen unter verschiedenen Beleuchtungsbedingungen

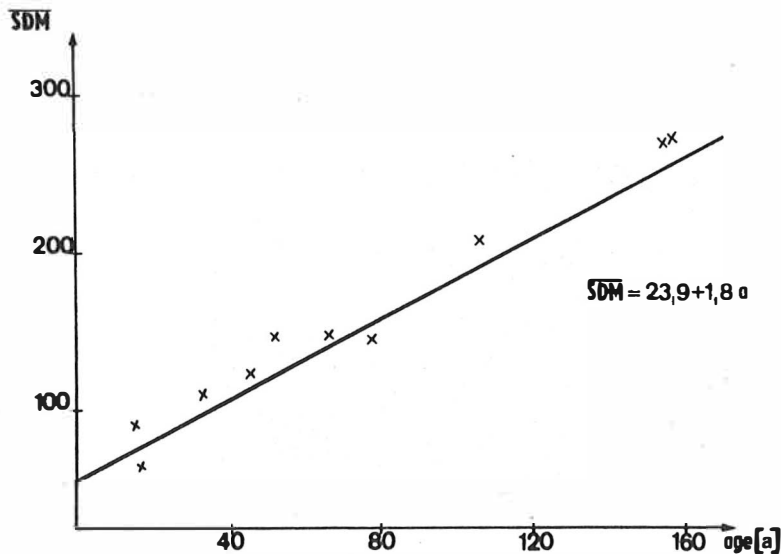


Abb. 6 Korrelation zwischen dem Cooccurrence-Merkmal SDM und dem Alter von Kiefernbeständen

möglich, ähnlich gute Korrelationen zu erzielen. Vergleichbare Ergebnisse liegen für andere Texturen natürlicher Objekte vor. Man kann den Schluß ziehen, daß die statistischen Verfahren der Texturanalyse bei der Auswertung von Fernerkundungsaufnahmen nur in speziellen Fällen erfolgreich angewendet werden können. Das menschliche Auge orientiert sich offenbar an einzelnen Formmerkmalen, die gegenüber Veränderungen der Aufnahmesituation und dem Relief invariant bleiben. Verfahren, die derartige Merkmale für den Erkennungsprozeß ableiten, arbeiten nach einem syntaktischen Konzept. Die Textur wird bei ihnen als Muster verstanden, welches aus Texturelementen mit definierten Form-, Größen- und Anordnungseigenschaften besteht. Die Aufgabe liegt in der Extraktion von Merkmalen, die diese Eigenschaften ganz oder teilweise beschreiben. Erste Erfahrungen wurden mit einer Methode erzielt, welche unter dem Namen Zeilenkoinzidenzverfahren in der Literatur beschrieben ist und bislang bei der automatischen Mikroskopbildanalyse in der Medizin Anwendung fand. Durch den Algorithmus wird eine Segmentierung der Bildvorlage in Objekt und Untergrund vorgenommen, wobei als Entscheidungskriterium ein Grauwertpegel als Schwellwert vorgegeben wird. Aus den zusammenhängenden Flächen der entstehenden Binärbilder (Objekt-Untergrund) werden Flächengrößen, Grauwertsumme und weitere Merkmale ermittelt (Abb. 7). Die Darstellung der so bestimmten hierarchisch aufgespaltenen Extraktionsfläche über den Pegel liefert den sogenannten Texturbaum als syntaktisches Charakteristikum, aus dem noch zusätzliche Merkmale wie z. B. die Spitzen des Texturbaumes abgeleitet werden können.

Das Verfahren wurde auf eine Reihe von Waldbeständen mit dem Ziel angewandt, durch geeignete Wahl der Grauwertschwelle die Baumkronenzahlen zu ermitteln. Die Baumkronenzahl ist eine forstwirtschaftlich wichtige Größe, aus der Aussagen über den Holzvorrat eines Waldbestandes abgeleitet werden können. Das Ergebnis ist in der Abb. 8 dargestellt. Aufgetragen sind die mittels ZEIKO isolierten Objektzahlen gegenüber denen, die visuell ausgezählt wurden. In der Darstellung sind Luftbilder von verschiedenen Aufnahmesituationen und Hangneigung berücksichtigt.

Die gute Korrelation von besser 0,9 beweist die prinzipielle Anwendbarkeit des Verfahrens und läßt darüber hinaus die Vorteile des syntaktischen Ansatzes gegenüber den statistischen Verfahren der Texturanalyse erkennbar werden.

Literatur

- /1/ BARGEL, B.: Automatische Klassifikation durch Textur- und Formmerkmale in Multi-spektraldaten für die Fernerkundung.- In: Proc. 14. ISP-Kongreß, Kommission III.- S. 56 - 65
- /2/ HARALICK, R. M.: Statistical and structural approach to texture.- In: Proc. of the Internat. Symposium.- Freiburg 1978.- S. 379 - 431
- /3/ KRAVZOVA, V. N.: Opit ozenki deschifriruje mosti strukturozonal'nich snimkov.- In: Issled. Zemli iz kosmosa.- S. 34 - 42
- /4/ MASUMY, S. A., HILDEBRANDT, G.: Einflüsse von Sensor, Bildmaßstab und Bildort auf die Texturmerkmale von Waldbeständen.- In: Proc. of the Internat. Symposium.- Freiburg 1978.- S. 455 - 472
- /5/ MAURER, H.: Automatische Landnutzungskartierung aus Texturparametern.- In: Vermessungswesen und Raumordnung.- 43(1981)5.- S. 237 - 268
- /6/ ROSE, P., SCHULZ, R.: Erderkundung - Klassifizierung von Objekten multispektraler Bilder mit unsupervised Methoden unter besonderer Berücksichtigung der natürlichen Texturen.- ILR-Report 42, TU.- Berlin, 1979
- /7/ SIEBERT, R., SÜLLNER, R., MAREK, K.-H.: Probleme der geometrischen Auflösung bei der numerischen Klassifizierung.- In: Vermessungstechnik.- Berlin 31(1983)3, 5

A u t o r e n v e r z e i c h n i s

- Dr.-Ing. T. Baranowska, Institut für Geodäsie und Kartographie, Zentrum für Fernerkundung der Erde, Warszawa
00-950 Warszawa, ul. Jasna 2/4
- Prof. Dr. sc. H. Barsch, Pädagogische Hochschule "Karl Liebknecht" Potsdam, Wissenschaftsbereich Physische Geographie
1500 Potsdam-Sanssouci, Am Neuen Palais
- Prof. Dr. sc. H. Barthel, Technische Universität Dresden, Sektion Geodäsie und Kartographie
8027 Dresden, Mommsenstr. 13
- Prof. Dr. sc. K. Billwitz, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Sektion Geographie
2200 Greifswald, Ludwig-Jahn-Str. 16
- Dr. K.-H. Blaurock, Büro für Territorialplanung bei der Bezirksplankommission Leipzig
7010 Leipzig, Querstr. 26/28
- Dipl.-Ing. B. Breitfeld, Akademie der Wissenschaften der DDR, Institut für Geographie und Geoökologie Leipzig
7010 Leipzig, Georgi-Dimitroff-Platz 1
- Dipl.-Ing. B. Brülke, Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Physik der Erde Potsdam
1500 Potsdam, Telegrafenberg
- Dr. P. Duvinage, Pädagogische Hochschule "Karl Liebknecht" Potsdam, Wissenschaftsbereich Physische Geographie
1500 Potsdam-Sanssouci, Am Neuen Palais
- Dr. J. Feranec, Slowakische Akademie der Wissenschaften, Geographisches Institut Bratislava
814 73 Bratislava, Obrancov mieru 49
- Dipl.-Math. W. Gärtner, Akademie der Wissenschaften der DDR, Institut für Geographie und Geoökologie Leipzig
7010 Leipzig, Georgi-Dimitroff-Platz 1
- Dr. A. Geschke, Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse Berlin
1199 Berlin, Rudower Chaussee 5
- Dr. C. Gläßer, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Sektion Geographie
4020 Halle/Saale, Domstr. 5
- Dr. G. Golzsch, Bezirksplankommission beim Rat des Bezirkes Leipzig
7030 Leipzig, Karl-Liebknecht-Str. 145
- Dipl.-Ing. U. Hengelhaupt, Akademie der Wissenschaften der DDR, Institut für Geographie und Geoökologie Leipzig
7010 Leipzig, Georgi-Dimitroff-Platz 1
- Dipl.-Ing. S. Henker, Technische Universität Dresden, Sektion Geodäsie und Kartographie
8027 Dresden, Mommsenstr. 13
- Dr. S. Hillmann, Büro des Chefarchitekten der Stadt Leipzig
7010 Leipzig, Neues Rathaus
- Dr. R. Jänkel, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Sektion Geographie
4020 Halle/Saale, Domstr. 5
- Dr. K. Kaden, Pädagogische Hochschule "Karl Liebknecht" Potsdam, Wissenschaftsbereich Physische Geographie
1500 Potsdam, Am Neuen Palais
- Dr. D. Kallweit, Zentrum für Umweltgestaltung, Berlin
1190 Berlin, Schnellerstr. 140
- Prof. Dr. sc. R. Krönert, Akademie der Wissenschaften der DDR, Institut für Geographie und Geoökologie Leipzig
7010 Leipzig, Georgi-Dimitroff-Platz 1
- Prof. Dr. sc. H. Kugler, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Sektion Geographie
4020 Halle/Saale, Domstr. 5
- Dr. sc. J. Kvitkovič, Slowakische Akademie der Wissenschaften, Geographisches Institut Bratislava
814 73 Bratislava, Obrancov mieru 49

- Prof. Dr. ec. K.-H. Marek; Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für
Physik der Erde Potsdam
1500 Potsdam, Telegrafenberg
- Ing. W. Rösner, Büro für Territorialplanung bei der Bezirksplankommission Leipzig
7010 Leipzig, Querstr. 26/28
- Dr. G. Schilbach, Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für
Physik der Erde Potsdam
1500 Potsdam, Telegrafenberg
- Dr. I. Schmidt; Akademie der Wissenschaften der DDR; Institut für Geographie und
Geoökologie Leipzig
7010 Leipzig, Georgi-Dimitroff-Platz 1
- Dr. K. Schmidt, Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Physik der
Erde Potsdam
1500 Potsdam, Telegrafenberg
- Dr. H. Schröder, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Sektion Geographie
4020 Halle/Saale, Domstr. 5
- Dr.-Ing. L. Schubert, Akademie der Wissenschaften der DDR, Institut für Geographie
und Geoökologie Leipzig
7010 Leipzig, Georgi-Dimitroff-Platz 1
- Dr. R. Siebert, Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für
Physik der Erde Potsdam
1500 Potsdam, Telegrafenberg
- Dr. S. Slobodda, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Sektion Geographie
2200 Greifswald, Ludwig-Jahn-Str. 16
- Dr. sc. R. Söllner, Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Physik
der Erde Potsdam
1500 Potsdam, Telegrafenberg
- Dr.-Ing. ec. W. Stams, Technische Universität Dresden, Sektion Geodäsie und Kartographie
8027 Dresden, Mommsenstr. 13
- Dr. H. Stoye, Akademie der Wissenschaften der DDR, Institut für Geographie und
Geoökologie Leipzig
7010 Leipzig, Georgi-Dimitroff-Platz 1
- Ing. K. Tóth, Institut für Geodäsie und Kartographie, Budapest
- Dipl.-Phys. P. Ulbrich, Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für
Kybernetik und Informationsprozesse Berlin
1199 Berlin, Rudower Chaussee 5
- Dipl.-Lehrer B. Usbeck, Akademie der Wissenschaften der DDR; Institut für Geographie
und Geoökologie Leipzig
7010 Leipzig, Georgi-Dimitroff-Platz 1
- Dr. sc. Ing. V. Vahala, Tschechische Akademie der Wissenschaften, Geographisches
Institut Brno
66282 Brno 2, Nendlovo nam. 1
- Prof. Dr. sc. L. N. Vasil'ev, Akademie der Wissenschaften der UdSSR, Geographisches
Institut Moskau
- Dr. G. Villwock, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Sektion Geographie
4020 Halle/Saale, Domstr. 5
- Dr. H. Weichelt, Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für
Physik der Erde Potsdam
1500 Potsdam, Telegrafenberg
- Prof. Dr. sc. K. Weise, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Forschungs-
zentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg, Bereich Bodenkunde/Fernerkundung
1300 Eberswalde-Finow 1, Schicklerstr. 3

Dr. H. Wirth, Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Physik der
Erde Potsdam
1500 Potsdam, Telegrafenberg

Dipl.-Ing. G. Zimmermann, Technische Universität Dresden, Sektion Geodäsie und Kartographie
8027 Dresden, Mommsenstr. 13

Dr. G. Zinke, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Sektion Geographie
4020 Halle/Saale, Domstr. 5

