

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

---

Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde  
Nr.76



2. KONFERENZ

**FERNERKUNDUNG**  
Stand und Entwicklungstendenzen

Fachtagung „Photogrammetrie und Fernerkundung“

Weimar, 15. - 16. April 1982

**Beiträge zur Konferenz**

Wissenschaftliche Redaktion: Dr. sc. K.-H. Marek  
Technische Bearbeitung: H. Weichert, H. Sandler

Herausgeber: Der Direktor des Zentralinstituts für Physik der Erde Potsdam

---

Als Manuskript gedruckt Potsdam 1983  
(ersch. 1984)

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

	<u>Seite</u>
MAREK, K.-H.: Vorwort	5 - 6
TOTH, K.: Grußwort der Delegation der UVR an die 2. Fernerkundungskonferenz	7 - 8
<u>1. GRUNDSÄTZLICHE UND PERSPEKTIVISCHE FRAGEN</u>	
KAUTZLEBEN, H.; MAREK, K.-H.: Einige grundlegende Probleme der weiteren Entwicklung der Fernerkundung der Erde	8 - 12
ALBERT, K.-H.: Aufgaben bei der effektiven Nutzung von Daten der Fernerkundung der Erde in den Volkswirtschafts- und Wissenschaftszweigen	13 - 21
BARTHEL, H.: Stand und künftige Gestaltung der Aus- und Weiterbildung zur Geofernerkundung im Hochschulwesen der DDR	21 - 27
BONAU, U.: Beispiele für eine zweckmäßige Verbindung von Forschung und Lehre auf dem Gebiet der Fernerkundung	27 - 29
<u>2. NUTZUNG VON FERNERKUNDUNGSDATEN ZUR HERSTELLUNG VON KARTEN</u>	
GUSKE, W.: Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung von Fernerkundungsdaten bei der Kartenherstellung	29 - 33
WIRTH, H.; SCHILBACH, G.: Beitrag zur automatisierten Aktualisierung thematischer Karten	33 - 40
ILLHARDT, E.; KRÄMER, J.; SPORBERT, W.; KERN, H.-G.: Die Verwendung von MKF-6-Flugzeugaufnahmen mit dem Bildmaßstab 1:20 000 für die Herstellung von großmaßstäbigen Karten	40 - 46
KUGLER, H.: Geomorphologische Fernerkundung und Photogrammetrie	47 - 52
WIRTH, H.; HARNISCH, G.; PILARSKI, M.: Flächennutzungsanalysen auf der Basis multispektraler Daten	53 - 61
HENGELHAUPT, U.; HENKER, S.: Probleme der geographischen Interpretation von Ergebnissen digital-automatischer Flächennutzungsdechiffrierungen	62 - 71

Seite

SIEBERT, R.; SÖLLNER, R.; MAREK, K.-H.: Probleme der geometrischen Auflösung bei der numerischen Klassifizierung und instrumentengestützten Photointerpretation	71 - 77
PROSS, E.: Verzerrungen in kosmischen photographischen Bildern und Möglichkeiten ihrer Beseitigung	84 - 87
HARNISCH, G.; MAREK, G.: Nichtlineare geometrische Transformation von Fernerkundungsdaten	78 - 83
 <u>3. TECHNISCHE MITTEL ZUR GEWINNUNG UND AUSWERTUNG VON FERNERKUNDUNGSDATEN</u>	
NICOLAI, G.: Die neue Multispektralkamera MSK-4	88 - 91
VOSS, G.; ZETH, U.: Das Aufnahmesystem Luftbildmeßkammer LMK	92 - 96
KROITZSCH, V.; FRUBRICH, M.: Anwendung der Multispektraltechnik in der terrestrischen Photogrammetrie	97 - 104
LAACK, U.: Das Film-Ein/Ausgabegerät FEAG	105 - 109
RULF, J.; SCHUMANN, R.: RECTIMAT C - ein neues Präzisionsentzerrungsgerät aus Jena	110 - 117
MAREK, K.-H.; Söllner, R.; Weichelt, H.; Röser, S.; Marek, G.: Erste Erfahrungen beim Einsatz von RC-Bildflugzeugen für Grundlagenforschungen zur Fernerkundung	118 - 125
RÖSER, S.: Nutzung von Fernerkundungsdaten im Mikrowellenbereich zur thematischen Kartierung	126 - 137
SÖLLNER, R.; SCHMIDT, K.; WEICHELT, H.: Erkennungskonzepte für die Ableitung thematischer Informationen aus Fernerkundungsdaten	138 - 150
BIEBERSTEIN; SCHRÖDER; RIEDEL: Entwicklung der Luftbildanwendung in der Forstwirtschaft der DDR	150 - 152
PELZ, E.; POFAHL, U.: Prüfung qualitativer Zustandsmerkmale geschädigter Fichtenbestände aus spektrozonalen Luftbildern mit Hilfe mehrdimensionaler Varianzanalysen	153 - 161

	<u>Seite</u>
STORCK, J.-H.; OPEL, S.; KRAMER, S.: Nutzung von Archivbildmaterial in Kombination mit Bildern aus der Spezialbefliegung für die retrospektivische Beurteilung von Obstanlagen	162 - 169
SPORBERT, W.; HASELOFF, R.: Stereofotogrammetrische Vermessung von Rauchfahnen aus kosmischen Bildern	170 - 172
BANKWITZ, P.; BANKWITZ, E.; FRISCHBUTTER, A.; SCHÄFER, U.: Fotogeologische Kartierung als Grundlage und Ergänzung thematischer Kartendarstellungen der Antarktis	173 - 197



## V o r w o r t

Der vorliegende Band enthält Vorträge, die auf der 2. DDR-Konferenz "Fernerkundung - Stand und Entwicklungstendenzen" gehalten wurden.

Diese Konferenz - gemeinsam veranstaltet von der Arbeitsgruppe "Naturwissenschaftliche Grundlagen der Geofernerkundung" (AG NGF) bei der AdW und der Wissenschaftlich-Technischen Gesellschaft Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie (WTG GPK) der KdT - fand als Fachtagung "Photogrammetrie und Fernerkundung" mit internationaler Beteiligung vom 15. - 16. April 1982 in Weimar statt und setzte die mit der 1. Konferenz (Karl-Marx-Stadt, Oktober 1981) begonnene Veranstaltungsreihe in Übereinstimmung mit den langfristigen Arbeitsvorhaben der AG NGF fort.

Während die 1. Konferenz (s. Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde Nr. 74, Potsdam 1982, 278 S.) den in der DDR in den ersten 5 Jahren erreichten Entwicklungsstand in recht solider Breite dargestellt hatte, sollten in den Folgeveranstaltungen die Wechselbeziehungen der noch sehr jungen Arbeitsrichtung Fernerkundung zu einem ganz speziellen Themenkreis besonders betont werden. Als erste fachspezifische Orientierung dieser Art bot sich aus mehreren Gründen die Betrachtung kartographisch-photogrammetrischer Aspekte an. Zunächst sind hier die offensichtlich wohl engsten inhaltlichen Verflechtungen der Fernerkundung mit einer traditionellen Wissenschaftsdisziplin sichtbar. Die allgemeinen Beziehungen zwischen Photogrammetrie und Fernerkundung im engeren Sinne sollten jedoch auf der 2. Konferenz nicht im Mittelpunkt stehen, die Auffassungen zu dieser Problemstellung sind aus entsprechenden Publikationen weitgehend bekannt. Die konkreten und praxisrelevanten inhaltlichen Fragen spiegeln sich in den 3 Themenkreisen der Konferenz wider.

Für die exponierte Stellung der kartographisch-photogrammetrischen Problematik spricht weiterhin die Tatsache, daß diese in der technologischen Kette der Verarbeitung von Fernerkundungsdaten eine quasi übergreifende und für unterschiedliche thematische Nutzenanwendungen allgemeingültige Rolle spielt. Es sei nur an die auch international vertretene Auffassung erinnert, daß das Endergebnis jeglicher Fernerkundungsaktivitäten dem Nutzer als Entscheidungshilfe, z. B. für ökonomisch relevante Planungsprozesse, in Form einer thematischen Kartendarstellung (mit oder ohne strengen topographischen Anschluß) vorliegen sollte.

Schließlich bieten sich in unserer Republik für die qualifizierte Diskussion von Problemen der Photogrammetrie und Fernerkundung das sachkundige Forum und die Möglichkeiten eines bewährten KdT-Gremiums, hier insbesondere der Wissenschaftlichen Sektion Photogrammetrie der WTG GPK, in hervorragender Weise an. Es ist von besonderer Bedeutung, daß mit den Formen der freiwilligen wissenschaftlich-technischen Gemeinschaftsarbeit in der KdT spezielle Aufgaben auf dem Gebiet der Fernerkundung der Erde behandelt werden können. Im Ergebnis der 2. Konferenz wurden KdT-Empfehlungen erarbeitet, die einen Beitrag zur Beschleunigung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts leisten sollen, insbesondere bei der Umsetzung der in der Grundlagenforschung auf dem

Gebiet der Fernerkundung erarbeiteten Erkenntnisse in die Arbeit der volkswirtschaftlichen Nutzerbereiche.

Die Eröffnungssitzung, die vom Vorsitzenden der Wissenschaftlichen Sektion Photogrammetrie der WTG GPK, Prof. (em.) Dr.-Ing. W. Rüger, geleitet wurde, beinhaltete wiederum den traditionellen Einführungsvortrag zum Leitmotiv der Konferenzreihe und Grundsatzreferate. Die Fachvorträge waren folgenden Themenkreisen gewidmet:

1. Nutzung von Fernerkundungsdaten für die Herstellung von Karten  
(Leitung: Dipl.-Ing. J. Krämer, VEB Kombinat Geodäsie und Kartographie )
2. Technische Mittel zur Gewinnung und Auswertung von Fernerkundungsdaten  
(Leitung: Dr.-Ing. habil. K. Szangolies, VEB Kombinat Carl Zeiss JENA)
3. Methodische Probleme der Interpretation von Fernerkundungsdaten  
(Leitung: Dr.-Ing. K.-H. Marek, Zentralinstitut für Physik der Erde der AdW)

An der 2. Fernerkundungskonferenz nahmen etwa 150 Vertreter aus Industriekombinaten und -betrieben, Forschungs- und Bildungseinrichtungen der DDR sowie Gäste aus der VRB, ČSSR, SFRJ, VRP, SRR und UVR teil.

Es ist vorgesehen, die 3. Konferenz zur Thematik "Fernerkundung in Geographie und Territorialplanung" im Jahre 1984 als gemeinsame Veranstaltung von AG NGF und Geographischer Gesellschaft der DDR durchzuführen.

K.-H. Marek

Grußwort  
der Delegation der Ungarischen Volksrepublik  
an die 2. Fernerkundungskonferenz

von  
K. TOTH<sup>1)</sup>

**Werte Anwesende!**

Im Namen des Ungarischen Geodätischen Dienstes und der Vereinigung für Geodäsie und Kartographie der UVR begrüße ich Sie herzlich. Wir danken den Veranstaltern der 2. Fernerkundungskonferenz der DDR, die als Fachtagung Photogrammetrie und Fernerkundung durchgeführt wird, für die Einladung und die Möglichkeit, an dieser Konferenz teilzunehmen.

Im folgenden möchte ich einen kurzen Überblick über die Arbeiten zur Fernerkundung geben, die in der Ungarischen Volksrepublik durchgeführt werden.

Im Jahre 1976 wurde durch unsere Regierung ein Beschluß zur Nutzung von Daten der Fernerkundung gefaßt. Auf dieser Grundlage begann im Institut für Geodäsie und Kartographie eine kleine Arbeitsgruppe mit der Sammlung und Auswertung von Fernerkundungsdaten. 1981 wurde für die weiteren Forschungsaufgaben eine selbständige Hauptabteilung geschaffen, wodurch eine Intensivierung der Arbeiten ermöglicht wurde. Als Material für die Auswertung stehen in der UVR Luftbilder und kosmische Aufnahmen zur Verfügung. Die Luftbilder wurden mit einer im Flugzeug AN-2 installierten Meßkammer auf unterschiedlichem Filmmaterial aufgenommen. Weitere Aufnahmen erfolgten von Bord einer AN-30 mit der Multispektralkamera MKF-6. Von den kosmischen Aufnahmen werden insbesondere photographische Aufnahmen der Kamera KATE von Bord sowjetischer "KOSMOS-Satelliten" sowie multispektrale Scanneraufnahmen des Satelliten LANDSAT verwendet. Außerdem wurden 1981 im Rahmen der INTERKOSMOS-Kooperation von einigen Landesteilen Thermalaufnahmen mit der Thermoprofileinrichtung THP-1 von Bord einer AN-2 angefertigt.

Im Institut für Geodäsie und Kartographie beschäftigen wir uns mit der Bildvorverarbeitung und mit Interpretationsaufgaben. Die Vorverarbeitung gliedert sich in zwei Bereiche:

1. Digitale Bearbeitungen: Erarbeitung von Programmen zur Bildverbesserung, A/D - D/A-Wandlung, Bildmodifizierung
2. Analog-Bearbeitungen: Bearbeitung von Schwarz/Weiß- und Color-Aufnahmen, Herstellung von Farbmischbildern.

Auf ausgewählten Testflächen werden in bestimmten Zeitabständen Fernerkundungsaufnahmen angefertigt, die zur Einschätzung der Bodengüte, des Unkrautbefalls und anderer für die Landwirtschaft wichtiger Parameter dienen. Weitere methodische Arbeiten laufen unter dem Aspekt der Nutzung hochauflösender Fotos für die Herstellung mittel- und kleinmaßstäbiger Karten.

---

<sup>1)</sup> Ing. Kalman TOTH, Institut für Geodäsie und Kartographie, Budapest

Wir danken nochmals für die Einladung und hoffen sehr, daß diese Konferenz zur weiteren Vertiefung der fachlichen und persönlichen Kontakte zwischen den Teilnehmern beitragen wird.

## 1. GRUNDSÄTZLICHE UND PERSPEKTIVISCHE FRAGEN

### Einige grundlegende Probleme der weiteren Entwicklung der Fernerkundung der Erde

von  
H. Kautzleben, K.-H. Marek <sup>1)</sup>

Die Fernerkundung der Erde mit aerokosmischen Mitteln als modernste und leistungsfähigste Technologie zur Gewinnung von Daten über Sachverhalte an der Erdoberfläche konnte in der DDR im vergangenen Jahrzehnt außerordentlich schnell entwickelt werden. Von größter Bedeutung hierbei war und ist die enge wissenschaftlich-technische Kooperation der beteiligten Einrichtungen der DDR mit entsprechenden Organisationen in der UdSSR und den anderen Staaten der sozialistischen Gemeinschaft. Heute existieren hierzu vielfältige Vereinbarungen auf der Ebene der Regierungen und der Fachministerien, zwischen den fachlich zuständigen staatlichen Diensten und nicht zuletzt zwischen den Akademien der Wissenschaften. Im gleichen Maße, wie die erforderlichen organisatorischen Regelungen getroffen wurden, sind in der DDR auch die wissenschaftlich-technischen Arbeiten gefördert worden.

Bereits zur 1. Konferenz über Stand und Entwicklungstendenzen der Fernerkundung (Karl-Marx-Stadt, Oktober 1981), konnte über eine gute Bilanz dieser Arbeiten berichtet werden. Es konnte gezeigt werden, daß in der DDR zumindest für wissenschaftlich-technische Untersuchungen fast alle heute üblichen Daten der Fernerkundung zur Verfügung stehen. Es wurde ebenfalls über die Möglichkeiten der verschiedenen Einrichtungen zur Grundlagenforschung in unserer Republik bei der Entwicklung der Methoden und Technologien zur Auswertung von Fernerkundungsdaten berichtet. Diese methodischen Arbeiten konnten in der Zwischenzeit erfolgreich weitergeführt werden. Als Beispiel ist in diesem Zusammenhang besonders die inzwischen erfolgte Fertigstellung des umfangreichen Methodenwerks "Atlas zur Interpretation aerokosmischer Multispektralaufnahmen" zu nennen, das unter Leitung des Zentralinstituts für Physik der Erde unserer AdW, des Instituts für Kosmosforschung der AdW der UdSSR und der Moskauer Staatlichen Universität erarbeitet und jetzt vom Akademie-Verlag Berlin in deutscher, russischer und englischer Sprache herausgegeben wird. Beträchtliche Anstrengungen sind ebenfalls in mehreren Bereichen der Volkswirtschaft unternommen worden.

<sup>1)</sup> Prof. Dr. habil. Heinz KAUTZLEBEN, Dr.-Ing. Karl-Heinz MAREK, Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Physik der Erde, 1500 Potsdam, Telegrafenberg

Dabei ist der VEB Kombinat Carl Zeiss JENA hervorzuheben, der heute im Produktionssortiment ein nahezu vollständiges Gerätesystem für die Erfassung und Verarbeitung von optisch-analogen Daten der Fernerkundung führt. Durch den VEB Kombinat ROBOTRON wird das vom Zentralinstitut für Kybernetik und Informationswissenschaften unserer AdW unter Mitwirkung sowjetischer Spezialisten entwickelte System KTS zur digitalen Bildverarbeitung bereitgestellt, womit wesentliche technische Voraussetzungen zur Automatisierung der Auswertung von Fernerkundungsdaten geschaffen wurden.

In den direkt beteiligten Wirtschaftszweigen existieren heute spezielle Laboratorien und Arbeitsgruppen für die Lösung zweigspezifischer Aufgaben mit Hilfe der Fernerkundung. Die systematische Ausbildung von Hochschulkadern ist inzwischen ebenfalls begonnen worden. Es ist sehr zu begrüßen, daß es die Wissenschaftlich-technische Gesellschaft für Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie in der KdT übernommen hat, die freiwillige sozialistische Gemeinschaftsarbeit der Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker in den beteiligten Einrichtungen zur weiteren Entwicklung der Fernerkundung und ihrer Anwendung in der Volkswirtschaft zielstrebig zu fördern

Die Fernerkundung der Erde mit aerokosmischen Mitteln hat heute bereits in mehreren Ländern ein beeindruckend hohes wissenschaftlich-technisches Niveau erreicht, was die Gewinnung und die Bearbeitung der Daten betrifft. Es gibt auch viele Hinweise darauf, daß dieses Niveau in hohem Tempo weiter erhöht wird. Das gilt insbesondere für die Fernerkundung von künstlichen Erdsatelliten aus.

In der UdSSR wird zielstrebig am Ausbau des kosmischen Systems zur Erkundung der natürlichen Ressourcen der Erde gearbeitet, mit dessen Aufbau Mitte der 70er Jahre begonnen worden ist.

Es ist für die Volkswirtschaft der DDR von großer Bedeutung, daß sie von diesem System die erforderlichen kosmischen Informationen erhalten kann (s. Bild 1).



Bild 1 Bildmosaik aus kosmischen Photoaufnahmen des DDR-Territoriums (LFB-Nr. o3/83)

Die bisher vorliegenden Erfahrungen bei der Nutzung der Daten der Fernerkundung mit aerokosmischen Mitteln für Wissenschaft, Volkswirtschaft und weitere gesellschaftliche Bereiche besagen, daß wir in der technologischen Kette der Fernerkundung die zwei Etappen "thematische Interpretation der Daten" und "Darstellung der Ergebnisse" künftig stärker zu beachten haben. In den vorangehenden und o. g. Etappen dieser Kette, der Gewinnung und der Bearbeitung der Daten, befaßt man sich - vom Standpunkt der Nutzung aus gesehen - ausschließlich mit system-inhärenten technisch-technologischen Fragen. In der Etappe der thematischen Interpretation muß dagegen das Problem gelöst werden, die Daten der Fernerkundung in das bereits vorhandene Begriffssystem der Wissenschafts- und Wirtschaftsbereiche einzugliedern und dabei in mehr oder weniger großem Maße mit andersartigen Daten zu verschmelzen. Dieses Problem kann bis heute insbesondere wegen der prinzipiellen Schwierigkeiten bei der Formalisierung der Arbeitsgänge nur ausnahmsweise voll automatisch, in der überwiegenden Zahl der Fälle jedoch nur auf der Basis empirischer qualitativer Interpretationsregeln manuell und mit visuellen Methoden auf heuristischer Grundlage gelöst werden. Es tritt also im technologischen Prozeß hier eine deutliche qualitative Veränderung ein, die soweit führen kann, daß bei fehlender wissenschaftlicher Durchdringung des Gesamtprozesses die prinzipiellen Vorteile der Fernerkundung auf dem Gebiete der Rationalisierung und Automatisierung nicht weiter genutzt werden können.

Die Darstellung der Ergebnisse der Interpretation erfolgt bisher ebenfalls noch meist manuell und wird auch zumeist als Teil der Kartographie aufgefaßt. Es gibt nur einige wenige Ausnahmen, bei denen die Interpretationsaufgaben sehr einfach sind und bereits durch Vorlage der Originalaufnahmen der Fernerkundung, evtl. mit sehr geringen Veränderungen, als gelöst betrachtet werden können. Dazu gehören z. B. Aufgaben der Rayonierung, Strukturierung u. ä. Diese Ausnahmen haben jedoch in technologischer Hinsicht prinzipielle Bedeutung, da sie einerseits den Zusammenhang des gesamten Fernerkundungsprozesses von der Datengewinnung bis zur Darstellung und Nutzung der Interpretationsergebnisse verdeutlichen und andererseits die Ziele der wissenschaftlich-technischen Arbeiten zur durchgehenden Rationalisierung und Automatisierung dieses gesamten Prozesses der Fernerkundung klar aufzeigen. Die technischen Voraussetzungen für die erfolgreiche Lösung einer solchen Aufgabenstellung sind heute in Form der modernen elektronischen Datenverarbeitung, einschließlich der Bildverarbeitung, bereits vorhanden bzw. werden in absehbarer Zeit geschaffen sein. So betrachtet muß die weitere Entwicklung der Fernerkundung der Erde in engster Verbindung sowohl mit dem Aufbau bzw. der Neugestaltung der territorial-bezogenen Informationssysteme, als auch mit der Automatisierung der Kartographie vorangetrieben werden. Wir gehen dabei davon aus, daß die Aufgabe der Fernerkundung der Erde mehr oder weniger weit in die generelle Aufgabenstellung integriert ist, über Sachverhalte an der Erdoberfläche Informationen bereitzustellen, auf deren Grundlage der Nutzer aus der Volkswirtschaft oder aus anderen gesellschaftlichen Bereichen Entscheidungen treffen kann, die zu ökonomischem oder andersartigem Nutzen für die Gesellschaft führen. Diese generelle Aufgabe muß so rationell und effektiv wie möglich gelöst werden, denn für alle Routineanwendungen ist in erster Linie die Wirtschaftlichkeit des Ergebnisses von Bedeutung. Daraus leiten sich Forderungen sowohl an nutzeradäquate Qualitätsparameter der Daten und Informationen, als auch an Forschungsinhalte in Richtung einer Steigerung des Inhalts (Genauigkeit) der Aussage und einer schnelleren Verfügbarkeit (Automatisierung) der Informationen ab.

Im Normalfall wird für die Fällung der jeweiligen Entscheidung eine Vielzahl territorial-bezogener und planungsrelevanter Informationen benötigt, die aus verschiedenen Quellen kommen, von verschiedenen Organisationen betreut werden, in unterschiedlichen Formen vorliegen, und für unterschiedliche Problemstellungen in verschiedenartiger, jeweils spezifischer Weise zu integrieren sind ("Multikonzept"). Die Bereitstellung der geforderten integrierten Informationen ist fast immer ein sehr kompliziertes wissenschaftliches und organisatorisches Problem, das zudem meist in sehr kurzer Zeit gelöst werden muß. Als Kernfrage erweist sich dabei die Integration der von Natur aus recht verschiedenartigen Daten. In der Regel sind Analogdaten (in Form von Karten u.ä.), Digitaldaten und verbale Informationen miteinander zu verbinden. Das muß, wie bereits erwähnt, zumeist noch manuell-visuell durch Experten erfolgen, kann in wachsendem Maße heute jedoch durch instrumentelle Hilfsmittel bzw. durch die elektronische Datenverarbeitung unterstützt werden. Wesentliche Fortschritte bei der automatengestützten Verarbeitung dieser Daten können durch den Aufbau einer digitalen Datenbank als Kernstück des territorial-bezogenen Informationssystems erreicht werden. Ein solches Informationssystem stellt eine drei- oder mehrdimensionale Matrix dar, deren Elemente in einem einheitlichen Format (Pixelgröße o.ä.) gespeichert werden können und wo die Operationen zwischen den Elementen entsprechend einfach realisierbar sind.

Wir können feststellen, daß die durch aerokosmische Fernerkundung gewonnenen Daten von ihrer Struktur her bestmöglich solchen digitalen Datenbanken angepaßt sind. Andererseits ist bekannt, daß die elektronische Datenverarbeitung über technische Ausrüstungen verfügt, mit deren Hilfe jede flächenhafte Verteilung von Daten in Form einer Karte, einer Kartenskizze, eines Kartogrammes oder ähnlichem ausgegeben und schnell vielfältigt werden kann. Darauf baut die moderne automatische Kartographie auf. Beim gegenwärtigen Stand können sowohl geometrisch exakte Karten mit hohem Informationsgehalt als auch stark vereinfachte Kartogramme oder Kartenschemata für operative Aufgaben auf diese Weise hergestellt werden. Eine gewisse Sonderstellung nehmen die sogenannten "zeitweiligen" Karten ein, die auf dem Bildschirm einer Anlage für interaktive Daten- bzw. Bildverarbeitung erzeugt und im Arbeitsprozeß nach Bedarf verändert werden können. Diese Anlagen bieten die Möglichkeit zu verschiedenartigsten Manipulationen, auch zur Verknüpfung verschiedener Informationen bei direktem Eingriff durch den Experten. Es ist vorstellbar, daß die Anlage schrittweise zahlreiche dieser Manipulationen entsprechend einem vorgegebenen Programm selbständig ausführen kann.

Als Beispiel kann dazu die Aktualisierung thematischer Karten auf der Basis herkömmlicher Karteninformationen und aktueller Fernerkundungsdaten genannt werden, die in folgender Weise ablaufen kann:

Die Auswertung der Fernerkundungsdaten vollzieht sich als physikalisch determinierter Erkennungsprozeß bis zur Ableitung thematischer Informationen entsprechend der o. g. technologischen Kette. Die Auswertung der zu aktualisierenden Karte mit thematischem Inhalt beinhaltet das Problem der Kartendigitalisierung und automatischen Selektion bestimmter Karteninhalte (über kartenabhängige Merkmale, wie Farbe, Darstellungsform usw., und über kartenunabhängige Merkmale, wie Kontextbeziehungen, Strukturmerkmale usw.).

Daraufhin erfolgt eine Zusammenführung und Mischung der relevanten Informationen, die Differenzen bilden eine neue Datei, die ähnlichen Charakter wie die digitalisierte Karte aufweist und gemeinsam mit den Fernerkundungsdaten in einer Datenbank abgespeichert wird. Im Zuge der weiteren Zurverfügungstellung der Fernerkundungsdaten erfolgt über Erkennungsprozeduren in einem quasi zyklischen Prozeß die Ableitung ständig aktualisierter thematischer Sachverhalte, aus denen schließlich die verschiedenartigen aktuellen thematischen Karten generiert werden können.

An dieser Stelle muß erwähnt werden, daß zur Automatisierung der Kartographie nicht unbedingt eine digitale Datenbank benötigt wird. Die für die Kartenzusammenstellung benötigten Daten müssen jedoch in einem territorial-bezogenen Informationssystem gespeichert und auf Abruf bereitliegen. Es müssen ebenso technische Voraussetzungen zur Transformation der Struktur der vorhandenen Daten verfügbar sein. Da bei der Kartenzusammenstellung weitgehend digitale Rechenanlagen eingesetzt werden, handelt es sich dabei vor allem um Anlagen zur Bildwandlung, zur Digitalisierung von analogen Bildern und zur analogen, bildhaften Ausgabe von Digitaldaten. Die technische Lösung des Problems der Bildwandlung ist eine der ersten Aufgaben beim Aufbau von territorialbezogenen Informationssystemen, speziell von digitalen Datenbanken. Das zweite wichtige Problem ist die Wahl des richtigen Verhältnisses von zentralisierten und dezentralisierten Informationssystemen. Solche Systeme sind von Natur her dezentral aufgebaut. Bei der Verwendung teurer Anlagen zur Datenverarbeitung und der ebenso teuren Software dazu entsteht die Forderung zur weitgehenden Zentralisierung, der jedoch starke Tendenzen aus objektiven und subjektiven Gründen entgegenwirken. Es ist unbedingt eine möglichst weitgehende Standardisierung und Koordinierung zu erreichen. Unerlässlich ist die Kompatibilität der Datenstrukturen.

Wegen der wachsenden Anforderungen nach integrierten Informationen müssen die Daten austauschbar sein. Damit entstehen Anforderungen an die

- Klassifikation der Daten,
- Präzision, Zuverlässigkeit, Aktualität,
- uniformen Beschreibung, Identifizierung, Abgrenzung der territorialen Einheiten und ihrer funktionellen Zusammenhänge.

Über die Aufgaben der Datenverarbeitung und der Darstellung der Information wurde bereits gesprochen; sie bilden äußerst wichtige, relativ selbständige Probleme in den Informationssystemen. Insgesamt gesehen, ist es noch an keiner Stelle in der Welt gelungen, eine vollständige technologische Kette von der Gewinnung der Daten bis zur Darstellung der Interpretationsergebnisse anwendungsreif aufzubauen. Die Durchsicht der Literatur und weiterer zugänglicher Informationen zeigt jedoch, daß in mehreren Ländern entsprechend den spezifischen Möglichkeiten und Anforderungen am Aufbau solcher Ketten intensiv gearbeitet wird. Es wird auch in der DDR erforderlich, die bereits in verschiedenen Einrichtungen dazu laufenden Arbeiten aufeinander abzustimmen. Zur Erreichung einer hohen volkswirtschaftlichen Effektivität gehört unbedingt, die Arbeiten zur Fernerkundung stärker mit den Arbeiten zur Kartographie zu verknüpfen. Da sich beide Disziplinen mit quantitativen raumrelevanten Sachverhalten befassen, bestehen dazu offensichtlich gute Voraussetzungen. Die Photogrammetrie hat in diesem umfangreichen System einen genau definierten Platz.



Aufgaben bei der effektiven Nutzung von Daten der  
Fernerkundung der Erde in den Volkswirtschafts-  
und Wissenschaftszweigen

---

von  
K.-H. Albert<sup>1)</sup>

1. Höhere Effektivität durch Nutzung von Daten der Fernerkundung der Erde

Die Erzielung hoher ökonomischer Effektivität durch moderne Wissenschaft ist eine Grundforderung bei der Verwirklichung der Wirtschaftsstrategie der SED. Im Bericht an den X. Parteitag /1/ S. 49 wird festgestellt, daß "die Möglichkeiten der wissenschaftlich-technischen Revolution unmittelbar zur Hauptreserve für Leistungswachstum und Effektivität unserer Volkswirtschaft geworden" sind. Damit besteht auch für die Nutzung der Daten der Fernerkundung der Erde in den Volkswirtschaftszweigen der DDR un-  
abdingbar das Ziel, aus den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen auf diesem Gebiet einen maximalen Zuwachs an ökonomischer Kraft zu gewinnen. Dafür bieten vor allem die aus der immer engeren Verflechtung der Volkswirtschaften der DDR und der UdSSR resultierenden Möglichkeiten günstige Voraussetzungen. So wurde in den vergangenen Jahren im brüderlichen Zusammenwirken zwischen Staatsorganen, wissenschaftlichen Einrichtungen sowie Kombinat und Betrieben aus verschiedenen Volkswirtschaftszweigen beider Staaten die Entwicklung der Technik und Technologie zur Fernerkundung der Erde in hohem Tempo vorangebracht. Gleichzeitig sind aus dieser Zusammenarbeit vielseitige Nutzungsmöglichkeiten für die Erkundung der Erdressourcen, die Überwachung der natürlichen Umwelt und für Informationsprozesse zur Leitung und Planung staatlicher und volkswirtschaftlicher Aufgaben hervorgegangen.

Seit dem historischen Flug des sowjetischen Raumschiffes "Sojus 22" im September 1976, von dem aus die Kosmonauten W. Bykowski und W. Axionow im Rahmen des Experiments "RADUGA" /2/ auch vom Staatsgebiet der DDR kosmische Aufnahmen mit der von Wissenschaftlern der DDR und der UdSSR entwickelten und vom VEB Carl Zeiss JENA gebauten Multispektralkamera MKF-6 herstellten, haben zahlreiche Wissenschaftler und Praktiker der verschiedenen Bereiche an der Erschließung von effektiven Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundungsdaten gearbeitet. Gleichzeitig wurden leistungsfähige analoge und digitale Auswertegeräte für den Einsatz als Einzelgeräte oder als Gerätesysteme konstruiert und gefertigt. Sie entsprechen dem fortgeschrittenen Stand von Wissenschaft und Technik und werden von der Industrie der DDR, insbesondere vom VEB Carl Zeiss JENA und vom VEB Kombinat ROBOTRON sowie von Instituten der Akademie der Wissenschaften der DDR auf Ausstellungen und Messen im In- und Ausland vorgestellt. Damit sind die wichtigsten Voraussetzungen für die materiell-technische Basis zur Nutzung von Daten der Fernerkundung der Erde geschaffen. Es besteht nunmehr die anspruchsvolle Aufgabe, mit dieser Technik solche technologischen Lösungen zu realisieren, die ein günstiges Verhältnis von Aufwand und Ergebnis gewährleisten. Darauf sind die Anstrengungen in allen Bereichen zu richten, die Daten der Fernerkundung zur effektiven Durchführung ihrer spezifischen Aufgaben nutzen.

<sup>1)</sup> Dipl.-Ing. Karl-Heinz Albert, Verwaltung Vermessungs- und Kartenwesen, Berlin

## 2. Ergebnisse und weitere Aufgaben bei der anforderungsgerechten Bereitstellung von Fernerkundungsdaten

Die Verwaltung Vermessungs- und Kartenwesen im Ministerium des Innern nimmt die ihr in Beschlüssen und Rechtsvorschriften übertragene Verantwortung für die Bereitstellung von kosmischen Aufnahmen und die kartographische Nutzung der Daten der Fernerkundung sowie für die damit zusammenhängenden wissenschaftlichen, produktionstechnischen, technisch-ökonomischen und administrativen Aufgaben wahr. Diese bestehen für die Bereitstellung insbesondere darin, die Ermittlung des Bedarfs und der Anforderungen sowie die Maßnahmen zum Erhalt bedarfsgerechter kosmischer Aufnahmen ständig weiter zu vervollkommen und die Bereitstellungsfristen unter Beachtung bestehender Rechtsvorschriften so kurz wie möglich zu gestalten.

Wissenschaftlich-technische Arbeiten werden im Bereich der Verwaltung Vermessungs- und Kartenwesen vor allem für die Entwicklung von Technologien zur Anwendung von Fernerkundungsdaten bei der Herstellung und Laufendhaltung von topographischen und thematischen Karten und zur Herstellung farbsynthetischer Bilder von Multispektralaufnahmen für verschiedene Interpretationszwecke sowie für die Entwicklung von universellen Anwendungsbeispielen der Darstellung von bestimmten Sachverhalten und ihrer analytischen Auswertung durchgeführt /3/. Außerdem erfolgen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten gemeinsam mit der Akademie der Wissenschaften für die Flächennutzungskartierung und für die digitale Bildverarbeitung sowie für andere Anwendungsgebiete, wie z. B. bei der Kartierung des Flachwasserschelfs. Schließlich wird eine umfangreiche konzeptionelle Arbeit für die gesamtstaatliche Koordinierung bei der Nutzung der Daten der Fernerkundung der Erde in den Volkswirtschaftszweigen der DDR betrieben.

Produktionstechnische Aufgaben werden im Bereich der Verwaltung Vermessungs- und Kartenwesen insbesondere für die anforderungsgerechte Aufbereitung der kosmischen Aufnahmen, für die produktionsmäßige Nutzung der Fernerkundungsdaten aus kosmischen Flugkörpern sowie auch aus Luftfahrzeugen zur Kartierung des Staatsgebietes und für die Herstellung von Erzeugnissen und Erbringung von Leistungen für Nutzer aus den Staatsorganen, Volkswirtschaftszweigen und wissenschaftlichen Einrichtungen durchgeführt. Dazu erfolgt eine planmäßige Vervollkommnung der technischen Ausrüstung entsprechend dem Produktionsinhalt und -umfang im Rahmen der Reproduktion der Grundfonds des VEB Kombinat Geodäsie und Kartographie /4/.

Die administrativen Aufgaben erstrecken sich vorrangig auf die Beantragung und Verwaltung der kosmischen Aufnahmen, die Gestaltung und den Abschluß von Vereinbarungen und Verträgen für die Bereitstellung von Fernerkundungsdaten sowie auf Maßnahmen zur Gewährleistung von Sicherheit, Ordnung und Geheimnisschutz und auf die exakte Erfüllung der übertragenen gesamtstaatlichen Leitfunktion für die Nutzung der Daten in den Volkswirtschaftszweigen der DDR. Weiterhin gehören dazu die Ausarbeitungen und Festlegungen der Preise für kosmische Aufnahmen und Erzeugnisse daraus auf der Grundlage bestehender Rechtsvorschriften.

Für die bisher erreichten Ergebnisse und die Lösung der künftigen Aufgaben ist das enge vertrauensvolle Zusammenwirken mit den zuständigen Partnern in der Sowjetunion grundlegende Voraussetzung. Es bleibt die Basis für ein koordiniertes Herangehen an die Aufgaben der Nutzung der Fernerkundungsdaten bei ständiger Erhöhung der ökonomischen Wirksamkeit im Rahmen der internationalen wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Zusammenarbeit. Dazu gibt es zahlreiche zwei- und mehrseitige Arbeitspläne, Verträge und Beratungsprotokolle der zusammenarbeitenden zentralen staatlichen Organe und Einrichtungen, die regelmäßig abgerechnet und weiter präzisiert werden.

Seit der Verfügbarkeit der ersten hochauflösenden multispektralen kosmischen Aufnahmen sind auch die erforderlichen völkerrechtlichen und staatsrechtlichen Regelungen getroffen worden. So bildet für die Gewinnung und Bereitstellung kosmischer Aufnahmen die Konvention über die Übergabe und Nutzung von Daten der Fernerkundung der Erde aus dem Weltraum vom 19. Mai 1978 /5/ die völkerrechtliche Grundlage.

Die Konvention entspricht den Grundprinzipien des internationalen Weltraumrechts und regelt u.a. in Artikel IV, daß Primärdaten der Fernerkundung aus dem Weltraum mit einer Geländeauflösung besser als 50 m nicht ohne ausdrückliches Einverständnis der Staaten, deren Hoheitsgebiet aufgenommen wurde, veröffentlicht werden. Damit besteht die Möglichkeit, Aufnahmen mit einer geringeren Bodenauflösung grundsätzlich uneingeschränkt zu erhalten und zu nutzen und solche besser als 50 m nach bestimmten Festlegungen. Dieser Tatsache tragen die Rechtsvorschriften in der DDR Rechnung. So ist in der Verordnung vom 21. August 1980 über das Vermessungs- und Kartenwesen /6/ die Verantwortung für die Bereitstellung von kosmischen Aufnahmen festgelegt und in der Ersten Durchführungsbestimmung vom 15. September 1980 /6/ geregelt, daß die Bereitstellung solcher kosmischer Aufnahmen auf Grund von Wirtschaftsverträgen der Nutzer mit dem Stammbetrieb des VEB Kombinat Geodäsie und Kartographie erfolgt.

Für die in der DDR durch die Fernerkundung zu lösenden Aufgaben haben neben den kosmischen Aufnahmen die Luftaufnahmen mit Multispektraltechnik, insbesondere aus hochfliegenden Flugzeugen, eine besondere Bedeutung. Auf der Grundlage staatlicher Festlegungen schafft der in den letzten Jahren neu gebildete Betrieb Bildflug der INTERFLUG schrittweise die Voraussetzungen für die Gewinnung von Daten der Fernerkundung aus Luftfahrzeugen und deren bedarfsgerechte Bereitstellung. Bereits seit 1979 werden Bildflugzeuge mit Luftbildmeßkammern und der MKF-6 eingesetzt und in den folgenden Jahren wird ein umfangreiches Produktionsprogramm der Luftbildbefliegungen mit der Herstellung von Schwarzweiß-, Spektrozonal-, Color- und Multispektralaufnahmen erfüllt. Damit wurden Voraussetzungen für die Übernahme entsprechender Aufgaben im Interesse der Volkswirtschaft geschaffen. Das Antragsverfahren ist in der Anordnung des Ministers für Verkehrswesen vom 06. Oktober 1981 /7/ geregelt.

### 3. Aufgaben zur effektiven Nutzung der Daten der Fernerkundung der Erde bei der Leitung und Planung in der Wissenschaft und in den Volkswirtschaftszweigen

Bei der Herausarbeitung und Lösung der künftigen Aufgaben zur effektiven Nutzung von Daten der Fernerkundung der Erde muß prinzipiell davon ausgegangen werden, daß die ökonomische Strategie der Partei der Arbeiterklasse darauf gerichtet ist, die Effektivität der Volkswirtschaft ständig weiter zu erhöhen und dazu insbesondere die Errungenschaften der wissenschaftlich-technischen Revolution mit den Vorzügen des Sozialismus zu verbinden. Um zu diesem, für die weitere Gestaltung der entwickelten sozialistischen Gesellschaft in der DDR entscheidenden Prozeß einen wirksamen Beitrag durch die Fernerkundung der Erde zu leisten, ist es erforderlich, das Verhältnis von Aufwand und Ergebnis bei der Nutzung der Fernerkundung in den Volkswirtschaftszweigen zielstrebig weiter zu verbessern. Das heißt insbesondere, es müssen solche Lösungen gefunden werden, die es ermöglichen, die zur Verfügung stehenden Daten der Fernerkundung über das aufgenommene Staatsgebiet so in die für die Leitung und Planung in Staat und Wirtschaft vorhandenen Informationssysteme einzubeziehen, daß eine höhere Qualität der Aussagen bzw. eine ökonomisch effektivere Gestaltung der Prozesse eintritt.

Dazu ist in jedem Nutzerbereich, der Informationen über das Staatsgebiet und seine Infrastruktur verarbeitet, die Frage zu beantworten, ob und wie die Informationssysteme durch diese Daten rationalisiert oder ergänzt werden können bzw. ob es möglich ist, bisherige Aufgaben der Datengewinnung und -auswertung mit weniger Aufwand oder mit höheren Aussagen durch Fernerkundungsdaten zu ersetzen. Darauf ist die zweigspezifische Anwendungsforschung auszurichten. Der Weg zur Klärung dieser Problematik beginnt mit einer gründlichen Kenntnisaneignung über den gegenwärtigen Stand der Fernerkundung der Erde, wie er insbesondere aus den vorliegenden vielfältigen Arbeiten der Grundlagenforschung der Akademie der Wissenschaften der DDR ersichtlich ist. Auf dieser Basis ist eine exakte Analyse der vorhandenen zweigspezifischen Informationssysteme mit der dazu aufgebauten Datenerfassung, Datenaufbereitung und Datennutzung durchzuführen, aus der Schlußfolgerungen für eine Qualifizierung des Prozesses durch die Einführung der Daten der Fernerkundung abgeleitet werden können. Das Ziel muß in jedem Fall darin bestehen, mit verbesserten Informationen wirkungsvollere Maßnahmen zu planen und durchzuführen, die aus gesamtgesellschaftlicher Sicht zu einer höheren Effektivität führen. Von gleicher Bedeutung ist die Beantwortung der Frage, ob mit Hilfe von Daten der Fernerkundung der Erde neue Aufgaben gelöst werden können, die bisher nicht zu realisieren waren oder noch gar nicht standen. Auch dafür sind umfassende Kenntnisse über den aktuellen Stand und die künftige Entwicklung der Bereitstellung von Daten der Fernerkundung der Erde und ihre Verarbeitungsmöglichkeiten eine notwendige Voraussetzung.

Für die in jedem Nutzerbereich zu betreibende spezifische Anwendungsforschung ergeben sich unter diesem Gesichtspunkt folgende grundsätzliche Aufgaben:

- Auswertung der Ergebnisse der Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Fernerkundung der Erde und Bestimmung von Forschungsthemen für die Lösung bereichsspezifischer Probleme;
- Analyse der bereichsspezifischen Informationssysteme und Ergründung von Möglichkeiten der Einbeziehung der Daten der Fernerkundung der Erde in diese Systeme;
- Erarbeitung von Methodiken und Technologien für die fachspezifische Interpretation von Daten der Fernerkundung der Erde zur Vervollkommnung des Informationssystems;
- Bestimmung der Anforderungen an die Weiterentwicklung vorhandener oder Anschaffung neuer Technik zur Vervollkommnung der Informationssysteme;
- Qualifizierung der einzusetzenden Fachkräfte
- Organisation einer anforderungsgerechten interdisziplinären Zusammenarbeit mit Bereichen, die gleiche oder ähnliche Informationssysteme nutzen;
- Erarbeitung konzeptioneller Vorstellungen über die Weiterentwicklung der bereichsspezifischen Informationssysteme und Ableitung von Aufgabenstellungen für die Grundlagenforschung zur rechtzeitigen Schaffung des erforderlichen wissenschaftlich-technischen und organisatorischen Vorlaufs zur langfristigen Planung für künftige Zeiträume.

Bei der Lösung dieser Aufgaben in den Nutzerbereichen sind vielseitige, durch die Spezifik der Fernerkundung bestehende Zusammenhänge zu beachten, von denen einige nachfolgend näher betrachtet werden sollen, um die Komplexität der Aufgabenstellung zu verdeutlichen.

1. Von der Grundlagenforschung liegen gegenwärtig die Ergebnisse für die Auswertung und Anwendung multispektraler fotografischer Aufnahmen einschließlich der Grundaussagen über deren Interpretationsmöglichkeiten durch visuelle Methoden unter Nutzung der Farbmischtechnik vor. Für die thematische Interpretation sind zahlreiche Pilotbeispiele bearbeitet worden. Im Bearbeitungs- und teilweise auch im Experimentierstadium befinden sich u.a. Forschungsarbeiten für die Anwendung nicht-fotografischer Fernerkundungssensoren und für die Speicherung, Übertragung und Verarbeitung der damit aufzunehmenden Daten sowie für die digitale Informationsverarbeitung und die automatisierte Interpretation von Fernerkundungsdaten /8/. Mit dem in der DDR neu entwickelten Bildverarbeitungssystem steht künftig ein Gerätekomplex zur digitalen Bildverarbeitung zur Verfügung, der die interaktive Verarbeitung bildhafter Informationen mit hoher Operationsgeschwindigkeit sowie die direkte Visualisierung von Zwischen- und Endergebnissen des Verarbeitungsprozesses farbig und schwarz/weiß auf Bildschirmen ermöglicht. Den umfangreichen Ergebnissen der Forschung und Entwicklung mit Vorlaufcharakter sowie der Konstruktion modernster Aufnahme- und Verarbeitungstechnik, die vielseitige prinzipielle Ansatzpunkte für die Beschleunigung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts in den Nutzerbereichen beinhalten, stehen bisher nur einzelne, noch nicht vollständig erschlossene Anwendungsgebiete gegenüber. Es fehlt in einigen Beispielen vor allem an konkreten Lösungen zur zweigspezifischen Inter-

pretation und Auswertung der Fernerkundungsdaten sowie zur komplexen Einbeziehung der Interpretations- und Auswerteergebnisse in den bestehenden bereichsspezifischen Informationssystemen mit dem Ziel, diese durch neue Aussagen zu qualifizieren und effektiver zu gestalten. Insgesamt gesehen müssen die vorhandenen Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung im notwendigen und möglichen Umfang durch die zweigspezifische Anwendungsforschung zielgerichtet in volkswirtschaftlich nutzenswirksame Maßnahmen, wie z. B. Interpretationsschlüssel, standardisierte Technologien und Interpretationskataloge umgesetzt werden. Dabei sind die Aufgaben, ausgehend von dem Grundsatz, daß die Ökonomie entscheidendes Kriterium für die wissenschaftliche Arbeit ist, festzulegen und in die Pläne Wissenschaft und Technik aufzunehmen. Zahlreiche Vorschläge und Hinweise wurden dazu auf der 1. und 2. Konferenz der AdW und KDT zur Fernerkundung im Oktober 1981 in Karl-Marx-Stadt und April 1982 in Weimar für die praktische Nutzung ausgearbeitet und in Empfehlungen zur Verfügung gestellt.

2. Eine gesamtstaatliche effektive Nutzung der Fernerkundung wird nur erreicht werden können, wenn es gelingt, die sich aus den objektiven Erfordernissen in den Nutzerbereichen ergebenden Aufgabenkomplex zu analysieren und die planmäßig und in enger Kooperation mit ähnlich interessierten Bereichen unter Beachtung der multivalenten Nutzbarkeit der Fernerkundungsdaten einer Lösung zuzuführen. Aus diesen Analysen sind die Forderungen, die an die Fernerkundungsdaten und ihre Auswertungen gestellt werden, klar herauszuarbeiten. Zu ihnen gehören vor allem

- der zweckmäßige Zeitraum für die Erfassung der Daten
- der Zeitpunkt und die Art der Bereitstellung der Daten
- die qualitativen Anforderungen an die Daten
- die notwendige Eichung der Daten durch Bodenmeßkomplexe
- die interpretationsgerechte Aufbereitung der Daten
- die Auswertung zur Gewinnung spezifischer Aussagen aus den Daten
- die Form und Art der Darstellung der Ergebnisse, z. B. in Karten oder digitalen Datenspeichern.

Sie bilden die Grundlage für die Organisation der planmäßigen zentralen Beschaffung, für eine problemorientierte Aufbereitung sowie eine termin- und qualitätsgerechte Bereitstellung. Dabei sind die ständig moderner werdenden technischen Mittel zu beachten, durch die eine fortschreitende Erhöhung der Qualität der Daten, z. B. durch die Verbesserung der geometrischen, radiometrischen, spektralen und zeitlichen Auflösung als Einheit erreicht wird. Schließlich sind Forschungs- und Entwicklungsaufgaben für die Erarbeitung bereichsspezifischer Methodiken und Technologien der Nutzung der Fernerkundungsdaten zu lösen, wofür verschiedene Basistechnologien und Pilotprogramme aus der Grundlagenforschung bereitstehen.

3. Ein kompliziertes und vielschichtiges Problem bei der Einführung der Fernerkundung der Erde ist der Nachweis des ökonomischen Nutzens. Es besteht allgemein kein Zweifel daran, daß aus den Fernerkundungsergebnissen ein beträchtlicher volkswirtschaftlicher Nutzen zu erwarten ist, dessen exakte Quantifizierung jedoch gegenwärtig noch große Schwierigkeiten bereitet. Dabei kann der ökonomische Nutzen im Anwendungsbereich selbst, in Bereichen, für die Informationen oder Erzeugnisse daraus bereitgestellt werden, oder im gesamtgesellschaftlichen Rahmen liegen.

Für den Erhalt von Daten der Fernerkundung aus dem Kosmos bestehen für die DDR durch die brüderliche Zusammenarbeit mit der UdSSR im Rahmen der Interkosmoskooperation und von zweiseitigen Abkommen günstige Bedingungen, die eine breite volkswirtschaftliche Nutzung fördern. In die ökonomischen Betrachtungen müssen demzufolge insbesondere die Aufwendungen für Investitionen, Arbeitsmaterialien und Arbeitskräfte sowie für die von anderen Bereichen in Anspruch zu nehmenden Dienstleistungen einbezogen werden. Den Schwerpunkt bilden die Investitionen, deren Kosten vor allem für automatisierte Auswertetechnik das Aufwand-Nutzen-Verhältnis stark belasten. Dadurch wird die Notwendigkeit zur interdisziplinären Zusammenarbeit und zu gesamtstaatlichen Betrachtungen betont.

Viele Ansätze für die Berechnung der entstehenden ökonomischen Beziehungen und Ergebnisse wurden bereits durchgeführt, jedoch sind diese künftig unter Beachtung der Rechtsvorschriften /9/, /10/, /11/ entschieden konsequenter zu einer einheitlichen, aussagefähigen Bilanz aller Einflußgrößen in den Nutzerbereichen und im volkswirtschaftlichen Rahmen zu führen, um für notwendige grundsätzliche Entscheidungen als Kriterium zu dienen.

Es gilt auch für die Nutzung der Fernerkundungsdaten die Feststellung aus dem Schlußwort des Genossen Günter Mittag auf dem Seminar des ZK der SED mit den Generaldirektoren der Kombinate und den Parteiorganisatoren des ZK /12/, daß die Wahl der Ökonomie als Ausgangspunkt für die wissenschaftlich-technische Arbeit, für den ökonomischen Fortschritt und für den technischen Fortschritt gleichermaßen bedeutsam ist.

- 4 In zunehmendem Maße reifen Probleme für gesamtstaatliche Entscheidungen heran. Dazu gehören die Aufgaben der strafferen Zentralisierung solcher Teilprozesse der Fernerkundung, die für alle oder mehrere Nutzerbereiche durchzuführen sind. Die Vorstellungen darüber reichen von einem durch Vereinbarungen einfach zu organisierenden Zusammenwirken von gemeinsam interessierten Nutzerbereichen bis zu einem sogenannten nationalen System der Fernerkundung.

Zu den zentralisiert durchzuführenden Aufgaben gehören die Beschaffung und Bereitstellung der Fernerkundungsdaten, ihre Aufbereitung zu interpretierbaren Erzeugnissen für die Nutzer und ihre Auswertung nach produktionsmäßig zu bearbeitenden Routinetechnologien sowie Spezialauswertungen an zentralisierter hochwertiger Technik im Auftrage von Nutzern. Umfassend durchdacht werden müssen die Schritte der Zentralisierung weiterer Funktionen, insbesondere für die automatische Bearbeitung digitaler Daten und Daten aus operativen Systemen der Fernerkundung sowie deren Speicherung und kompatiblen Verbindung mit ebenfalls zu speichernden digitalisierten konventionellen Daten in multivalent nutzbaren Datenbanken.

Die dargelegten Zusammenhänge unterstreichen den gesamtstaatlichen Charakter der Probleme und die Notwendigkeit der Abstimmung der konkreten Schritte zur Herbeiführung der erforderlichen Entscheidungen in enger interdisziplinärer Zusammenarbeit der an der Nutzung von Fernerkundungsdaten beteiligten Bereiche in Staat, Wirtschaft und Wissenschaft.

Das hohe Tempo der wissenschaftlich-technischen Entwicklung auf dem Gebiet der Fernerkundung und der Entfaltung ihrer Einsatzmöglichkeiten im volkswirtschaftlichen Rahmen und in einzelnen Bereichen verlangt schnelles Reagieren bei der Aufgabenfindung und effektiven Umsetzung der Ergebnisse ihrer Lösungen. Dabei treten die Möglichkeiten einer zunehmend automatisierten, routinemäßigen Informationsgewinnung und -verarbeitung aus Fernerkundungsdaten immer stärker in den Vordergrund und machen komplexe Lösungen der Datennutzung, bei denen das Verhältnis von Aufwand und Ergebnis auf einen hohen volkswirtschaftlichen Nutzeffekt gerichtet ist, unumgänglich.

### Literatur

- /1/ Honecker, E.: Bericht des Zentralkomitees der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands an den X. Parteitag der SED. Dietz Verlag, Berlin 1981
- /2/ Kautzleben, H.; Marek, K.-H.: Multispektralfotografie der Erdoberfläche beim "Raduga-Experiment". Weltraum und Erde, Band 2, S. 121-129, transpress VEB Verlag für Verkehrswesen Berlin
- /3/ Merkel, J.: Fernerkundung der Erde und Kartenherstellung. Vermessungstechnik, Berlin 30 (1982)
- /4/ Krämer, J.: Bereitstellung von kosmischen Bildern und Erzeugnissen durch den VEB Kombinat Geodäsie und Kartographie. Vermessungstechnik, Berlin 30 (1982) 4, S. 119-124
- /5/ Bekanntmachung vom 29.10.1979 zur Konvention vom 19.05.1978 über die Übergabe und Nutzung von Daten der Fernerkundung der Erde aus dem Weltraum. GBL. II Nr. 1S27-30
- /6/ Werner, E.: Zur Vervollkommnung der sozialistischen Rechtsordnung auf dem Gebiet des Vermessungs- und Kartenwesens. Vermessungstechnik, Berlin 29 (1981) 5, S.145-148
- /7/ Anordnung vom 6. 10.1981 über das Antragsverfahren für Luftaufnahmen. GBL I Nr. 33 S. 381-382
- /8/ Wirth, H.; Schilbach, G.: Beitrag zur automatisierten Aktualisierung thematischer Karten. Vermessungstechnik, Berlin 30 (1982) 4, S. 123-126
- /9/ Verordnung vom 17.12.1981 über das Pflichtenheft für Aufgaben der Forschung und Entwicklung, GBL. I Nr. 1 S. 1-3
- /10/ Anordnung vom 01.02.1982 über die Bildung und Verwendung des Fonds Wissenschaft und Technik und den Einsatz von Staatshaushaltsmitteln zur Lösung wissenschaftlich-technischer Aufgaben in den produzierenden Bereichen der Volkswirtschaft. GBL. Nr. 7 S. 150-154
- /11/ Anordnung vom 05.02.1982 über die Rahmenrichtlinie für die Ermittlung, Planung, Kontrolle und Abrechnung der Effektivität der Maßnahmen des wissenschaftlich-technischen Fortschritts, GBL. I Nr. 8 S. 165-180
- /12/ Mittag, G.: Hoher Leistungszuwachs für die weitere Stärkung unserer Republik. Einheit, Berlin 37 (1982) 5 S. 463-479.



Stand und künftige Gestaltung der Aus- und Weiterbildung zur Geofernerkundung im Hochschulwesen der  
DDR

---

von  
H. Barthel<sup>1)</sup>

Unter den Bedingungen der gegenwärtig komplizierten außenwirtschaftlichen Verhältnisse fordern die auf dem X. Parteitag und dem 3. ZK-Plenum der SED gefaßten Beschlüsse zu einer noch umfassenderen und gezielteren Anwendung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts heraus. Die internationale Entwicklung stellt unsere Volkswirtschaft vor die Aufgabe, in immer stärkerem Maße auch moderne Informationstechnologien mit hohen Rationalisierungseffekten einzuführen bzw. ihre Einführung planmäßig vorzubereiten. Dazu kann ohne Zweifel die an volkswirtschaftlicher Bedeutung gewinnende Geofernerkundung gerechnet werden. Zwar gibt es bei der Anwendung in der gegenwärtigen Phase noch zahlreiche Probleme, von ungelösten naturwissenschaftlich-technischen bis hin zu ökonomischen, doch in dem Maße, wie es uns gelingt, die wissenschaftliche Interpretationsmethodik zu qualifizieren und effektiver für die Volkswirtschaft zu gestalten, in dem Maße wird die Geofernerkundung in weiteren Praxisbereichen Eingang finden.

Ausgehend von dem internationalen Entwicklungstrend, der eine wachsende Praxisrelevanz der Geofernerkundung erkennen läßt, wurden durch das Ministerium für das Hoch- und Fachschulwesen schon frühzeitig Maßnahmen eingeleitet mit dem Ziel, die Geofernerkundung in den Erziehungs-, Aus- und Weiterbildungsprozeß aufzunehmen und parallel dazu die notwendige fachspezifische Forschung zu entwickeln. Eine interdisziplinäre zusammengesetzte Arbeitsgruppe beim MHF erarbeitete zu diesem Zweck in den Jahren 1978/79 eine Wissenschaftskonzeption, die bis 1985 die erforderlichen Aktivitäten festlegt.\*<sup>1)</sup> Diese Konzeption mit ihrem Maßnahmeplan wurde nach breiter Diskussion an den Universitäten und Hochschulen, der AdW der DDR, der AdL der DDR und den entsprechenden Fachministerien vom Minister im Oktober 1980 bestätigt und dient seitdem als verbindliche Arbeitsgrundlage.

### 1. Zum Stand der Aus- und Weiterbildung

Es ist nicht beabsichtigt, an dieser Stelle über alle Aktivitäten zu berichten. Nur die in der gegenwärtigen Entwicklungsphase wichtigsten sollen herausgestellt werden.

#### 1.1. Entwicklungskonzeptionen

Um die in einigen Fachrichtungen schon seit längerer Zeit bestehende erfolgreiche Ausbildung in Photointerpretation bzw. Geofernerkundung entsprechend den neuen Erfordernissen am Ende der 70er Jahre zu aktivieren und andere Fachrichtungen auf die Einführung zu orientieren, machte es sich notwendig, an den Universitäten und einigen ausgewählten Hochschulen Entwicklungskonzeptionen zu erarbeiten. Sie umfassen den Zeitraum bis 1985 und weisen zusätzlich erste prognostische Zielstellungen bis 1990 aus.

\*) "Die Aufgaben des Hochschulwesens in der Erziehung, Aus- und Weiterbildung sowie der Forschung auf dem Gebiet der Geofernerkundung"

<sup>1)</sup> Prof. Dr. sc. Helmuth Barthel, Technische Universität Dresden

Solche Entwicklungskonzeptionen zur Geofernerkundung liegen z. Z. von den Universitäten, der Bergakademie Freiberg, der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar und der Pädagogischen Hochschule Potsdam vor. Sie dienen an diesen Universitäten und Hochschulen als Führungsdokumente und weisen aus, in welchen Fachrichtungen, in welchen Etappen und mit welchen Schwerpunkten die Einführung der Geofernerkundung in die Aus- und Weiterbildung zu erfolgen hat. Diejenige Sektion, die auf dem Gebiet der Geofernerkundung die größten Erfahrungen besitzt, hat dabei koordinierende Funktionen zu erfüllen. An der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock ist das die Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion, an der Martin-Luther-Universität Halle die Sektion Geographie, an der TU Dresden die Sektion Geodäsie und Kartographie und an der Bergakademie Freiberg die Sektion Geowissenschaften. Diese Entwicklung wurde auch durch die Einrichtung von zwei Lehrstühlen, die jeweils mit einem Fachgebiet gekoppelt sind und einer Dozentur unterstützt. Und zwar wurde an der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock der Lehrstuhl Geodäsie und Geofernerkundung, an der Martin-Luther-Universität Halle der Lehrstuhl Thematische Kartographie und Geofernerkundung sowie an der TU Dresden die Dozentur Photointerpretation eingerichtet. Es wird erwartet, daß von diesen Lehrstühlen und der Dozentur in den kommenden Jahren wesentliche Impulse zur Weiterentwicklung der Geofernerkundung in Erziehung, Aus- und Weiterbildung sowie der Forschung ausgehen.

#### 1.2. Rahmenlehrprogramme Geofernerkundung

Eine wesentliche Grundlage für die Einführung der Geofernerkundung in den Aus- und Weiterbildungsprozeß, insbesondere die inhaltliche Gestaltung, stellen die von den Wissenschaftlichen Beiräten beim MHF im letzten Jahr erarbeiteten Rahmenlehrprogramme "Geofernerkundung" für ausgewählte Fachrichtungen dar. Bisher liegen sie von 15 Fachrichtungen aus 8 Grundstudienrichtungen vor, wobei in den Ausbildungsrichtungen Geologie und Geographie die Geofernerkundung bereits voll in die neuen überarbeiteten Studiendokumente integriert wurde. Das Ziel der Ausbildung im Direktstudium besteht darin, die Studenten mit einem Minimum an theoretischen Grundlagenwissen und anwendungsorientierter Interpretationsmethodik auszustatten sowie sie auf perspektivische Entwicklungen aufmerksam zu machen. Sie müssen in den Lehrveranstaltungen von der Bedeutung der Geofernerkundung als Arbeitsmethode zur Primärdatengewinnung überzeugt werden, und sie müssen befähigt werden, sich der Geofernerkundung als Rationalisierungsmittel unter den jeweils bestehenden konkreten Bedingungen zu bedienen. Auf keinen Fall wird eine Verselbständigung der Geofernerkundung in der Aus- und Weiterbildung angestrebt, sondern die methodischen Aspekte der jeweiligen fachspezifischen Nutzung stehen im Vordergrund.

Entsprechend dieser Zielstellung ist die Ausbildung aufgebaut. Die Integration von Lehrabschnitten in bestehende Fachlehrveranstaltungen bildet den Schwerpunkt. In Abhängigkeit vom Ausbildungsziel werden in einigen Fachrichtungen auch selbständige Grundlagenvorlesungen gehalten, wobei neben den physikalisch-mathematischen vor allem die photogrammetrischen und kartographischen Aspekte behandelt werden. Zunehmend werden in einigen Bildungseinrichtungen auch wahlobligatorische und fakultative Lehrveranstaltungen eingeführt.

Es kann eingeschätzt werden, daß eine den gegenwärtigen Kenntnisstand gerecht werdende Ausbildung in den Fachrichtungen Meteorologie, Geologie, Geographie, Forstwirtschaft, Tropische Forstwirtschaft, Meliorationswesen und Kartographie erfolgt. Besonders beispielhaft ist die Ausbildung in der Fachrichtung Meteorologie. Hier ist die Geofernerkundung in 6 Lehrgebiete integriert. Im Lehrgebiet "Erfassung und Übertragung von meteorologischen Daten" wird außerdem eine Spezialvorlesung von 16 Stunden durchgeführt. Darin drückt sich die große praktische Bedeutung der Geofernerkundung in der Meteorologie aus, die schon seit über einem Jahrzehnt routinemäßig Daten der Geofernerkundung für die Wetteranalyse und -prognose nutzt. Andere, nicht genannte Fachrichtungen haben entsprechend den Erfordernissen und Möglichkeiten Lehrabschnitte zur Geofernerkundung eingeführt oder beginnen etappenweise mit der Einführung, so z. B. die Fachrichtungen Pflanzenproduktion, Gärtnerische Produktion, Landschaftsarchitektur.

Die Ausbildung von Spezialisten auf dem Gebiet der Geofernerkundung für die einzelnen Fachrichtungen erfolgt über das Forschungsstudium sowie durch Anfertigung von Qualifizierungsarbeiten oder durch ein Zusatzstudium in der Sowjetunion. Auch planmäßige und außerplanmäßige Aspiranturen bilden eine geeignete Studienform und werden dafür genutzt.

### 1.3. Lehr- und Lernmittel

Für eine erfolgreiche Ausbildung sind vor allem auch Lehr- und Lernmittel erforderlich. Auch dazu wurden im Maßnahmenplan zur Wissenschaftskonzeption konkrete Festlegungen getroffen. Schwerpunktaufgabe in der gegenwärtigen Phase ist die Erarbeitung einer Lehrheftreihe (vgl. Tabelle 1). Sie wurde in enger Zusammenarbeit der Arbeitsgruppe "Geofernerkundung" beim MHF mit der Arbeitsgruppe "Naturwissenschaftliche Grundlagen der Geofernerkundung" am ZIPE konzipiert und besteht aus 16 Textheften von jeweils 50 bis 60 Seiten Umfang sowie einem Heft mit ausgewählten Luft- und Satellitenbildern. Die Bearbeitung erfolgt durch 42 Wissenschaftler aus dem MHF-Bereich, der AdW der DDR und der Praxis. Das erste Lehrheft "Die photogrammetrischen Grundlagen der Geofernerkundung" liegt im Manuskript vor. Es ist beabsichtigt, bis Ende 1983 alle 16 Hefte fertigzustellen. Der vom VEB Hermann Haack in Gotha dazu herausgegebene Bildband wird Anfang 1984 zur Verfügung stehen, so daß dann ein umfassendes Studienmaterial sowohl für das Direktstudium als auch für die Weiterbildung vorliegt. Zu einem späteren Zeitpunkt ist vorgesehen, daraus ein Hochschullehrbuch zu entwickeln. Für die Ausbildung der Geographielehrer steht außerdem bereits seit 1980 das Buch "Einführung in die Kartographie und Luftbildinterpretation" der Studienbücherei Geographie zur Verfügung.

Weiterhin wurde vom Kartier- und Auswertezentrum des VEB Kombinat Geodäsie und Kartographie in enger Zusammenarbeit mit Vertretern aus dem MHF-Bereich eine 75 Luft- und Satellitenbilder umfassende Lehrbildreihe zusammengestellt und an die auszubildenden Universitäten und Hochschulen ausgeliefert. Sie trägt wesentlich dazu bei, besonders die methodischen Aspekte sowohl der optisch-analogen als auch der digitalen Lehrstrecke an konkreten Beispielen überzeugend zu demonstrieren. Sollte die Notwendigkeit bestehen, dann ist beabsichtigt, diese Lehrserie durch eine weitere Folge zu ergänzen. Geplant ist ferner, von einigen Bildbeispielen Übungssätze in einer größeren Stückzahl anzufertigen, um die so außerordentlich wichtige Übungsstrecke in der Lehre effektiver zu gestalten.

In naher Zukunft wird der Ausbildungsprozeß durch zwei weitere wichtige Lehrmittel unterstützt werden, und zwar durch den "Atlas zur Interpretation aerokosmischer Multispektralaufnahmen" und durch das Nachschlagewerk ABC-Kartenkunde. Der Interpretationsatlas wurde gemeinsam von der Akademie der Wissenschaften der UdSSR und der Akademie der Wissenschaften der DDR herausgegeben. Er enthält etwa 80 mehrfarbig gestaltete Tafeln und bildet eine ausgezeichnete Grundlage, die Aus- und Weiterbildung auf der Teilstrecke der Multispektralphotographie wirksam zu unterstützen. Das Nachschlagewerk ABC-Kartenkunde wurde an der Sektion Geodäsie und Kartographie der TU Dresden unter Leitung von Prof. Ogrissek erarbeitet. Er enthält u.a. auch über 130 Stichworte zur Photogrammetrie und Geofernerkundung, die von Dr. Pietschner und Dr. Andreas erarbeitet wurden. Das Buch erscheint im VEB F. A. Verlag Leipzig und wird im I. Quartal 1983 ausgeliefert.

#### 1.4. Weiterbildung von Praxiskadern

Neben der Ausbildung von Direktstudenten steht nahezu gleichrangig die Weiterbildung von Praxiskadern. Es ist vorgesehen, diese Ausbildungsform in den kommenden Jahren auszubauen. Die ersten Weiterbildungsmaßnahmen wurden im September 1981 an der Bergakademie Freiberg mit der Thematik "Fernerkundung in den geologischen Wissenschaften" durchgeführt. An der Martin-Luther-Universität Halle folgte im November 1981 die Veranstaltung "Anwendung der Geofernerkundung in der Geographie" und an der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock läuft noch in diesem Jahr eine stufenweise aufgebaute Anwenderschulung für Kader des Meliorationswesens an. An der Sektion Geodäsie und Kartographie der TU Dresden besteht ein bis 1985 konzipiertes Weiterbildungsprogramm für Praxiskader der Geodäsie und Kartographie mit entsprechenden Lehrabschnitten zur Geofernerkundung. Weitere Aktivitäten an anderen Sektionen befinden sich in Vorbereitung.

Um in Zukunft auf der Weiterbildungsstrecke Doppelarbeit zu vermeiden, ist eine enge Zusammenarbeit mit der Kommission Aus- und Weiterbildung der Kammer der Technik zu pflegen. Der erste Erfahrungsaustausch zum Thema "Ausbildung in Photointerpretation und Fernerkundung" unter Leitung des FA Photointerpretation in der WTG Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie fand am 9. 12. 1981 in Berlin statt. Auf diesem Erfahrungsaustausch wurde eine generelle Übereinstimmung der Nutzeranforderungen mit der Wissenschaftskonzeption des MHF festgestellt. Der Vorschlag, für die Geofernerkundung ein Postgradualstudium einzurichten, bedarf allerdings weiterer klärender Diskussionen. Gegenwärtig lassen sich die Anforderungen der Praxis noch über das System der Weiterbildungslehrgänge realisieren.

#### 2. Zur zukünftigen Gestaltung der Aus- und Weiterbildung

Zunächst muß eingeschätzt werden, daß ein Teil der an den Universitäten und Hochschulen in Geofernerkundung lehrenden Kader selbst noch Lernende sind, die zugleich ein großes Pensum an Verfolgungsforschung zu leisten haben, zumal das Entwicklungstempo auf der Strecke der Geofernerkundung beachtlich angewachsen ist. Die Weiterbildungslehrgänge, die für Kader aus dem MHF-Bereich in der Anfangsphase der Einführung der Geofernerkundung in die Lehre in den Jahren 1979 und 1980 am Methodisch-diagnostischen Zentrum für Fernerkundung des ZIPE durchgeführt wurden, haben wesentlich dazu mit beigetragen, die gestellten Aufgaben im Hochschulwesen erfolgreich in Angriff zu nehmen.

Auch die vielfältigen Unterstützungen in der Lehre durch Referenten sowie die Möglichkeit der Delegation von Mitarbeitern, Forschungsstudenten und Diplomanden für die Lösung von Qualifizierungsarbeiten an das ZIPE waren eine wesentliche Hilfe und sind es auch heute noch. An den Universitäten und Hochschulen befinden wir uns gegenwärtig in einer Entwicklungsphase, wo zunehmend die bislang unzureichende oder gar fehlende Forschung zu dieser Problematik verstärkt Eingang finden muß, denn es besteht nahezu an allen Einrichtungen ein völlig unzureichender Bildungsvorlauf durch die Forschung. Es macht sich deshalb zwingend erforderlich, in den kommenden Jahren an allen in Geofernerkundung auszubildenden Hochschulen entsprechend ihren fachspezifischen Schwerpunktaufgaben in der Aus- und Weiterbildung gezielt in die Fernerkundungsforschung einzusteigen, wobei durchaus fachspezifische Fragestellungen im Vordergrund stehen sollten. In den vorliegenden Entwicklungskonzeptionen der Hochschulen sind dazu noch nicht immer konkrete Vorstellungen ausgewiesen. Hier bedarf es noch verstärkter Anstrengungen, wobei nicht unterschätzt werden soll, daß personelle, materielle und finanzielle Probleme in der gegenwärtigen Phase Grenzen setzen. Das soll natürlich nichts an der Zielstellung ändern, Lehre und Forschung als Einheit auch auf dem Gebiet der Geofernerkundung anzustreben.

Die theoretischen Grundlagen werden gegenwärtig sowohl für die optisch-analoge als auch für die digitale Lehrstrecke ausreichend vermittelt. Doch die praktische, geräte-technische Ausbildung kann vorerst an den Universitäten und Hochschulen nur auf der optisch-analogen Strecke befriedigend erfolgen, obwohl auch hier Grenzen gesetzt sind, da die Auswertelabors mit einer gewissen Ausnahme an der TU Dresden und der Bergakademie Freiberg nur über die Grundausrüstung, die noch das Interpretoskop einschließt, verfügen. Hier gibt es ernsthafte Lücken, die auf die Dauer auch nicht durch Lehrexkursionen zum ZIPE bzw. zu Praxiseinrichtungen ausgeglichen werden können, zumal sowohl die qualitativen Anforderungen an die Ausbildung als auch die Anzahl der in Geofernerkundung auszubildenden Studenten steigen werden. Erinnerung sei in diesem Zusammenhang u.a. an die verstärkte Ausbildung von ausländischen Studierenden, insbesondere aus den Entwicklungsländern, wo die Nutzungsmöglichkeiten der Geofernerkundung in der Volkswirtschaft weit größer sind als gegenwärtig in der DDR mit einem flächendeckenden Kartenwerk im Maßstab 1 : 10 000.

Die Grenzen des Zumutbaren für das ZIPE und die Praxispartner erscheinen hier bereits in naher Zukunft erreicht zu sein. Doch ohne eine entsprechende moderne materiell-technische Laborausrüstung als lehrmethodische Basis kann wohl kaum ein Hochschulkader auf die Anforderungen des Jahres 2 000 optimal in Geofernerkundung vorbereitet werden. Doch auf dieses Ziel müssen wir unsere Ausbildung unbedingt orientieren. Es ist auch kein Geheimnis, daß echte Spitzenleistungen auf dem Gebiet der Geofernerkundung nur mit Hilfe moderner Technik zu erbringen sein werden. Daraus leitet sich die Forderung ab, neueste Auswertetechnik auch in der Ausbildung verstärkt einzusetzen. Doch diese Technik kann nicht mehr an allen auszubildenden Universitäten und Hochschulen gleichermaßen installiert werden, verschlingen doch die dafür erforderlichen Investmittel Millionenbeträge. Damit wird der Zwang zur Konzentration an einer Hochschuleinrichtung unweigerlich vorgegeben. Entsprechend bestehen Vorstellungen, im kommenden Fünfjahrplan etappenweise ein zentrales Aus- und Weiterbildungszentrum im MHF-Bereich aufzubauen, das auch für die Forschung allen Anforderungen gerecht werden kann.

Die gerätetechnische Bestückung soll schwerpunktmäßig auf der Basis der neuentwickelten Zeiss-Technik erfolgen. Auf Grund der engen Bindungen der Geofernerkundung an die Photogrammetrie und Kartographie und unter Berücksichtigung des Profils der TU Dresden erscheint die Sektion Geodäsie und Kartographie für den Aufbau eines solchen Zentrums prädestiniert zu sein, zumal hier auch vom vorhandenen Fachkaderbestand und der bereits installierten photogrammetrischen und kartographischen Technik die besten Voraussetzungen gegeben sind. Unterstützt wird diese TU-Variante ferner durch den in Vorbereitung befindlichen Aufbau einer Forschungslinie mit dem VEB Carl Zeiss JENA, so daß damit auch der Einsatz der neuesten Gerätetechnik abgesichert werden kann, wobei gehofft wird, daß in relativ kurzer Zeit auch die digitale Strecke mit Geräten aus der DDR-Produktion aufgebaut werden kann. Bis dahin macht sich auch weiterhin eine sehr enge Kooperation mit dem ZIPE der AdW der DDR bzw. geeigneten anderen Praxispartnern notwendig.

Die Schaffung eines Aus- und Weiterbildungszentrums mit moderner Technik erscheint unter der gegenwärtigen Sicht unbedingt notwendig, wenn planmäßig und kontinuierlich Ausbildung und Forschung erfolgreich betrieben werden sollen. Wir alle wissen, wie außerordentlich wichtig gerade bei der Interpretationsarbeit das Training ist. Es sei in diesem Zusammenhang auch darauf verwiesen, daß solche Auswertelabors, die mit modernster Technik ausgestattet sind, bereits an zahlreichen Hochschulen des Auslands installiert sind.

### 3. Schlußbemerkungen

Insgesamt können wir einschätzen, daß die Aus- und Weiterbildung auf dem Gebiet der Geofernerkundung an den dafür vorgesehenen Universitäten und Hochschulen gut angegangen ist. Wir haben in den letzten zwei Jahren einen beachtlichen Schritt nach vorn getan, den es entsprechend den gesellschaftlichen Erfordernissen weiter auszubauen gilt.

**Tabelle 1: Lehrheftreihe Geofernerkundung**

Heft-Nr.	Thematik
	<u>Grundlagen der Geofernerkundung</u>
1	Physikalische und mathematische Grundlagen
2	Photogrammetrische Grundlagen
3	Methoden und Geräte zur Gewinnung von Daten der Geofernerkundung
4	Methoden und Geräte der Verarbeitung von Daten der Geofernerkundung
5	Methodik der Analyse und Interpretation
	<u>Anwendung der Geofernerkundung in Wissenschaft und Volkswirtschaft</u>
6	Geologie/Lagerstättenkunde
7	Geomorphologie
8	Meteorologie
9	Ozeanologie
10	Wasserwirtschaft/Limnologie/Hydrologie/Umweltschutz
11	Landwirtschaft/Meliorationswesen
12	Forstwirtschaft
13	Territorialplanung, Landnutzung und Landeskultur

Heft-Nr.	Thematik
14	Stadt-, Dorf- und Landschaftsplanung
15	Topographische und thematische Kartographie in großen und mittleren Maßstäben
16	Das Satellitenbild in der Atlaskartographie
17	Ausgewählte Luft- und Satellitenbilder

Beispiele für eine zweckmäßige Verbindung von  
Forschung und Lehre auf dem Gebiet der FE

von  
U. Bonau<sup>1)</sup>

Eine Hauptforderung der akademischen Ausbildung ist die enge Verbindung von Theorie und Praxis. Wie der Beschluß des Politbüros des ZK der SED vom 18. 03. 1980 sowie die Dokumente der V. Hochschulkonferenz der DDR vom September 1980 verdeutlichen, geht es hierbei nicht etwa nur um organisatorische Beziehungen zwischen Hochschuleinrichtungen und Praxisbetrieben, sondern um vielgestaltige Partnerschaftsbeziehungen zur Lösung wissenschaftlicher Aufgaben für die Praxis und in der Praxis. Dabei ist der Praxisbegriff nicht zu eng zu fassen und beinhaltet neben der Produktionspraxis auch die wissenschaftlichen Einrichtungen bis hin zu den technischen Bereichen (Labors u.ä.) der Hochschulen selbst.

Wesentliche Elemente obiger Forderung sind die forschungsbezogene Lehre und die möglichst breite Einbeziehung der Studenten in die Forschungsaufgaben der Hochschulen. Im folgenden werden einige Erfahrungen und Vorstellungen genannt, wie sie am Lehrstuhl für Geodäsie und Fernerkundung der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock speziell für die Ausbildung in Fernerkundung erarbeitet wurden.

Es erschien zunächst relativ unkompliziert, einen "Grundkurs" zur Fernerkundung zu gestalten und zu realisieren. Grundlagenwissen beanspruchte ein bestimmtes Lehrvolumen, und Informationen über die Anwendung lagen in einer Breite vor, die in der Gesamtheit gar nicht verarbeitet werden konnte. Einfache Übungen zur Informationsgewinnung ergänzten das Programm. Einschätzungen der Studenten sagten aus, daß die Lehrstrecke recht interessant war - und doch schien dabei ein "aber" vorhanden zu sein.

<sup>1)</sup> Prof. Dr. sc. techn. Ulrich Bonau, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock,  
Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion

Bei näherer Betrachtung zeigte sich, daß gerade Studenten landwirtschaftlicher Disziplinen eine enge Beziehung der Lehrinhalte zu praktischen Aufgaben ihres (künftigen) Arbeitsgebietes erwarten, das sicher aus ihrer meist fundierten Kenntnis der Produktionspraxis heraus entspringt. Es wurden zwei Schlußfolgerungen gezogen. Einmal sollte der Anwendungsaspekt in der Vorlesung verdeutlicht werden, zum zweiten sollten die praktischen Übungen inhaltlich realen Praxisaufgaben weitestgehend entsprechen. Das konnte dadurch erreicht werden, daß vorliegende Forschungsberichte für die Lehre aufbereitet wurden und eine Verbindung der Lehrstrecke FE-Luftbildinterpretation zur Lehrstrecke Standortaufnahmen/-beurteilung in Form einer gemeinsamen Übung hergestellt wurde.

Als Hauptaufgabe in der Forschung wird am Lehrstuhl für Geodäsie und Fernerkundung die Problematik der Standorterfassung mittels Luftbild bearbeitet. Hierbei geht es speziell um eine Kartierung und Analyse solcher Teilflächen, die aus unterschiedlichen Gründen Einfluß auf die Bodenbearbeitung oder auf den landwirtschaftlichen Ertrag haben, wobei Vorschläge zur entspr. Behandlung dieser Flächen aus der Analyse abzuleiten sind. Diese Forschungsarbeiten enthalten einen recht hohen Anteil an terrestrischen Untersuchungen. Sie konnten bisher aus Kapazitätsgründen nur unbefriedigend bewältigt werden. Bei den Überlegungen hinsichtlich günstiger Lösungsmöglichkeiten wurde auch der Einsatz von Studenten einbezogen. Besonders erfolgversprechend erschien dabei ein 14tägiger Ausbildungsabschnitt im Fach "Komplexe Standortmelioration", wo eine Meliorationsstudie über eine vorgegebene Fläche angefertigt werden muß. Absprachen mit dem Lehrverantwortlichen führten zu dem Ergebnis, daß mit Unterstützung des Lehrstuhls Geodäsie und Fernerkundung eine Reihe der erforderlichen Standortdaten mit Luftbildunterstützung gewonnen wird. Dafür wurden die für die Studie vorgegebenen Flächen teilweise in die auch für die Forschung ausgewählten Testgebiete gelegt. Wenn auch die bisherigen Resultate noch stark verbesserungsfähig sind, diese Herangehensweise dient einmal der Demonstration zur praktischen Anwendung von Luftbildern, zum zweiten können mit Hilfe der Studenten mehr terrestrische Daten gewonnen werden.

Eine weitere Überlegung geht in die Richtung, mehr eigene Beispiele zur Nutzung der Fernerkundung für die Lehre zu schaffen. Aktuelle Fragen sind und bleiben z. B. die Erfassung vernäßter Teilflächen, Angaben zur Vernässungsdauer, Aussagen hinsichtlich der ertragsbeeinflussenden Wirkung von Flurgehölzern, Untersuchungen über erosionsgefährdete Teilflächen und über Erosionserscheinungen, Überwachung von Schutzgebieten für die Trinkwasserversorgung. Teilfragen aus derartigen Aufgabenstellungen können durchaus mit Studenten bearbeitet werden und sind auch in Arbeit. Hinsichtlich der Verbindung von Forschung und Lehre ist hierbei zu sehen, daß die Ausbildung nicht nur aus Lehrveranstaltungen besteht, sondern auch in Form studentischer Arbeitsgruppen (Zirkel) läuft, und letztlich die Diplomarbeiten ebenfalls ein Bestandteil des Studiums sind. Stimulierend für die Studenten ist, wenn ihre Themen mit einer Forschungseinrichtung oder einem Praxisbetrieb vertraglich gebunden werden können und durch den Vertragspartner mit betreut werden. Die Publizierungen ihrer Ergebnisse in Vorträgen (z. B. zu Studentenkongressen) oder bei Leistungsschauen der Studenten und junge Wissenschaftler hat nicht nur positive Wirkung auf die Bearbeiter, sondern auch auf breite Kreise der Studenten, so daß stets eine große Nachfrage nach einer Tätigkeit im Studentenzirkel besteht und auch das Interesse an den Lehrveranstaltungen gewachsen ist.



Abschließend sei noch der Hinweis gestattet, daß sich die Einbeziehung von Forschungsstudenten in die Lehre ebenfalls bewährt hat. Neben den vorgegebenen Lehrinhalten können dabei Erfahrungen, positive Ergebnisse, aber auch Probleme aus der eigenen Arbeit am Fachgegenstand dargestellt und damit den Studenten ein aktueller und lebendiger Eindruck über einige Untersuchungen auf dem Gebiet der Fernerkundung vermittelt werden.

## 2. NUTZUNG VON FERNERKUNDUNGSDATEN ZUR HERSTELLUNG VON KARTEN

### Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung von Fernerkundungsdaten bei der Kartenherstellung

von  
W. Guske<sup>1)</sup>

#### 1. Problemstellung

Für die Herstellung und Laufendhaltung topographischer Karten wird seit langem die Photogrammetrie genutzt, deren Entwicklung durch die sich daraus ergebenden Anforderungen wesentlich bestimmt wurde. Zur Erfüllung dieser Anforderungen sind schwerpunktmäßig solche Verfahren entwickelt worden, die der meßtechnischen Auswertung von Luftbildern dienen und die notwendige Genauigkeit sichern. Auch die Entwicklung der Gerätetechnik wurde dadurch beeinflusst. Die Technologie zur Einbeziehung der Photogrammetrie in die Kartenherstellung ist ausgereift und bewährt, wobei das Hauptanwendungsgebiet die klein- und großmaßstäbige topographische Kartierung weniger die thematische Kartierung ist.

Durch die Entwicklung der verschiedenen Aufnahme- und Auswerteverfahren der Fernerkundung erhebt sich die Frage, inwieweit Daten der Fernerkundung der Erde (DFE) für die Kartenherstellung geeignet sind, bzw. welche Voraussetzungen sie erfüllen müssen, um kartographisch nutzbar zu sein.

---

<sup>1)</sup> Dr.-Ing. W. Guske, VEB Kombinat Geodäsie und Kartographie, Forschungszentrum, Leipzig

## 2. Nutzung von DFE in der Kartographie

### 2.1. Unterschiede zwischen Photogrammetrie und Fernerkundung

Um die photogrammetrischen Verfahren von den Verfahren der Fernerkundung abgrenzen zu können, werden in diesem Beitrag unter DFE alle nichtphotographischen Aufnahmedaten, alle Aufnahmen aus dem Kosmos und Multispektralaufnahmen verstanden. Im Gegensatz zur Photogrammetrie stehen bei der Entwicklung von Fernerkundungssensoren nicht die geometrischen Probleme im Mittelpunkt, sondern die Erzielung des höchsten Informationsgehaltes, die Operativität der Aufnahme, weitgehende Witterungsunabhängigkeit und andere Aspekte - Forderungen, die sich zum Teil gegenseitig ausschließen. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, ist es in der Regel nicht möglich, das "Meßkammerprinzip" zu realisieren. Beispielsweise treten bei Scanner- und Radaraufnahmen solche Verzerrungen auf, die eine geometrische Korrektur über EDVA erforderlich machen, um überhaupt ein Bild zu erzeugen. Bei kosmischen Aufnahmen gibt es im Vergleich zu Flugzeugaufnahmen darüber hinaus noch spezielle Unterschiede im Aufnahmeobjekt, obwohl es sich jeweils um die Erdoberfläche handelt. Da aber dieser Aufnahmemaßstab zwischen photogrammetrischen Flugzeugaufnahmen und DFE aus dem Kosmos wesentlich verschieden ist, unterscheidet sich auch die Größe der Fläche, die jeweils aufgezeichnet wird. Das hat zur Folge, daß bei meßtechnischer Auswertung kosmischer Aufnahmen der Einfluß der Erdkrümmung unbedingt berücksichtigt werden muß, während in der Photogrammetrie die Erdoberfläche in der überwiegenden Mehrheit der Fälle als Ebene angesehen werden kann /1/.

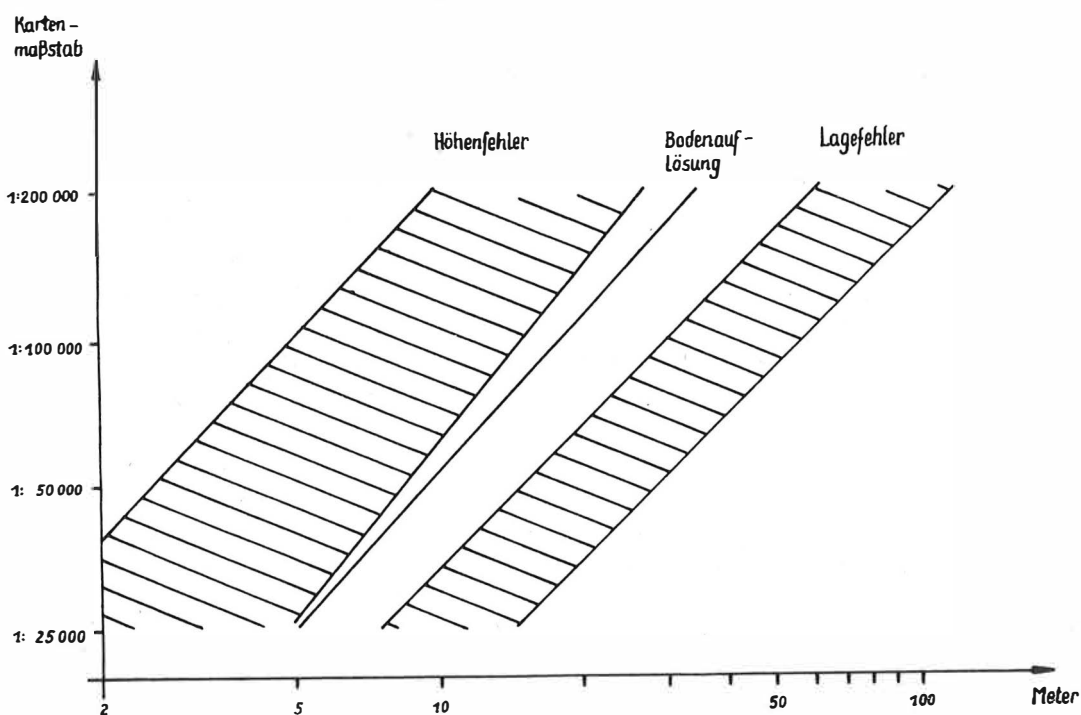


Bild 1: Anforderungen an Lage- und Höhengenaugigkeit

## 2.2. Forderungen aus der Kartographie an DFE

### 2.2.1. Geometrie

Die höchsten Genauigkeitsforderungen werden in der Kartographie bei der Herstellung topographischer Karten gestellt.

In der Abbildung sind die gegenwärtig üblichen Anforderungen an die Lage- und Höhen-genauigkeit dargestellt, wobei für die DDR, wie für fast alle kartographisch gut erschlossenen Länder, die höchsten Forderungen zutreffen.

In der thematischen Kartographie werden in vielen Fällen keine so hohen Genauigkeiten gefordert. Es ist aber zu beachten, daß für die Herstellung guter thematischer Karten in der Regel das Vorhandensein einer topographischen Karte Voraussetzung ist. Weiter ist zu berücksichtigen, daß in Zukunft die automatisierte oder teilautomatisierte Herstellung und Laufendhaltung thematischer Karten angewendet werden wird. Die dazu abzuspeichernden Daten müssen untereinander und zu topographischen Karten paßfähig sein. Deshalb ist es zweckmäßig, die hohen Anforderungen der topographischen Kartographie als Grundlage zu benutzen.

Diesen Forderungen ist die Leistungsfähigkeit von Fernerkundungssensoren gegenüberzustellen, wobei vorrangig kosmische Aufnahmen zugrunde gelegt werden sollen. Hochwertige photographische Aufnahmekameras, wie z. B. die Multispektralkamera MKF-6 des VEB Carl Zeiss JENA, erfüllen die Anforderungen an die Lagegenauigkeit bis zum Maßstab 1 : 100 000 mit hoher Sicherheit. Als Grenzmaßstab kann gegenwärtig und in naher Zukunft der Maßstab 1 : 50 000 angesehen werden. Nicht erreichbar ist bei der bisher eingesetzten Technik die Höhen-genauigkeit. Jedoch erscheint bei einem Einsatz photogrammetrischer Meßkamern und analytischer Stereoauswertung ein mittlerer Höhenfehler von  $\pm 10$  m möglich. Die Höhen-genauigkeit hat in kartographisch gut erschlossenen Gebieten nicht dieselbe Bedeutung wie die Lagegenauigkeit, da Höheninformationen über das Territorium vorhanden sind und im Relief kaum Änderungen auftreten. Bei Erstkartierungen in kartographisch gering erschlossenen Gebieten sind die Anforderungen an die Höhen-genauigkeit i. A. nicht so hoch, so daß mit dem zu erwartenden 10 m-Höhenfehler Karten im Maßstab 1 : 50 000 hergestellt werden können. Mit Scanneraufnahmen aus dem Kosmos sind gegenwärtig hinsichtlich der Lagegenauigkeit die Anforderungen der Karte 1 : 200 000 erfüllbar. Mit den in Entwicklung befindlichen Systemen ist in den nächsten Jahren die Kartenherstellung im Maßstab 1 : 100 000 möglich. Nur in Ausnahmefällen können mit den vorhandenen Scannersystemen Höhenauswertungen durchgeführt werden.

Mikrowellenverfahren erfordern immer noch einen sehr hohen rechentechnischen Aufwand für die Datenaufbereitung. Die Entwicklung auf diesem Gebiet sollte durch den Photogrammeter aufmerksam verfolgt werden, da durch die Wetterunabhängigkeit neue Einsatzgebiete erschlossen werden können.

Im Forschungszentrum des VEB Kombinat Geodäsie und Kartographie sind Untersuchungen von MKF-6-Flugzeugaufnahmen durchgeführt worden. Es konnte nachgewiesen werden, daß Bilder des Maßstabs 1 : 50 000, die mit der MKF-6 aufgenommen wurden, sowohl hinsichtlich ihrer Geometrie als auch ihres Informationsgehaltes für die Herstellung und Laufendhaltung von topographischen Karten 1 : 10 000 geeignet sind.

### 2.2.2. Informationsgehalt

Die Frage des Informationsgehaltes muß für jeden Anwendungsfall gesondert betrachtet werden, da die verschiedenen Nutzer die unterschiedlichsten Informationen aus den Daten entnehmen wollen. Angestrebt werden solche Aufnahmen, die für möglichst viele Bereiche der Volkswirtschaft genutzt werden können. Als ein Maß für den topographisch nutzbaren Informationsgehalt kann die Bodenauflösung herangezogen werden, da eine Reihe von Elementen, die in topographischen Karten dargestellt werden, durch eine kleine Fläche repräsentiert sind, deren Dechiffrierbarkeit wesentlich durch die Bodenauflösung bestimmt wird.

In der Abbildung ist die für die verschiedenen Kartenmaßstäbe erforderliche Bodenauflösung dargestellt. Für MKF-6-Bilder aus dem Kosmos kann die gleiche Feststellung getroffen werden, wie bei der Geometrie. Sie sind bis zu Kartenmaßstäben 1 : 100 000 einsetzbar und stoßen bis in die Bereiche der Karte 1 : 50 000 vor. Diese allgemeine Feststellung ist nicht schematisch auf alle Kartenarten übertragbar. Spezielle Untersuchungen haben ergeben, daß kosmische MKF-6-Aufnahmen die hohen inhaltlichen Anforderungen der topographischen Karten in der DDR nicht in vollem Umfang erfüllen können. Es erscheint daher durchaus sinnvoll, sie für eine topographische Erstkartierung einzusetzen. Darüber hinaus können sie für die meisten thematischen Karten dieser Maßstäbe verwendet werden - die Zuordnung des thematischen Inhalts zu den wichtigsten topographischen Elementen ist in jedem Fall gesichert.

Leitet man aus den gegenwärtig erreichbaren Pixelgrößen multispektraler Scanner das photographische Auflösungsvermögen ab, so kann geschlußfolgert werden, daß diese Daten für die Herstellung von Karten im Maßstab 1 : 200 000, mit Einschränkungen bis 1 : 100 000 einsetzbar sind.

### 3. Schlußfolgerungen

Obwohl DFE vorzugsweise für die Interpretation hergestellt werden, können sie auch meßtechnisch weiterverarbeitet werden, wobei der Aufwand gegenüber photogrammetrischen Aufnahmen in der Regel bedeutend größer ist. DFE können für die Herstellung topographischer Karten in kartographisch gering erschlossenen Gebieten eingesetzt werden. Ein besonderer Vorteil entsteht dann, wenn neben der topographischen Kartierung eine Ressourcen erkundung, verbunden mit der Herstellung thematischer Karten, vorgesehen ist. In der DDR können multispektrale Flugzeugaufnahmen für die Laufendhaltung der Topographischen Karte 1 : 10 000 eingesetzt werden, wenn solche Aufnahmen für Ressourcenuntersuchungen oder andere Zwecke angefertigt werden. Eine spezielle Herstellung für die Laufendhaltung kann gegenwärtig aus ökonomischen Gründen nicht vertreten werden.

Hervorragende Bedeutung haben DFE für die thematische Kartographie:

- sie besitzen einen sehr hohen Informationsgehalt
- speziell Multispektralaufnahmen haben sehr gute Voraussetzungen für die schrittweise Automatisierung der Dechiffrierung
- es ist eine solche geometrische Aufbereitung möglich, daß die Paßfähigkeit zu topographischen Karten und damit auch zwischen topographischem und thematischem Inhalt gewährleistet werden kann.

Es ist erforderlich, für die Ableitung thematischer Karten aus DFE solche Verfahren und Technologien zu entwickeln, die eine enge Zusammenarbeit zwischen Photogrammetern, Kartographen und Spezialisten der jeweiligen Fachgebiete sichern. Für die Zukunft sollten die Entwicklungstendenzen insbesondere auf den Gebieten der digitalen Bildverarbeitung und der nichtphotographischen Aufnahmeverfahren auch durch den Photogrammeter aufmerksam verfolgt werden, da eine wechselseitige Beeinflussung zwischen Photogrammetrie und Fernerkundung mit Sicherheit zu erwarten ist.

#### 4. Literatur

- /1/ Proß, E.: Verzerrungen in kosmischen photographischen Bildern und Möglichkeiten ihrer Beseitigung. ZIPE-Veröff. Nr. 76., Potsdam 1983 (S. 85-88)

### Beitrag zur automatisierten Aktualisierung thematischer Karten

---

von

H. Wirth, G. Schilbach<sup>1)</sup>

Für das Territorium der DDR, stellvertretend für andere Territorien ähnlichen Entwicklungsstandes und ähnlicher Größe, liegt bereits eine Vielzahl thematischer Karten vor /1/. Bei der Ausarbeitung dieser Karten mußten vielfach Erfahrungswerte, Meßwerte, Ergebnisse statistischer Erhebungen und Zählungen z. T. aus unterschiedlichen Epochen verwendet werden. Bereits die Beschaffung aktueller Daten für Territorien dieser Größe ist mit bodengebundenen Methoden außerordentlich zeit- und kostenaufwendig. Damit sind den auf dieser Basis erstellten Karten a priori in gewissen Bereichen Unzulänglichkeiten bezüglich der Aktualität inhärent, die eine Minderung der breiten Nutzungsmöglichkeiten dieser Informationen bewirken. Sehr deutlich wird das am Beispiel der Karte der Flächennutzung im gegebenen Territorium und besonders dann, wenn detailliertere Angaben als die Hauptnutzungsarten Wald, landwirtschaftliche Nutzfläche, Siedlungsgebiete, Üdland und Wasserflächen exakt ausgewiesen werden sollen /2, 3, 4/.

Die nach dem Multikonzept der Fernerkundung gewonnenen Daten haben die Eigenschaft, daß sie "quasi kontinuierlich" über ein Territorium der genannten Größe zu einem einheitlichen Zeitpunkt gewonnen werden können. Die aus diesen Daten abgeleiteten Informationen sind somit genau dem Aufnahmezeitpunkt der Daten zuzuordnen. Wenn es gelingt, aus diesen Daten die gewünschten Informationen bzw. Veränderungen in die vorhandenen zu bestimmten Epochen automatisch einzuarbeiten, erscheint eine automatisierte Laufendhaltung bestimmter thematischer Karten möglich /5, 6, 7/. Voraussetzung dafür ist jedoch, daß mit Hilfe der digitalen Rechentechnik gezielt bestimmte Informationen aus vorhandenen Karten entnommen, mit Hilfe dieser Technik modifiziert und aktualisiert wieder in die Karte eingefügt werden können. Anliegen dieses Beitrags ist es, eine der Möglichkeiten zur Extraktion gezielter Informationen aus Karten zu erläutern.

Dr. rer. nat. H. Wirth, Dipl.-Math. G. Schilbach, Zentralinstitut für Physik der Erde Potsdam

## 1. Zur Methodik der Gewinnung gezielter Karteninformationen

In thematischen Karten sind die Informationen verschlüsselt mit Hilfe von Farben und Signaturen in analoger Form dargestellt. Es kann davon ausgegangen werden, daß

1. visuell auswertbare, aktuelle thematische Karten auch zukünftig ein volkswirtschaftliches Bedürfnis sein werden,
2. das Bedürfnis um so größer sein wird, je aktueller diese Karten sind
3. eine EDV-gerechte Erfassung aller bereits vorliegenden Karten mit der herkömmlichen Datenerfassung unökonomisch ist,
4. eine Neuerstellung der thematischen Karten in EDV-gerechter Form ohne Nutzung der bereits erarbeiteten Karten ein volkswirtschaftlicher Verlust gespeicherten Wissens wäre.

Die Gewinnung und Verarbeitung gezielter Karteninformationen stellt zu einem wesentlichen Teil ein Erkennungsproblem und eine Dekodierungsaufgabe der thematischen Karten dar. Die zur Aktualisierung des Karteninhalts zu verwendenden Fernerkundungsdaten liegen als Bilddatenmatrix in der Form vor:

$$B = (b_{ijl}); \quad i = 1, n; \quad j = 1, m; \quad l = 1, h.$$

Für die Analyse dieser Daten nach dem Vektorkonzept wird der h-dimensionale Merkmalsvektor  $g_{ij} = (b_{ij1}, \dots, b_{ijh})$  herangezogen. Dabei ist h im allgemeinen, aber nicht notwendigerweise identisch mit der Anzahl der multispektralen Aufnahmekanäle. In zunehmendem Maße wird der multispektrale Merkmalsvektor durch lokale Merkmale, z. B. Texturmerkmale, erweitert. Durch Digitalisierung der in der Karte vorliegenden Farb- und Helligkeitsverteilungen gewinnt man eine Kartenmatrix  $K = (k_{ijl})$ , die formal die gleiche Struktur wie B besitzt. Bildet man zu den  $g_{ij}$  analoge Merkmalsvektoren  $f_{ij} = (k_{ij1}, \dots, k_{ijp})$  für die digitalen Kartenelemente, so können die aus der Mustererkennung und Fernerkundung bekannten Verfahren der Segmentierung und Klassifizierung direkt angewendet werden /8, 9, 11, 12/.

Weiterhin ergeben sich folgende Arbeitsschritte:

- a) Auswahl der Musterobjekte nach der Kartenlegende (sofern vorhanden)
- b) Prüfung der Separierbarkeit der Musterobjekte
- c) Erstellen des Klassifikators
- d) Durchführung der Klassifizierung aller Kartenelemente
- e) Darstellung und Bewertung des Klassifizierungsergebnisses.

BILD:2 ALTENB. R.F.

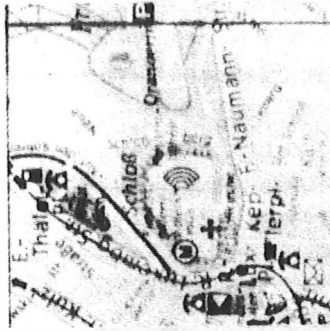


BILD:4 ALTENB. G.F.



BILD:1 ALTENB. O.F.

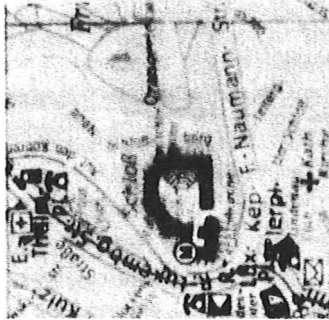


BILD:3 ALTENB. B.F.



Bild 1: Stadtplan Altenburg, Planquadrat F 9. Visualisierung des Digitalisierungsergebnisses ohne Verwendung von Farblichtfiltern

Bild 2: Wie Bild 1 unter Verwendung eines Rotfilters

Bild 3: Wie Bild 1 unter Verwendung eines Blaufilters

Bild 4: Wie Bild 1 unter Verwendung eines Grünfilters

## 2. Beispiel der Bearbeitung eines Kartenausschnitts

Nach dem dargelegten Konzept wurde als ein Beispiel das Planquadrat F 9 des Stadtplanes Altenburg (1976) im Maßstab 1:12 500 bearbeitet. Die Digitalisierung erfolgte mit Hilfe eines Trommelscanners (P 1700) bei Auflicht im quadratischen Raster von 100  $\mu\text{m}$ . Der Ausschnitt wurde sequentiell unter den Bedingungen

1. ohne Filter (O. F.)
2. mit Rotfilter (R. F.)
3. mit Blaufilter (B. F.)
4. mit Grünfilter (G. F.)

digitalisiert, so daß für die weitere Bearbeitung eine Kartendatenmatrix  $K$  mit  $n=400$ ,  $m=400$  und  $p=4$  sowie entsprechende vierdimensionale Merkmalsvektoren zur Verfügung standen. Die Datenmenge bestand also aus insgesamt  $64 \cdot 10^4$  natürlichen Zahlen. Die Bilder 1 bis 4 veranschaulichen  $K$  jeweils  $l=1, \dots, 4$  wobei größeren natürlichen Zahlen im Bereich  $(0, 255)$  größere Schwärzungen entsprechen. Am auffälligsten wird der Unterschied in den gemessenen  $K_{ij}$  bei festem  $l$  aus den Bildern 3 und 4 (B.F. und G.F.) ersichtlich.

In dem vorliegenden Kartenblatt sind die Informationen im wesentlichen durch Farben mit eingestreuten Schraffierungen kodiert.

Für die Analyse wurden folgende 10 Musterklassen ausgewählt:

1. Blau - Pfeil in der Wilhelm-Pieck-Straße
2. Gelb - Rosa-Luxemburg-Straße
3. Blau, gepunktet - Paur. Teich
4. Blau auf gelbem Untergrund - Pfeil der Rosa-Luxemburg-Straße
5. Schwarz - Tankstellensymbol
6. Rosa - Wohnbebauung
7. Grau - Bausymbol bei der Orangerie
8. Grün - Park des Friedens
9. Rot- Schloß
10. Weiß - Keplerplatz

Die Beurteilung der Separierbarkeit erfolgte im vorliegenden Fall durch den statistischen Vergleich der für jede Musterklasse in jedem Band erstellten Grauwertistogramme, d. h. der Häufigkeit des Vorkommens der Grauwerte 0 bis 255 im jeweiligen Band der digitalisierten Karte. Die Histogramme zeigen eine näherungsweise Normalverteilung. Bereits visuell können für die verschiedenen Musterklassen Unterschiede im Mittelwert und der Streuung festgestellt werden. Diese Histogramme lassen erkennen, daß die farblichen Klassenbreiten in der Größenordnung von 10 Einheiten liegen. Bei derartig scharf begrenzten Komponenten des Merkmalsvektors bietet sich eine Erstanalyse der Daten durch ein einfaches Verfahren, wie das der Parallelepiped-Klassifizierung an. Dabei werden, ausgehend von den Histogrammen der Musterobjekte, die für diese charakteristischen Wertebereiche in den einzelnen Bändern festgelegt. Die Klasse A wird beispielsweise definiert durch die Angabe der Werteintervalle  $I_1^A, \dots, I_p^A$ , im vorliegenden Fall durch  $I_1^A$  bis  $I_4^A$ . Ein Kartenelement  $(k_{ij})$  wird der Klasse A zugeordnet, wenn die Prüfung des zugehörigen Merkmalsvektors  $f_{ij}$  ergibt, daß  $k_{ijl} \in I_p^A$  gilt, wenn also alle Komponenten des Merkmalsvektors in die entsprechenden zur Klasse A gehörenden Intervalle fallen. Diese Parallelepipede liefern die besten Resultate der Klassifizierung, wenn sie disjunkte Bereiche des 1-dimensionalen Merkmalsraumes umfassen. Deshalb wurden nichtdisjunkte Bereiche der Klassen im Merkmalsraum der Rückweisungsklasse zugeordnet. Die Resultate der Bearbeitung der genannten Daten nach dem Parallelepiped-Verfahren zeigen die Bilder 5 und 6. Im Bild 5 ist das direkte Bearbeitungsergebnis visuell dargestellt, dabei entspricht der Grauwert Null (weiß) der Rückweisungsklasse. Die Klassen 1 bis 10 sind durch stufenweise steigende Schwärzungen kodiert. Das Bild 6 veranschaulicht eine Tiefpaßfilterung (Medianfilterung) des direkten Resultats. Dadurch werden offensichtlich gewisse Stör- und Schmutzeffekte bei der Digitalisierung und Kanteneffekte gemindert sowie "Herausfaller" in flächigen Objekten unterdrückt. Diese Medianfilterung entspricht einer gewissen Glättung des Karteninhalts. Die bei der Behandlung mit dem Parallelepiped-Verfahren zurückgewiesenen, nicht klassifizierten Kartenelemente wurden in einem zweiten Schritt mit Hilfe eines Maximum-Likelihood-Verfahren /10/ bezüglich ihrer Klassenzugehörigkeit analysiert. Das Ergebnis der aufeinanderfolgenden Datenanalyse nach dem Parallelepiped- und dem Maximum-Likelihood-Verfahren ist in Bild 7 dargestellt. Die den aufgeführten 10 Klassen entsprechenden Kartenbereiche sind nach 10 steigenden Grauwertstufen kodiert.



Bild 5:  
Visualisierung des Klassifizierungsergebnisses mit dem Parallelepiped-Verfahren

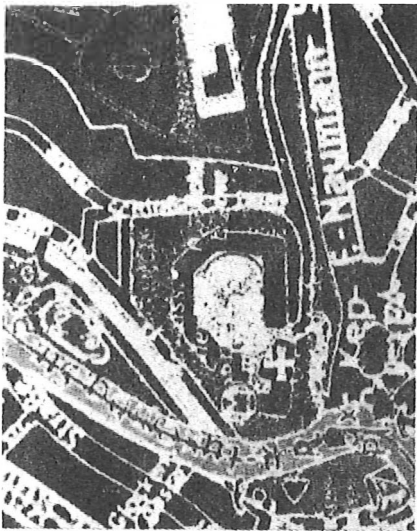


Bild 6:  
Ergebnis der Medianfilterung vor Bild 5

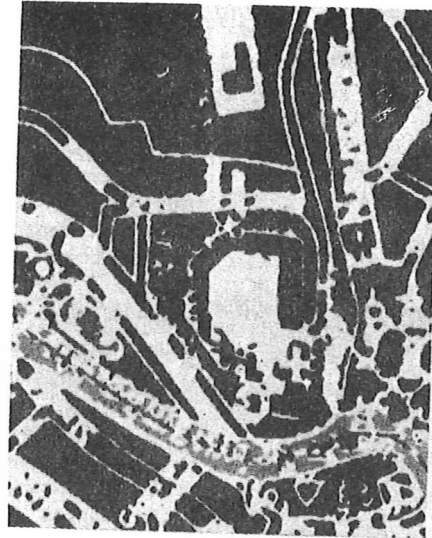


Bild 7:  
Visualisierung des Ergebnisses der aufeinanderfolgenden Klassifizierungen nach dem Parallelepiped- und dem Maximum-Likelihood-Verfahren

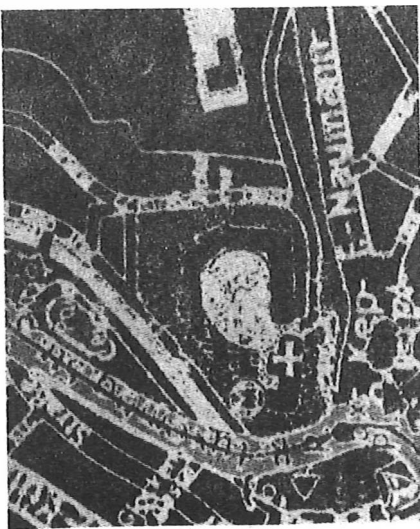


Bild 8  
Klasse Nr. 8 (Grün)  
Wald, Park



Bemerkenswert und optimistisch für praktische Anwendungen erscheint die Tatsache, daß das einfache, sehr zeitökonomische Verfahren der Parallelepiped-Klassifizierung in diesem Beispiel über 99 % Klassifizierungsgenauigkeit erbringt. Durch das sehr aufwendige Maximum-Likelihood-Verfahren werden offensichtlich nur noch wenige Kartenelemente den entsprechenden Klassen zugeordnet, wie aus dem Vergleich der Bilder 5 und 7 ersichtlich ist. Insgesamt wird jedoch durch das auf die Parallelepiped-Klassifizierung

folgende Maximum-Likelihood-Verfahren eine Verbesserung des Klassifizierungsergebnisses erreicht.

In den Bildern 8 bis 13 sind die Resultate der automatischen Segmentierung des Karteninhalts für einzelne Klassen aus Bild 7, rechnerisch um den Faktor 2 vergrößert, dargestellt. Diese einzeln ansprechbaren Karteninhalte können weiterhin getrennt mit numerischen Verfahren, insbesondere mittels interaktiver Displayeinheiten, bearbeitet, mit anderen Daten verglichen und so aktualisiert werden.

Bild 9:

Klasse Nr. 9 (Rot)

Schloß, öffentliche Gebäude

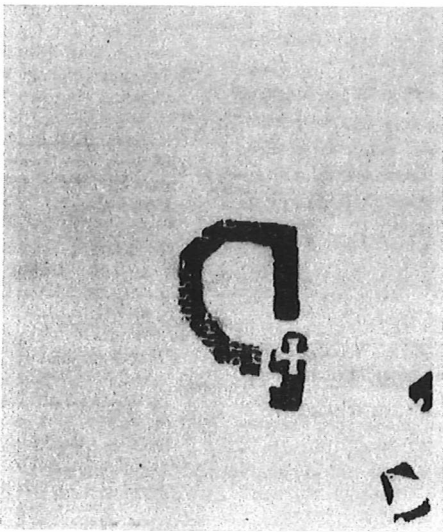


Bild 10

Klasse Nr. 2 (Gelb)

Fernverkehrsstraße

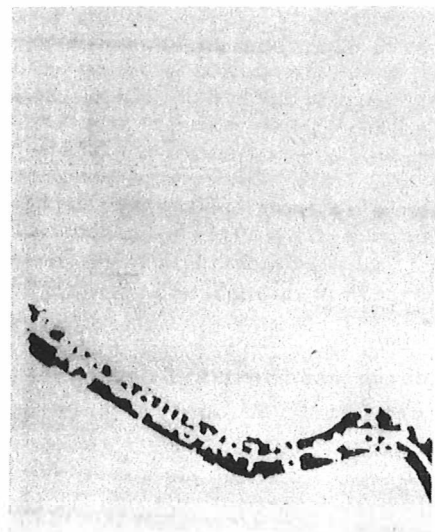


Bild 11:

Klasse Nr. 7 (Grau)

Baumsymbol, Parkwege, Böschung

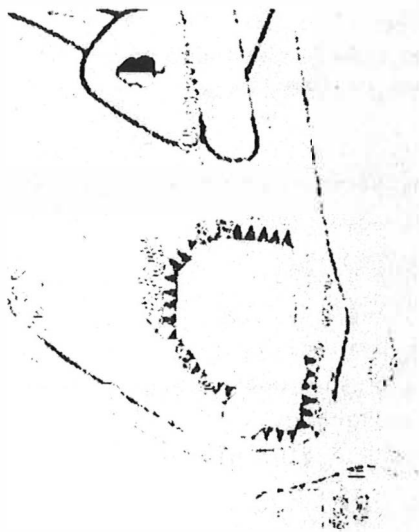


Bild 12:

Klasse Nr. 10 (Weiß)

Straßen, Plätze



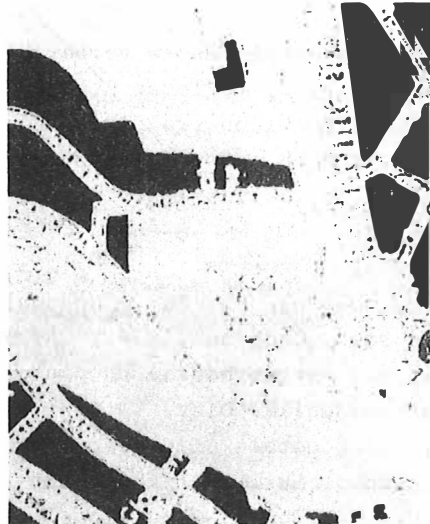


Bild 13:  
Klasse Nr. 6 (Rosa)  
Wohnbebauung, bebaute Flächen

### 3. Diskussion und Bewertung der Ergebnisse

Die vorgestellten Verfahren der numerischen Analyse kartographischen Materials sind versuchsweise auch z. B. auf die Autokarte der DDR im Maßstab 1 : 600 000 und die Bezirkskarte im Maßstab 1 : 200 000 angewendet worden. Die Bearbeitungsergebnisse sind qualitativ mit den hier vorgestellten vergleichbar. Verallgemeinernd kann deshalb festgestellt werden, daß die erläuterten Verfahren geeignet erscheinen, um bestimmte Karteninhalte automatisch zu erfassen und zu bearbeiten.

Wie aus den Bildern 8 bis 13 zu erkennen ist, bereitet die Identifizierung flächenhafter Objekte keine Schwierigkeiten. Probleme treten auf, wenn Linienzüge und Schriftzeichen zu erfassen sind und wenn vereinzelt auftretende Signaturen erst die eindeutige Klassenzuordnung gestatten. Die durch die Digitalisierung bedingten Unschärfen am Rande der Objekte können durch die Wahl eines entsprechend kleinen Rasters auf ein nicht störendes Maß herabgesetzt werden. Eine Steigerung der Empfindlichkeit der dargestellten Segmentierung im Hinblick auf die Verarbeitung einer wesentlich größeren Anzahl unterschiedlicher kartographischer Objekte kann erreicht werden, wenn die bei der Digitalisierung eingeschalteten Farblichtfilter auf die bei der Herstellung des betreffenden kartographischen Erzeugnisses verwendeten Grundfarben abgestimmt werden können.

#### Literatur

- /1/ Atlas der DDR, Herausgegeben von der Akademie der Wissenschaften der DDR in Zusammenarbeit mit dem VEB Hermann Haack, Gotha/Leipzig. 1. Aufl. 1976
- /2/ Auswertung von Satellitenaufnahmen zur Gewinnung von Flächennutzungsdaten. Schriftenreihe "Raumordnung" Nr. 06.039, Bonn 1979
- /3/ Barsch, H.; Wirth, H.: Ergebnisse der Fernerkundung von Flächennutzungsstrukturen in der DDR im Rahmen des Experiments "Raduga". Z. f. Erdkundeunterricht Berlin 33 (1981) 4, S. 149-156
- /4/ Baumgart, J.; Quiel, F.: Einfluß verschiedener Klassifizierungsparameter auf die Landnutzungskartierung mit LANDSAT-Daten. Bildmess. u. Luftbildwesen, Karlsruhe 49 (1981) 2, S. 29-41.
- /5/ Billingsley, F. C.: Digital image processing for information extraction. Internat. Man.-Machine Studies (1973) 5, S. 203 -214.

- /6/ Cartographie spatiale de la terre. Cours de technologie spatiale, Centre National d'Etudes Spatiales, Toulouse 5.-19. Juni 1979
- /7/ Ekenobi, Sl.: Multispectral image classification in remote sensing: The class-boundaries approach. XIV. ISP-Kongreß, Hamburg 1980.
- /8/ Hengelhaupt, U.; Bacinski, E.; Krönert, R.; Schubert, L.: Automatische Flächennutzungsstrukturen aus MKF-6-Phots. Themenkreis III. Geographenkongreß der DDR, Leipzig 1981.
- /9/ Kugler, H.; Jänkel, R.: Zur geographischen Interpretation der Multispektralaufnahme "Süßer See". Geograph. Ber., Berlin (1978) 2, S. 99-111
- /10/ Schwenk, W.: Kartentheorie und Automationstechnik als gemeinsame Grundlage digitaler Kartenmodelle. Diss. TU Berlin (West) 1979.
- /11/ Seidel, K.: Digitale Bildverarbeitung. Photograph. Inst. Eidgenöss. Tech. Hochsch. Zürich, Techn. Ber., Zürich 1976.
- /12/ Wirth, H.; Schilbach, G.; Weichelt, H.: Rechnergestützte Analyse von MKF-6-Aufnahmen durch überwachte Klassifizierung. Vermessungstechnik, Berlin 28 (1980) 6 S. 194-197

Die Verwendung von MKF-6 Flugzeugaufnahmen mit dem  
Bildmaßstab 1:20 000 für die Herstellung von groß-  
maßstäbigen Karten

---

von

E. Illhardt, J. Krämer, W. Sporbert<sup>1)</sup>  
und H.-G. Kern<sup>2)</sup>

Den Photogrammetern in der Forschung und Praxis der DDR stand in den letzten Jahren ein umfangreiches Material an photographischen Multispektralaufnahmen der Multispektralfotokamera MKF-6, aus dem Kosmos und von Flugzeugen aufgenommen, zur Verfügung /3/. Die anforderungsgerechte Aufbereitung dieser Materialien für die verschiedensten Nutzer von Daten der Fernerkundung führte zwangsläufig zur Entwicklung erster Technologien der Satellitenphotogrammetrie und zu den Aspekten der wissenschaftlichen Untersuchungen dieser aerokosmischen Aufnahmen hinsichtlich ihres Informationsgehaltes aus topographischer Sicht und deren metrischer Genauigkeit. Bei der Problematik einer ökonomischen Nutzung von MKF-6-Flugzeugaufnahmen stoßen wir immer wieder auf die Forderung der Mehrfachnutzung der Aufnahmen. Dieser Aspekt wurde im Ergebnis von wissenschaftlichen Untersuchungen durch den VEB Kombinat Geodäsie und Kartographie im Hinblick auf die Verwendung von MKF-6-Flugzeugaufnahmen im Bildmaßstab 1 : 50 000 für die Laufendhaltung topographischer Karten im Maßstab 1 : 10 000 besonders deutlich /2/.

1) Dipl.-Ing. E. Illhardt, Dipl.-Ing. Joachim Krämer u. Dipl.-Ing. W. Sporbert,

2) Kartier- und Auswertezentrum Leipzig

Dr.-Ing. H.-G. Kern, Forschungszentrum Leipzig des Kombinat Geodäsie u. Kartographie

In Verbindung mit einem Flugzeugexperiment für einen anderen Wissenschaftszweig konnten wir untersuchen, ob bei Mehrfachnutzung die Verwendung von MKF-6-Aufnahmen mit dem Bildmaßstab 1:20 000 für die Herstellung von Kartengrundlagen im Maßstab 1:2 000 photogrammetrisch experimentell möglich ist.

### 1. Grundlagen

Für die Testung standen MKF-6-Originalaufnahmen der Kanäle 1 bis 6 zur Verfügung. Von dem vorhandenen Bildmaterial wurden 4 Folgeaufnahmen des Kanals 4 verwendet, da der Kanal 4 nach den bisherigen Erkenntnissen für die Unterscheidung topographischer Objekte die besten Ergebnisse liefert. Zur Erfassung und Abgrenzung der jeweilig zu interpretierenden topographischen Objektgruppen ist es erforderlich, den Spektralbereich (Kanal) der MKF-6 auszuwählen, in dem maximale photographische Schwärzungsdifferenzen - die den relativen Remissionswerten der Aufnahmeobjekte in diesem Wellenlängenbereich entsprechen - zwischen den zu interpretierenden Objektgruppen auftreten. Da jedoch die Remission der verschiedenen Objekte von den Jahreszeiten, vom Sonnenstand, vom Wassergehalt und anderen Faktoren abhängig ist /1/, soll für die nachfolgende Betrachtung die verallgemeinerte Darstellung der spektralen Remission einiger ausgewählter Objektoberflächen nach V. Ja. Michailov (Bild 1) Verwendung finden /4/. Im Bild 1 ist zu erkennen, daß durch den Kanal 4 (640...680 nm) z. B. zwischen Kalkstein, Sand und der Vegetation (Laubwald, saftige Wiese, trockene Wiese, Nadelwald) die Remissionsunterschiede zwischen toter Materie und Vegetation maximal erfaßt werden. Andererseits kann man erkennen, daß sich Laubwald, Nadelwald und Wasserflächen am besten in photographischen Aufnahmen des Kanals 6 (790...890 nm) unterscheiden lassen.

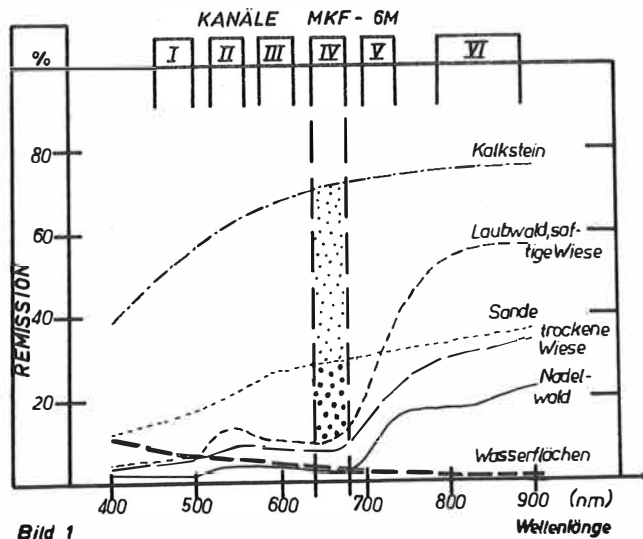


Bild 1

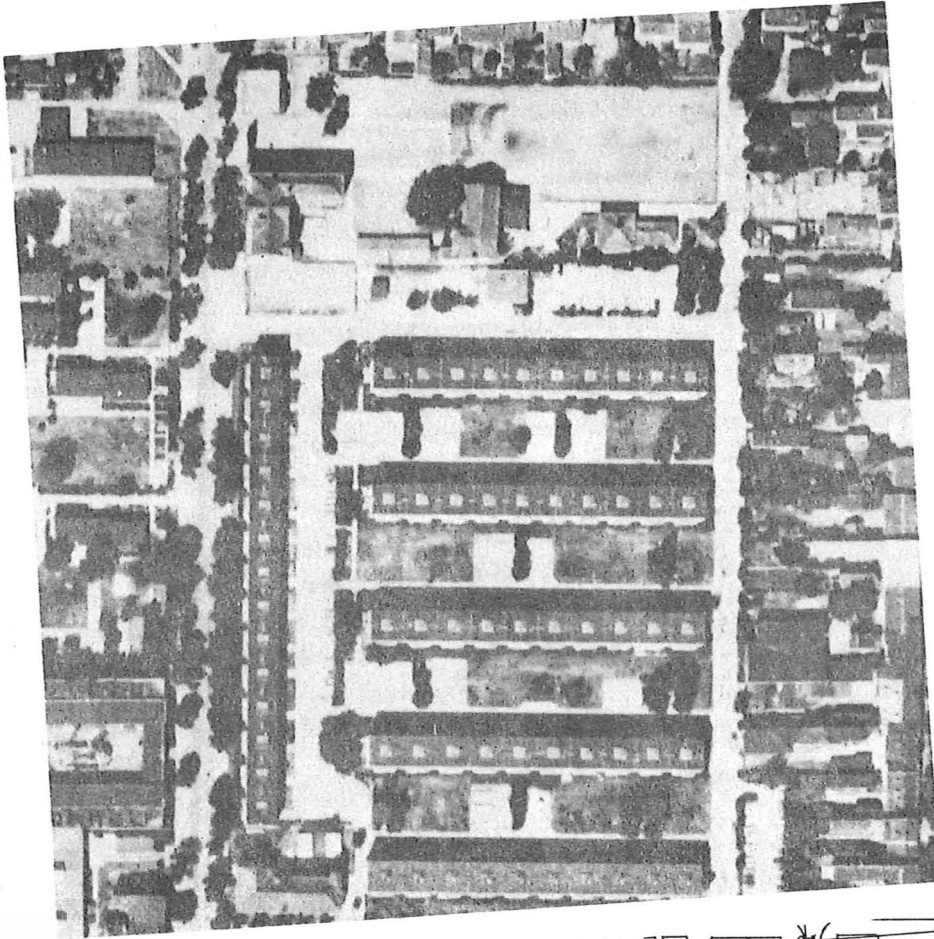


Bild 2

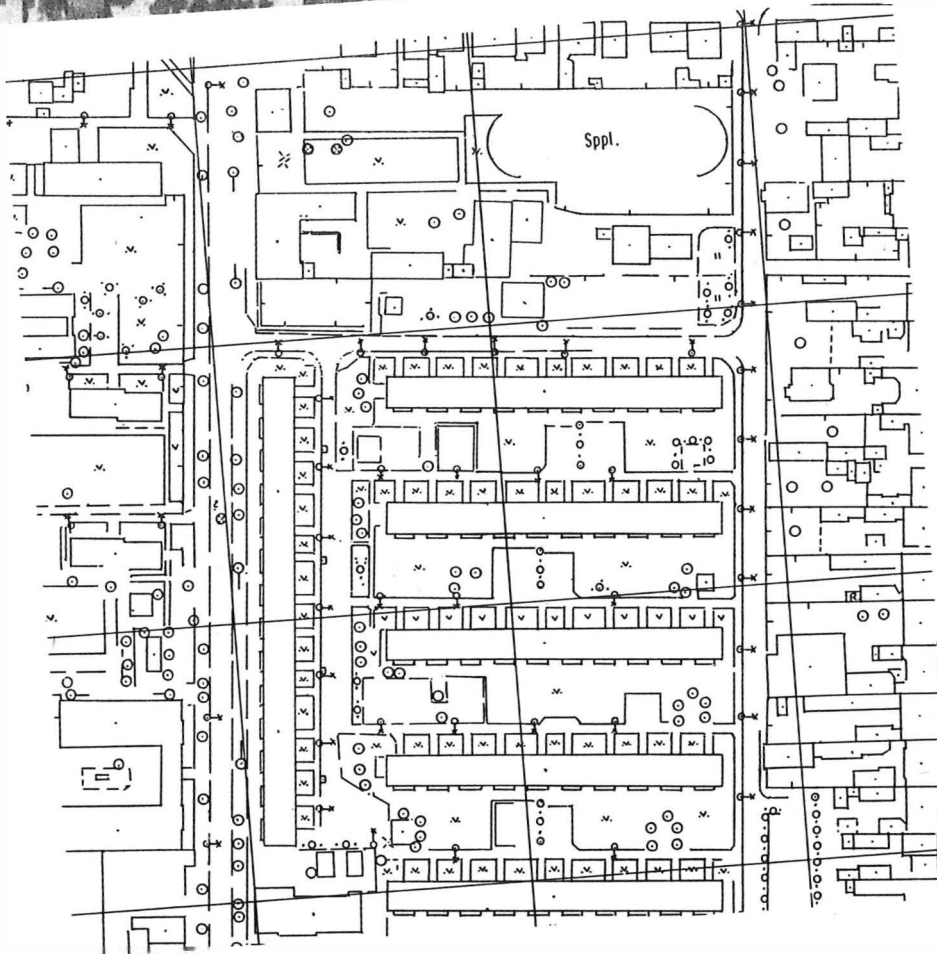


Bild 3

(LFB-Nr. 515/82)

Die Originalaufnahmen im Bildmaßstab 1:20 000, Bildformat 55 mm x 81 mm, waren in einer Aufnahmehöhe von 2 500 m mit einer Längsüberdeckung von ca. 60 % aufgenommen worden. Als Aufnahme­film stand uns der sowjetische Film Typ 18 zur Verfügung. Die Bewegungsunschärfen in Flugrichtung wurden während der Luftaufnahmen durch Einsatz der in der MKF-6 vorhandenen Bildwanderungskompensationsautomatik des Kammer­systems kompensiert.

Vom VEB Carl Zeiss JENA erhielten wir die Kammerkalibrierungsdaten für die im Flugzeuglabor AN 30 eingesetzte MKF-6. Für die Genauigkeitsuntersuchungen und die Feststellung des Informations­gehaltes standen uns Kartenmaterialien der Stadtkarte im Maßstab 1:1 000 zur Verfügung.

## 2. Modellflächenvergleich Luftbildmeßkammer MRB/Multispektralfotokamera MKF-6

Wegen der sehr unterschiedlichen, nutzbaren Bildformate, MRB mit 226 mm x 226 mm und MKF-6 mit 55 mm x 81 mm, besteht zur flächengleichen Gelände­erfassung mit je einer Luftaufnahme eine entscheidende Beziehung zwischen den Bildmaßstäben.

Bei Einführung folgender Parameter für MRB/MKF-6 gilt für Bildseite in Flugrichtung  $s'/s_x''$ , Bildseite quer zur Flugrichtung  $s'/s_y''$ , Längsüberdeckung  $p'/p''$ , Querüberdeckung  $q'/q''$ , Bildmaßstabszahl  $m_b'/m_b''$ , Modellfläche  $F_M'/F_M''$  und man kann ableiten:

$$F_M' = s'(1-p') m_b' \cdot s'(1-q') m_b' = (1-p')(1-q') s'^2 \cdot m_b'^2 \quad (1)$$

$$F_M'' = s_x''(1-p'') m_b'' \cdot s_y''(1-q'') m_b'' = (1-p'')(1-q'') s_x'' \cdot s_y'' \cdot m_b''^2 \quad (2)$$

Wenn  $F_M' = F_M''$ , gilt:

$$(1-p')(1-q') s'^2 \cdot m_b'^2 = (1-p'')(1-q'') s_x'' \cdot s_y'' \cdot m_b''^2 \quad (3)$$

Unter Berücksichtigung, daß die Längsüberdeckungen ( $p' = p''$ ) und die Querüberdeckungen ( $q' = q''$ ) gleich sind:

$$m_b''^2 = \frac{s'^2}{s_x'' \cdot s_y''} \cdot m_b'^2 \quad (4)$$

Hieraus folgt:

$$m_b'' = \frac{226 \text{ mm}}{\sqrt{55 \text{ mm} \cdot 81 \text{ mm}}} \cdot m_b'$$

Also besteht Flächengleichheit bei:

$$m_b'' = 3,4 \cdot m_b'$$

Mit dem zur Zeit in der photogrammetrischen Praxis des Kartier- und Auswertezentrums des VEB Kombinat Geodäsie und Kartographie zur Anwendung kommenden Bildmaßstäben würden sich nach den unter (6) angegebenen Beziehungen folgende Bildmaßstäbe für eine MKF-6-Aufnahme zwecks Flächengleichheit ergeben:

Tafel 1

Kartenmaßstab	Bildmaßstab (MRB)	Bildmaßstab (MKF-6)	Flughöhe (MKF-6)
1: 500	1: 2 400	1: 8 200	1,0 km
1:1000	1: 5 000	1:17 000	2,1 km
1:2000	1: 9 500 ... 12 500	1:32 300 ... 42 500	...5,3 km
1:5000	1:12 500 ... 18 000	1:42 500 ... 61 200	...7,6 km

Aus dieser Übersicht ist ersichtlich, welche Abhängigkeit hinsichtlich des optimalen flächengleichen Einsatzes der MRB-Luftbildmeßkammern, der Multispektralfotokamera MKF-6 und des einzusetzenden Bildflugzeuges vorliegen.

### 3. Analogauswertung

Die Analogauswertung wurde am STEREMETROGRAPH F des VEB Carl Zeiss JENA unter Produktionsbedingungen mit den 2-fach auf Polyesterfilm vergrößerten Meßdiapositiven der MKF-6-Originalnegative ausgeführt. Die Orientierung der 3 Stereomodelle erfolgte am Auswertegerät mit den aus der analytischen Aerotriangulation vorgegebenen Einstellwerten. Bei der Stereoauswertung im Modellmaßstab 1:10 000 wurde vom Operateur besonders die Detailschärfe und die Detaillerkennbarkeit auch in den Halbschattengebieten hervorgehoben. Die analoge graphische Auswertung erfolgte im Kartenmaßstab 1:2000 auf einer Gravurfolie. Dabei wurden ca. 30 ha dichte Ortslage eines geschlossenen Gebietes und zusätzlich an den Modellecken Ortslagenteile ausgewertet (Bild 2 und 3).

Außerdem wurden in den 3 untersuchten Modellen 50 definierte Kontrollpunkte im Kartenmaßstab 1:2 000 punktweise ausgewertet.



#### 4. Digitalauswertung

Bei der Digitalauswertung wurden zur Ermittlung der Lagegenauigkeit der 50 definierten Kontrollpunkte am Präzisionsstereokomparator STECOMETER C mit COORDIMETER des VEB Carl Zeiss JENA wiederum 3 Modelle unter Verwendung der 2-fach vergrößerten Meßdiapositive bei 14,4 facher Betrachtungsvergrößerung ausgemessen. Die für die analytische Aerotriangulation erforderlichen Kontroll-, Verbindungs- und Paßpunkte in den Modellen wurden vor der Ausmessung am TRANSMARK des VEB Carl Zeiss JENA zur besseren Punktidentifizierung in den Meßdiapositiven markiert. Die Berechnung der Bildreihe erfolgte an der sowjetischen EDVA BESM-6 nach dem Programm ABT-MP 20 für die analytische Aerotriangulation.

Nach der Lageausgleichung wurde eine Lage - Standardabweichung der Gewichtseinheit  $\sigma_0 = 12$  cm erreicht, die einer Standardabweichung von  $\sigma_0' = 6 \mu\text{m}$  in der Bildebene der Originalaufnahmen entspricht.

#### 5. Ergebnis der Vollständigkeits- und Genauigkeitsuntersuchungen

Der Vollständigkeitsvergleich zwischen den vergrößerten MKF-6-Originalaufnahmen mit einer Stadtkarte im Maßstab 1:1000 erfolgte stereoskopisch am Spiegelstereoskop bzw. am INTERPRETOSKOP des VEB Carl Zeiss JENA für ein Kartenblatt mit der Informationsstufe 2. Es wurden alle darzustellenden Objekte 100 % erkannt, soweit sie nicht durch Umklappung oder zu dichte Bewachsung verdeckt waren. Besonders hervorzuheben ist, daß gegenüber den bisherigen Erfahrungen mit MRB-Luftaufnahmen in den MKF-6-Aufnahmen des Kanals 4 alle Masten, Lampen, Verkehrszeichen, Einstiegschächte, Straßeneinläufe u.a. Elemente dieser Art eindeutig sichtbar waren. Es konnte also eine erhöhte photogrammetrische Vollständigkeit von ca. 10 bis 20 % festgestellt werden. Bei den für die Genauigkeitsuntersuchungen verwendeten 50 definierten Kontrollpunkten handelt es sich um 39 Dachpunkte und 11 Bodenpunkte.

Bei der Analogauswertung am STEREOGRAPH F wurde im Kartenmaßstab 1:2000 bei den 50 Kontrollpunkten eine Lage - Standardabweichung = +0,25 mm in der Karte (entspricht  $25 \mu\text{m}$  in der Bildebene und 50 cm im Naturmaß) erreicht. Dabei waren die 11 Bodenpunkte mit einem  $\sigma_L = +0,21$  mm nur um einen geringen Betrag besser. Bei der Digitalauswertung am STECOMETER C wurde bei 50 Kontrollpunkten eine Lage - Standardabweichung  $\sigma_L' = 20 \mu\text{m}$  in der Bildebene (entspricht 39 cm im Naturmaß) und bei den 11 Bodenpunkten  $\sigma_L' = 8 \mu\text{m}$  in der Bildebene (entspricht 15 cm im Naturmaß) erzielt.

#### 6. Schlußfolgerungen

Die vorliegenden Ergebnisse erlauben auf Grund ihres kleinexperimentellen Untersuchungscharakters noch keine generellen Schlußfolgerungen. Jedoch deuten diese ersten Ergebnisse eine Reihe von Tendenzen an, und es erscheint lohnenswert, sie weiter im Auge zu behalten.

So zeigt der Vergleich der auf die Bildebene bezogenen Lage - Standardabweichungen von 8 bis  $25 \mu\text{m}$  mit den bisherigen Ergebnissen der Luftbildmeßkammern, daß die MKF-6 eine hohe metrische Güte aufweist. Diese ausgezeichneten Werte wurden bereits mit den

aus dem Kosmos von Sojus 22 aufgenommenen MKF-6-Originalaufnahmen des Kanals 4 im Bildmaßstab 1:2 200 000 mit 15 bis 25  $\mu\text{m}$  ebenfalls am STECOMETER C bzw. STEREO-METROGRAPH F erreicht /2/. Die Lage - Standardabweichung eines Punktes in der Bildebene von 8  $\mu\text{m}$ , erreicht bei der digitalen Auswertung von eindeutigen Bodenpunkten am STECOMETER C, deutet nicht zuletzt auch darauf hin, welche Möglichkeiten vor allem bei der Mehrfachnutzung von Multispektral-Aufnahmesätzen durch diese neue Aufnahmetechnik in Verbindung mit photogrammetrischer analytischer Auswertetechnik erschlossen werden können.

Die Entwicklung des vom VEB Carl Zeiss JENA speziell für Multispektralaufnahmen aus Flugzeugen vorgesehenen Aufnahmesystems MSK-4 entspricht u.a. auch diesen Gesichtspunkten. So wird der Photogrammeter, wie bei dieser hier vorgestellten Untersuchung, zukünftig die Entwicklungen auf den Gebieten der Fernerkundung, Satellitenphotogrammetrie und analytischen Photogrammetrie komplex verfolgen, um daraus rechtzeitig Tendenzen für die Verbesserung der bewährten photogrammetrischen Technologien der analog gezeichneten Strichkarte, der digital gezeichneten Strichkarte oder der Orthophotokarte für alle Kartenmaßstäbe abzuleiten.

#### Literatur

- /1/ Autorenkollektiv: Aerometody v prirodnych issledovanijach. Akademija nauk SSSR, Moskva - Leningrad (1960), S. 105-122.
- /2/ Guske, W.; Kluge, W.: Zur Verwendung von MKF-6-Aufnahmen in der Kartographie. Vermessungstechnik, Berlin 30 (1982) 2, S. 57-58
- /3/ Krämer, J.: Bereitstellung von kosmischen Bildern und Erzeugnissen durch den VEB Kombinat Geodäsie und Kartographie. Vermessungstechnik, Berlin 30 (1982) 4, S. 119-123
- /4/ Michailov, V.Ja.; Aerofotografija i obščie osnovy fotografii. Moskva (1959), S. 198-199.

Geomorphologische Fernerkundung und Photogrammetrie

von

H. Kugler <sup>1)</sup>

## 1. Einleitung

Unter geomorphologischem Aspekt bieten sich drei Zugänge zur Behandlung der gestellten Thematik an. Der erste geht vom Arbeits- und Aufgabenfeld der Geomorphologie aus, die sich bei der Bewältigung ihrer allgemeinen wissenschaftlichen und ihrer praxisrelevant angewandten Aufgaben der kartierenden und anderen geomorphologischen Fernerkundung einschließlich photogrammetrischer Verfahren und Produkte bedient. Der zweite Zugang ist an die Methodologie der geomorphologischen Fernerkundung einschließlich der Anwendung photogrammetrischer Auswertung fotografischer und anderer Fernerkundungsdaten gebunden. Der dritte Ansatz berührt die Rolle der geomorphologischen Interpretation von Fernerkundungsdaten, und die der Geomorphologie allgemein für die Lösung photogrammetrischer Aufgaben und für die Erzeugung topographischer Karten.

Moderne Geomorphologie als eigene geowissenschaftliche Disziplin oder als integrierter Teilbereich oder als Methode in verschiedenen Fachdisziplinen und Praxisbereichen befaßt sich mit dem Oberflächenrelief der Erdkruste in seiner Bindung an Gestein, Tektonik, Boden und seiner Genese, seiner aktuellen prozessualen Formung und seiner Weiterbildung. Die Form-, Stoff- und Prozeßmerkmale der Morphosphäre sind zugleich wichtige Merkmale der Landschaftssphäre, der die Morphosphäre als Teilssystem angehört /2/. Die areale Differenzierung, Gliederung, Strukturierung der Morphosphäre zeichnet wesentlich das areale Landschaftsgefüge und die areal differenzierten natürlichen Bedingungen für die gesellschaftliche Reproduktion vor. Neben anderen wichtige Anwendungsbereiche geomorphologischer Beurteilung des Territoriums sind Bauwesen, Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Umweltschutz- und -gestaltung. Aus den Kausalzusammenhängen zwischen Lithologie, Tektonik, Boden und Relief resultiert die wichtige Indikatorfunktion des Reliefs und der reliefgebundenen Differenzierung von Böden und oberflächigen Gesteinssubstraten bei der geologischen Erkundung. Die Kausalzusammenhänge zwischen Relief, Boden und Bodenfeuchte, Geländeklima und Vegetation helfen wesentlich bei der nutzungsbezogenen landschaftsökologischen Interpretation von Fernerkundungsdaten /9, 13, 14/.

Unter den genannten Gesichtspunkten ordnet sich die durch Fernerkundung entscheidend unterstützbare geomorphologische Arbeit ein in den Gesamtrahmen naturwissenschaftlicher Arbeiten zur rationellen, optimalen Nutzung der natürlichen Ressourcen von Territorien.

---

<sup>1)</sup> Prof. Dr. sc. Hans Kugler, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

## 2. Zur geomorphologischen Nutzung von Fernerkundungsdaten

### 2.1. Erfassung der Reliefgestalt

Geringer oder stärker eingeschränkt durch reliefbedeckende Vegetation oder flächige Überbebauung oder durch flächenhafte Wasserbedeckung, sind die skulpturellen Formmerkmale des Georeliefs /2, 5, 7/ an sich wie als morphogenetische und geologische Indikatoren, als landwirtschaftsökologische Standortmerkmale und Steuergrößen in stereoskopisch auswertbaren fotografischen Luftbildpaaren und, begrenzter, in kosmischen Aufnahmen /14, 15/ sowie in Radaraufnahmen - dort unter Berücksichtigung der speziellen Verzerrungsverhältnisse bei SLAR-Aufnahmen /11, 14/ - direkt geometrisch erfaßbar und meßbar abgebildet. Aufnahmedistanz und Geräteparameter entscheiden zusammen mit anderen Faktoren maßgeblich über die Größenordnungen der erfaßbaren Reliefformen. Bei Verwendung hochauflösender Filme haben sich Weitwinkelaufnahmen mit Originalmaßstäben um 1:100 000 international als generell sehr effektiv erwiesen (vgl. /2/); für das Nano- und Mikrorelief von Ackerflächen und Flußauen und andere spezielle Objektbereiche sind Luftbilder größeren Maßstabs erforderlich.

Im Gesamtrahmen der qualitativ unterscheidenden und quantitativ messenden morphographischen Formenanalyse nach den verschiedenen wichtigen geomorphologischen Merkmalen des Reliefs lassen sich, ausgehend von der photogrammetrischen stereoskopischen Messung der Werte  $x$ ,  $y$  und  $z$  für die topographische Lage jedes Geländepunktes im dreidimensionalen geometrischen Raum wertvolle weitere Daten ermitteln. Für Landnutzung und Oberflächenabfluß besonders wichtig /2/, sind Stärke und Richtung der Neigung von Reliefflächen bestimmbar. Meßbar sind die relativen Höhen und Tiefen beispielsweise an Tälern, Halden oder Stufen. Sicher definierbar sind Kriterien der allgemein ökologisch und innerhalb landwirtschaftlicher Nutzflächen wichtigen Wölbung, beispielsweise erosionsanfälliger Konvexbereiche oder zur Vernässung neigender Konkavbereiche. Die Ausdehnung von Strecken (z. B. Hanglängen) und Flächen (z. B. vernäster Mulden) und diverse Volumina (z. B. von Halden, Schwemmfächern) lassen sich sicher bestimmen. Geomorphologisch durchaus brauchbare Näherungswerte sind bereits mit dem Interpretoskop zu gewinnen, anzustreben ist die Entwicklung automatengestützter Lösungen, wie sie u.a. von HORMANN /5/ und MAYR /10/ angesprochen werden. Von einem genügend dichten Netz dreieckförmig oder anders verteilter Geländepunkte mit gemessenen Werten für  $x$ ,  $y$ ,  $z$  ausgehend können die genannten geomorphologischen Kennwerte über geeignete Programme errechnet und kartiert werden. Vor allem für die genannte Hangneigungskartierung ergeben solche unmittelbar vom Luftbild ausgehenden Verfahren Vorteile, da einerseits Zonen oder Linien markanter Gefälleänderungen im fotografischen Analogmodell direkt erkannt und für die Neigungsarealbegrenzung herangezogen werden können und andererseits die bekannten prinzipimmanenten Schwächen der Isohypsendarstellung des Reliefs in topographischen Karten /4, 8/ ausgeschlossen werden. Speziell bei der Kartierung von Kleinformen und Rekultivierung ist die Luftbildauswertung der Geländeaufnahme und der Auswertung topographischer Karten deutlich überlegen.

Die genannten Wege fotogeomorphologischer Reliefformenanalyse sind zweifelsohne das Hauptanwendungsfeld photogrammetrischer Verfahren. Als Beispiele für nützliche morphographische Luftbildauswertung in waldfreiem Gelände für die Anfertigung geomorphologischer Karten dürfen die Kartenbeispiele Waltershausen-Rödichen (1:10 000) und Kindelbrück (1:25 000) und für Forstflächen die Karte Ungeheurer Grund (1:10 000) angeführt werden /7, 8/, und ZIKANDELOFF /16/ wies die Anwendbarkeit für die Kartierung von Hochhalden am Beispiel der Hochhalde Espenhain nach. Mit gegenwärtig laufenden Arbeiten an der Sektion Geographie der Martin-Luther-Universität Halle - Wittenberg durch SCHRÜDER und PORATH sowie durch WITT, NOVAK und RÜDE in der Umgebung von Halle und im Querfurter Raum werden solche Kartierungsansätze weiterverfolgt.

Bei nichtstereoskopischer Auswertung von Einzelaufnahmen wird die Reliefgestalt nur indirekt indiziert durch Flächennutzung und Vegetation sowie durch Gewässer, Boden- und Substratdifferenzierungen /13, 14/ in dem Umfang, wie Lageidentität bzw. kausale Arealkongruenz zwischen solchen durch geometrische und spektrale Informationen der Fernerkundungsaufzeichnungen repräsentierten Phänomenen und bestimmten Ausprägungen der Reliefgestalt besteht. Geometrische Meßbarkeit ist, in den genannten Grenzen, hier auf die x- und y-Werte in der Ebene des Bildes reduziert.

## 2.2. Geomorphologische Landschaftsdynamik

Multitemporale Aufnahme ermöglicht über die genannten Auswerteverfahren die wichtige messende Erfassung raum-zeitlicher Reliefveränderungen beispielsweise bei Abbruchküsten und Flußufern, Erosionstälchen an Halden oder Lößhängen der Ackerlandschaft und bei Rutschungskörpern oder Subrosionssenken, die dynamisch-geomorphologisch wie als Störeffekte volkswirtschaftlich wissenswert sind.

Damit ist bereits ein Weg der Erfäßbarkeit zeitlicher Änderungen über geomorphologische Fernerkundung angesprochen, der von der Bestimmung meßbarer Veränderungen der Reliefgestalt ausgeht. Ein zweiter Weg ist durch Erfassung in der Fläche meßbarer, in den Aufzeichnungen direkt oder durch Feuchte des Bodens oder Vegetation indizierte zeitliche Änderung der arealen Ausdehnung prozeßkorrelater Boden- und Substratausbildungen gegeben. Die Arealvergrößerung im Fotonegativ meist dunklerer Flächen spülerosiven Oberbodenabtrages und Spülsubstratflächen oder - meist hellerer - Vernässungsareale mögen hierfür als Beispiele dienen.

In der einzelnen Momentaufnahme sind Prozesse der Form- und Stoffveränderung in der Morphosphäre allein durch die im Bild dokumentierten Spuren der genannten Art ablaufender oder abgelaufen-er Prozesse erfäßbar. Auf diesen Weg konzentriert sich auch der Einsatz der Fernerkundung für die Klärung morphogenetischer Fragen nach der erd- und landschaftsgeschichtlichen Entstehung von Relief und Morphosphäre.

### 2.3. Geomorphologische Substrat- und Bodenanalyse

Geomorphologisch wie auch photogrammetrisch wichtig ist die Tatsache, daß die Informationen über Reliefform, Substrat und Prozesse letztlich an die Intensität und areale Verteilung der aufgezeichneten Strahlung und damit an spektrale Signaturen der Luftbilder und anderen Fernerkundungsaufzeichnungen gebunden sind. Von der Unterscheidbarkeit nach der Intensität und der arealen Begrenzbarkeit bestimmter Intensitätsstufen hängt das Interpretationsergebnis maßgeblich ab. Auf Boden- und Substratmerkmale gerichtete geomorphologische Interpretation erfordert in erster Linie Klärung der semantischen Beziehungen zwischen Grau- bzw. Farbtonwert und Textur der Fotografie (bzw. äquivalenten spektralen Daten anderer Aufzeichnungen) und den so abgebildeten Böden und Substraten mit ihren unterschiedlichen Feuchte- und Vegetationsverhältnissen und expositionsbedingten Strahlungsunterschieden einschließlich der interpretierenden Auflösung der in den aufgezeichneten Mischsignalen enthaltenen Merkmalskomplexe /9, 12/. In diesem Zusammenhang sind verstärkte Analysen des Remissionsverhaltens der Untersuchungsobjekte notwendig sowohl für die Objektidentifizierung als auch für die digital-automatische Klassifizierung. Fotografische Verfahren der Bildbearbeitung vermögen, vorrangig der verbesserten Kontrastierung und der Selektion enthaltener spektraler Informationen zu dienen. Aus diesem - hier nicht weiter zu verfolgenden - Problemkreis ist die für Geomorphologie und Photogrammetrie gleichermaßen wichtige Tatsache herauszuheben, daß auch die Geometrie des Reliefs nur in dem Maß im Einzelbild wie auch im Stereomodell faßbar ist, wie sie sich mittels dieser spektralen Signaturen abbildet und differenziert zu erkennen gibt. Hinzuweisen an dieser Stelle ist auch auf den Umstand, daß oberflächennahe subkutane Substrat- und Feuchte Merkmale in fotografischen Aufzeichnungen nur über ihre Auswirkungen auf die Oberflächensituation indikativ, in thermographischen und -stärker - in Radaraufnahmen /2, 11, 14/ in begrenztem Umfang auch direkter abgebildet werden.

Relativ sicher kartierbar in fotografischen und anderen Aufnahmen sind unter den genannten Prämissen spektral deutlich unterschiedene Boden- und Substratflächen und unterschiedliche Vernässungsareale, wobei die Vegetation durch unterschiedliche Bestandsdichte, Entwicklung und Vitalität vor allem bei ökologischen Stresssituationen die Bildinterpretation meist unterstützt oder erst ermöglicht.

### 2.4. Zur Rolle der Bildmusteranalyse

Im fotografischen Einzelbild allein durch die areale Tonwertdifferenzierung getragen und im Stereomodell durch die räumliche Formendifferenzierung des Reliefs unterstützt, ermöglicht die Musteranalyse den direkten Zugang zur arealen Gefügestruktur und Heterogenität der Morphosphäre und der Landschaft allgemein und speziell auch zu Erscheinungen der Morpho- und Landschaftsdynamik in ihrer Differenzierung nach Art des Vorganges, Richtung der Bewegung und arealer Differenzierung. Vorrangig interessant sind hier die Umlagerung von Boden- und Gesteinsmaterial, von Wasser und Nährstoffen und bodennahen Luftmassen. Die durch die Oberflächenphänomene indizierten Strukturen des geologischen Untergrundes zeichnen sich nicht zuletzt durch solche form-, stoff- und prozeßgebundene Muster und Musterelemente in der Morphosphäre ab.

Über die in diesem Zusammenhang bereits sehr effektive visuelle Bildinterpretation /12, 15/ und über automatengestützte Bestimmung formalisierbarer Musterkriterien /6/ aus den Aufzeichnungen sind weitere Forschungsfortschritte zu erreichen, auf die an der Sektion Geographie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg laufende Arbeiten durch VILLWOCK und PORATH mit ausgerichtet sind.

Nicht unerwähnt bleiben darf die bekannte Tatsache, daß auch geomorphologische Fernerkundung der Stützung durch vergleichende Gelände- und Laboranalysen bedarf und optimale Kartierungsergebnisse nur im Zusammenspiel der Nutzung von Fernerkundungsdaten mit so gewonnenen Referenz- und Ergänzungsdaten zu erreichen sind vgl. BAŠENINA in /2/ und /13, 12/. Die geomorphologische Interpretationsskizze für das Untersuchungsgebiet Süßer See bei Eisleben und die angeschlossene morphotektonische Deutungsskizze /2/ mögen als Beispiele für ein solches Vorgehen dienen.

### 3. Zur Bedeutung geomorphologischer Fernerkundung für die Photogrammetrie und topographische Kartographie

Für die Photogrammetrie und die photogrammetrische topographische Kartierung wie für die Gestaltung der Reliefdarstellung in topographischen Karten verschiedener Maßstäbe ist erwiesen, daß geomorphologisch richtige Relieferkennung, -erfassung und -darstellung wichtig sind /1, 4, 8/. Wichtig ist, die Schulung des Topographen in der qualitativen Reliefinterpretation nach Luftbildern unter den oben kurz umrissenen Aspekten bis hin zur Unterscheidung längerfristig dauerhafter von kurzlebigen Klein- und Kleinstformen und zur Herausarbeitung wichtiger "Gerippelinien" des Reliefs, wie Hangkanten und Firstlinien, Randkehlen der Talsohlen u.a. und zur Unterscheidung und Beurteilung der fotografischen Abbildung temporärer und permanenter Erscheinungen, wie Vernässung, Vegetation, Bodennutzung unter dem Aspekt der topographischen Kartierung und der Nutzung ihrer Indikatorfunktionen für Reliefformen und -prozesse. Geomorphologische und landschaftskundliche Interpretationsskizzen nach Luft- und Satellitenbildern im Vorfeld topographischer Aufnahmen oder der Herstellung kleiner maßstabiger Folgekarten können sehr hilfreich der objektadäquaten kartographischen Darstellung dienen. Schließlich bietet sich für die kartographische Repräsentation des Reliefs in Übersichtskarten eine direkte Nutzung von Luft- und Satellitenbildern in der Weise an, daß entsprechend bearbeitete Bilder die traditionellen Darstellungen durch Schattenplastiken verschiedener Art ersetzen /3/.

### Literatur

- /1/ Carlberg, B.: Geographisch—morphologische Forderungen an die Geländedarstellung. Kartograph. Nachr., 8. Jg., 1958
- /2/ Demek, J. u. Embleton, C. (Hrsg.): Geomorphologische Kartierung in mittleren Maßstäben. Gotha, 1982 (i. Dr.)

- /3/ Edelmann, G.: Untersuchungen über die Möglichkeiten der Verbesserung der Geländedarstellung am Beispiel des westlichen Balsamgebirges in El Salvador mit Hilfe von Landsat-Aufnahmen in den Maßstäben 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:300 000, 1:5 000 und 1:1 Million. Münchener Geogr. Abh. Bd. 20, 1978
- /4/ Finsterwalder, R.: Topographie und Morphologie. Z. f. Vermessungswesen, 1939
- /5/ Hormann, K.: Morphometrie der Erdoberfläche. Schr. d. Geogr. Inst. d. Univ. Kiel, 36, 1971
- /6/ Kazmierczak, H. (Hrsg.): Erfassung und maschinelle Verarbeitung von Bilddaten. Berlin, 1980
- /7/ Kugler, H.: Die geomorphologische Reliefanalyse als Grundlage großmaßstäbiger geomorphologischer Kartierung. Wiss. Veröff. d. Deutsch.Inst. f. Länderkunde, N.F., 21/22, 1964
- /8/ Kugler, H.: Bemerkungen zur Kartenprobe "Kindelbrück" der geomorphologischen Karte 1:25 000, Blattvariante A/d. - Leipziger Geographische Beiträge. Leipzig, 1965
- /9/ Kugler, H.: Methodische Ansätze für die Fotointerpretation bei der physisch-geographischen Landschaftsforschung. Veröff. d. Zentralinstituts für Physik der Erde, Potsdam, i. Dr. (1982)
- /10/ Mayr, F.: Überlegungen zum Begriff Relief.-Z. f. Geomorphologie, N. F.; 17 1973
- /11/ Mekel, J.F.M.: The geological interpretation of radar images. ITC textbook of photo-interpretation, VIII, 2, Enschede 1972
- /12/ Riedel, C.: Untersuchungen zur bodengeographischen Interpretation multi-spektraler Luftbilder. Diss. Halle, 1981
- /13/ Verstappen, H.Th.: Methodische Probleme der geomorphologischen Kartierung mittels Fernerkundung. Mitt. d. Basler Afrika-Bibliographien, 19. 1977
- /14/ Verstappen, H.Th.: Remote sensing in geomorphology. Amsterdam, Oxford, New York 1977.
- /15/ Villwock, G.: Zur geowissenschaftlichen Interpretation kosmischer Aufnahmen aus dem östlichen Harzvorland. Hall. Jb. f. Geowiss., 7, 1982 (i. Dr.)
- /16/ Zikandeloff, W.: Das Luftbild im Dienste der Naturraumforschung, dargestellt am Beispiel des Wesenitztales und der Hochhalde Espenhain. Wiss. Z. Pädagog. Hochsch. Dresden. Heft 2, 1971



Flächennutzungsanalysen auf der Basis multispektraler Daten

von

H. Wirth, G. Harnisch, M. Pilarski <sup>1)</sup>

Es steht mittlerweile außer Frage, daß für eine Planung der rationellen Nutzung der unvermehrten Ressource "Fläche" des gesamten Territoriums der DDR entsprechende Unterlagen in Form von Karten zur Verteilung wichtiger Flächennutzungsarten oder Datenbanken, die ein ständiges Abrufen und eine optimale Laufendhaltung der Informationen ermöglichen, notwendig geworden sind.

Für die Erarbeitung von Flächennutzungskarten aus multispektralen photographischen Fernerkundungsdaten liegen für einige Ausschnitte des Territoriums der DDR bereits nützliche Erfahrungen vor /2/, /5/, /7/, /8/. Mehrfach bearbeitet wurde ein Areal im Nordosten der DDR im Kreisgebiet Stralsund. Von diesem Ausschnitt liegen auf der Basis von MKF-6-Aufnahmen aus Sojus 22 vom 20. September 1976 sowohl visuelle als auch rechnergestützte Analysen der Hauptflächennutzungsarten vor /3/, /10/. Im Verlaufe der Experimente mit dem 1980 in der UdSSR auf einem Erderkundungssatelliten METEOR-PRIRODA installierten Multispektralscanner FRAGMENT /1/ konnten erneut kosmische Aufnahmen von dem genannten Gebiet im Nordosten der DDR gewonnen werden. Einige Erfahrungen der Auswertbarkeit dieser Materialien in bezug auf die Flächennutzung und Möglichkeiten des Vergleichs mit den Analyseergebnissen der MKF-6-Aufnahmen im Hinblick auf die Feststellung von Veränderungen in der Flächennutzung sind Gegenstand dieses Beitrages.

1. Beschreibung des Analysegebietes und des Datenmaterials

Die naturräumliche Ausstattung des Gebietes wird im wesentlichen durch flachwellige, untergeordnet durch kuppige Grundmoränengebiete charakterisiert. Hinzu kommen ein grundwasserbeeinflusstes Sander- und Satzendoränengebiet südlich von Stralsund und eine Vielzahl von kleinen vernäbten Tal- und Küstenniederungen sowie eine größere Niederung, die die Trebel bildet. Die vom Nordosten der DDR vorliegenden multispektralen Scanneraufnahmen wurden bei einem Überflug am 13. 5. 1981, ca. 11.00 Uhr MEZ, aus einer Höhe von 630 km gewonnen. Die Daten liegen in 4 Kanälen vor:

K.2 - 0,5 - 0,5  $\mu$ m (grün)  
 K.3 - 0,6 - 0,7  $\mu$ m (rot)  
 K.4 - 0,7 - 0,8  $\mu$ m (n. IR)  
 K.5 - 0,8 - 1,1  $\mu$ m (n. IR).

Sie entsprechen etwa den Kanälen 2, 4, 5 und 6 der MKF-6-Aufnahmen, wobei die Scanner-Informationen 2/10  $\mu$ m mehr in den nahen infraroten Bereich hineinreichen.

---

<sup>1)</sup> Dr. rer. nat. H. Wirth, Dipl.-Geophys. G. Harnisch, Dr. rer. nat. Pilarski,  
 Zentralinstitut für Physik der Erde Potsdam

Die Visualisierung dieser Daten auf Filmmaterial ergab, daß die Qualität der Aufzeichnung in den 4 Spektralbereichen unterschiedlich ist. Als gut, mit wenig aufgezzeichneten Störungen können die Aufnahmen von den Kanälen 3 und 4 bezeichnet werden. Dagegen weisen die Aufnahmen in den Kanälen 1 und 2 eine größere Anzahl radiometrischer Störungen auf. Um diese sowohl für die visuelle als auch insbesondere die rechnergestützte Analyse der Bilddaten zu verringern, wurden die entsprechenden Aufnahmen mittels der bekannten Verfahren der Histogrammegalisation sowie der Medianfilterung aufbereitet. Die ein- oder zweimalige Anwendung der Medianfilterung zur Eliminierung radiometrischer Störungen, bedeutet, daß der Grauwert eingesetzt wird, bei dem in einer definierten Operatorumgebung die Summenhäufigkeit 50 % erreicht. Beide Rechnerverfahren führten zur Verbesserung der Bilddatenqualität (s. Bild 1 und Bild 2).

## 2. Visuelle Auswertbarkeit

Sowohl das Bildmaterial der Originaldaten als auch das der verbesserten Daten wurde für eine erste visuelle Dechiffrierung der Hauptflächennutzungsarten (Wasserflächen, Wald, Ackerland, Grünland, Siedlungen) herangezogen. Die vorhandenen geometrischen Ungenauigkeiten wurden dabei vernachlässigt. Eine digitale Bestimmung der Grauwerte der gesamten Aufnahme ergab, daß die Kanäle 3 und 4 mit 90 und 150 die größten Grauwertumfänge, d.h. die größten Kontraste besitzen und sich damit für eine visuelle Auswertung mehr eignen als die Kanäle 1 und 2 mit Grauwertumfängen von 35 bzw. 50. Wie folgt wurde nach dem Vertrautmachen mit den natürlichen Bedingungen des Gebietes bei der visuellen Analyse des Materials vorgegangen:

Mit Hilfe von visuell ermittelten Grauwertstufen des Filmmaterials wurde für jeden Kanal am Dokumator-Lesegerät ein Muster verschiedener Grautonareale gezeichnet. Über eine Numerierung der Flächen und den Vergleich der Grautonstufen in den 4 Kanälen wurde ein Interpretationsschlüssel erarbeitet (s. Bild 3), mit dessen Hilfe die Ermittlung der Hauptflächennutzungsarten anhand relativer Grautöne entsprechend Negativdarstellungen der FRAGMENT-Daten durchgeführt wurde (s. Bild 4). Gewässer im Küstenbereich und im Binnenland ließen sich mittels der Kanäle des nahen Infrarots sehr gut abgrenzen. Selbst Gewässer von der Größe der Stralsunder Teiche konnten erkannt werden. Ebenfalls hauptsächlich durch die Anwendung der Kanäle 3 und 4 des elektromagnetischen Spektrums konnten Waldgebiete recht genau bestimmt werden, was ein Vergleich mit den topographischen Karten 1:50 000 ergab. Hierfür scheint der Aufnahmezeitpunkt (Mitte Mai 81) begünstigend gewesen zu sein. Zum einen tritt der Wald als grüne Vegetation gegenüber den noch schwach begrünzten Feldern und Wiesen im nahen Infrarot durch unterschiedliche Remission hervor und zum anderen konnten dadurch Laub- und Nadelwaldareale bzw. Mischwaldgebiete erkannt werden.

Das Erkennen von Grünlandarealen bereitete trotz der Tatsachen, daß es sich dabei vorwiegend um feuchte Areale handelt, relativ große Schwierigkeiten. In dem ausgewählten Bildausschnitt konnte nur dort Grünland ausgehalten werden, wo sich die Flächennutzungsart der Umgebung in ihrem Remissionsverhalten für den Interpretator sichtbar von dem des Grünlandes unterscheidet, was bei Ackerland kaum der Fall war. Selbst die sich an die Talniederungen anlehenden Grünlandstreifen konnten nur teilweise identifiziert werden. Die Ackerflächen bieten die größten Grautonkombinationen der 4 Kanäle. Auf Grund der Tatsache, daß Schlaggrenzen nicht erkannt wurden, konnte keine Strukturierung der Ackerflächen angegeben werden. Siedlungen konnten nur in der Größenordnung der Städte Stralsund oder Barth (nicht im Bildausschnitt) bestimmt werden, wobei die Ortsgrenzung nur ungenau zu ermitteln war.

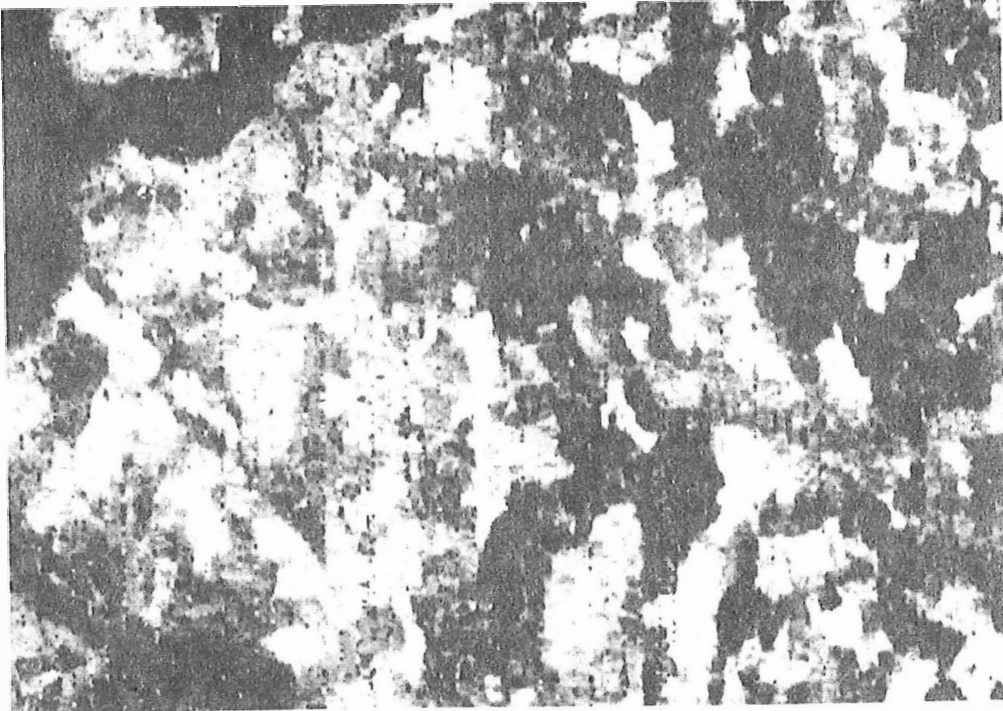


Bild 1: Daten des K 2 unbearbeitet

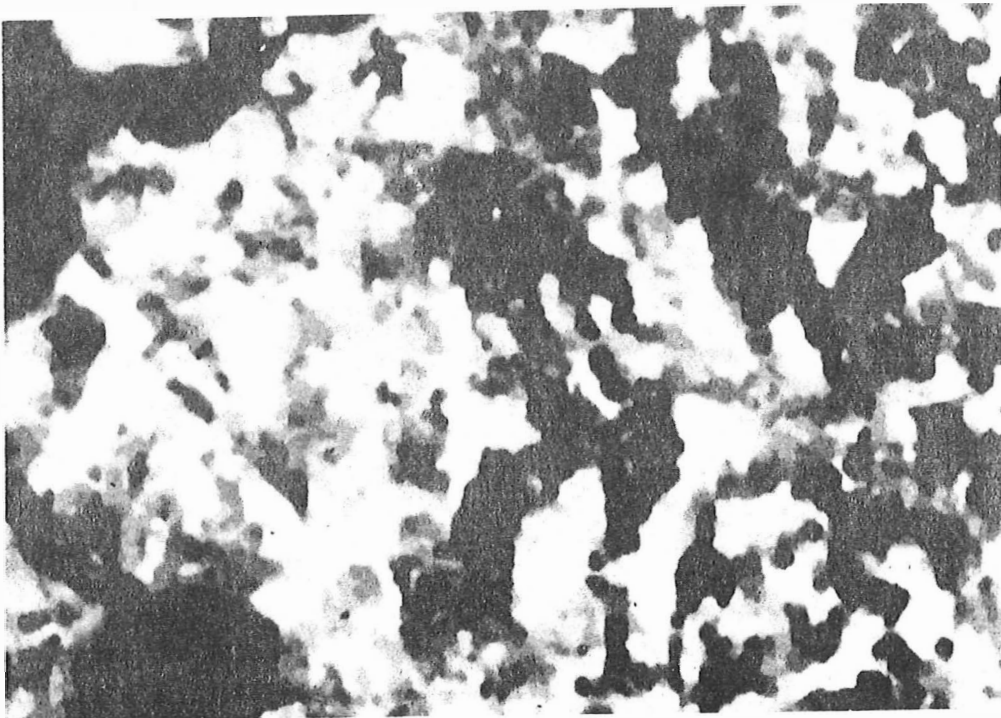


Bild 2: Daten des K.2 nach zweimaliger Anwendung der Medianfilterung

Kanal	K <sub>1</sub> (0,5-0,6 $\mu$ m)	K <sub>2</sub> (0,6-0,7 $\mu$ m)	K <sub>3</sub> (0,7-0,8 $\mu$ m)	K <sub>4</sub> (0,8-1,1 $\mu$ m)
Flächen- nutzungs- art				
Wasser- flächen	mittelgrau	hellgrau	fast weiß	fast weiß
Waldareale				
Laubwald	mittelgrau	hellgrau	hellgrau	mittelgrau
Nadelwald	fast weiß	fast weiß	hellgrau	hellgrau
Grünland vernäßt	mittelgrau	hellgrau	mittelgrau	dunkelgrau
Ackerland	verschiedene Grautonkombinationen			
Siedlungen	mittelgrau	hellgrau	hellgrau bis mittelgrau	mittelgrau

Bild 3: Interpretationsschlüssel zur Identifizierung der Hauptflächennutzungsarten

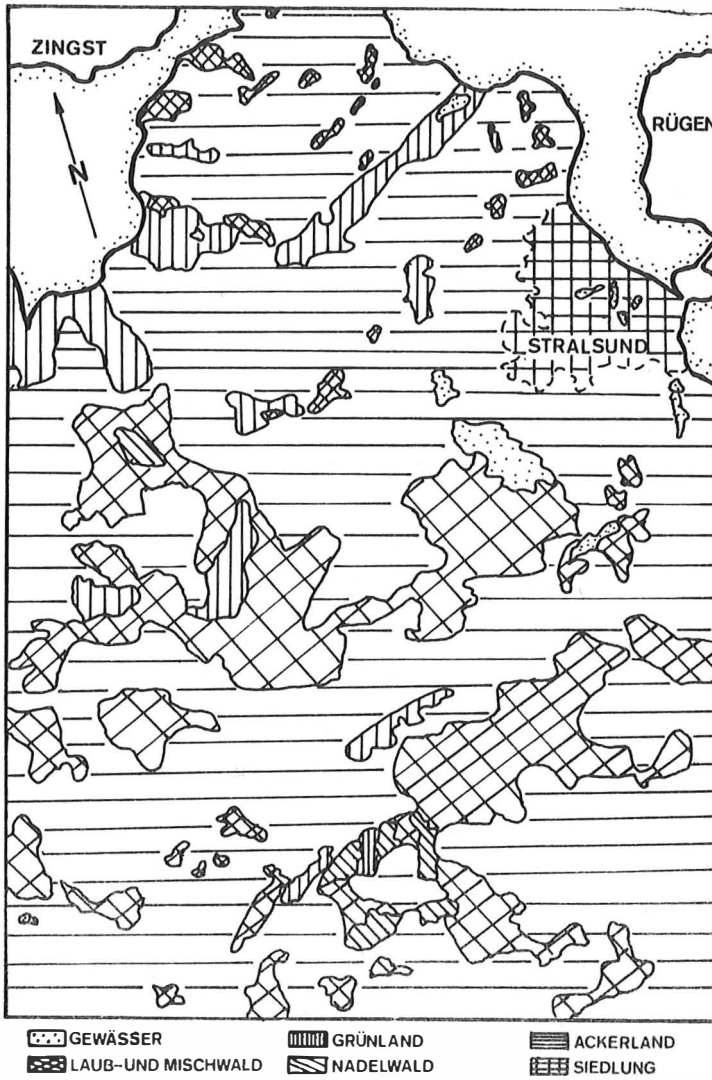


Bild 4: Visuell dechiffrierte Flächennutzungsarten

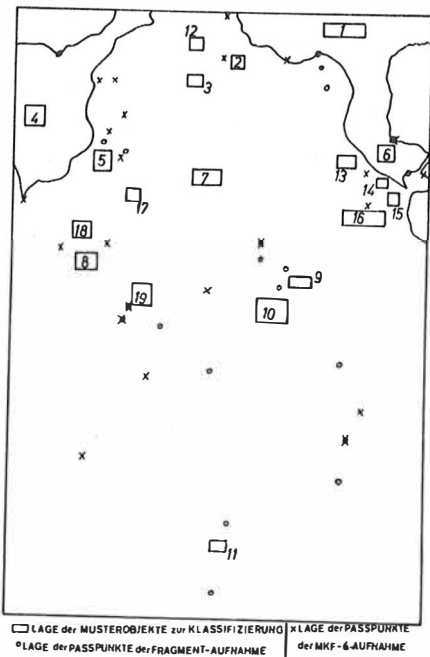


Bild 5 Trainingsgebiete für die rechnergestützte Klassifizierung und Paßpunktsysteme für geometrische Transformationen



Bild 6: Visualisierung des Ergebnisses der rechnergestützten Dechiffrierung

### 3. Rechnergestützte Auswertung

Zur automatischen Dechiffrierung der Hauptflächennutzungsarten wurden die über ein Operatorfeld von 3 x 3 Bildpunkten mediangefilterten Fragmentdaten herangezogen. Auszuweisen waren die in dem Gebiet dominierenden Klassen Küstengewässer, Binnengewässer, Forsten, Siedlungen, Dauergrünflächen und Ackerflächen. Die Klassifizierung erfolgte mittels eines Parallelepipedverfahrens /11/, wobei insgesamt 19 Trainingsgebiete für die Belehrung des Klassifikators (s. Bild 5) anhand der Ergebnisse der visuellen Auswertung einbezogen wurden. Diese Trainingsgebiete sind größtenteils identisch mit denen, die auch zur Auswertung der kosmischen MKF-6-Aufnahmen Verwendung fanden. Die Untersuchung der Separierbarkeit der Klassen anhand der Trainingsdaten ergab eine Redundanz zwischen den Kanälen 2 und 3 von über 85 %, so daß für die Merkmalsextraktion und die Festlegung der Klassengrenzen nur die Kanäle 3, 4 und 5 Eingang in die Analyse fanden. Eine Abschätzung der zu erwartenden Klassifizierungsgenauigkeit aus dem Ergebnis der Klassifizierung der Trainingsgebiete ergab einen mittleren Wert von 89 %. Der Aufwand an Rechenzeit auf einer Kleinrechenanlage (LSJ-2) für  $10^5$  Bildelemente betrug etwa 10 Minuten und ist damit als verhältnismäßig kostengünstig zu bezeichnen.

Das Ergebnis der durchgeführten automatischen Dechiffrierung ist in Bild 6 veranschaulicht, dabei wurden die Rückweisungsklasse weiß und die sechs auszuweisenden Klassen der Flächennutzungsarten in Stufen mit zunehmenden Grauwerten kodiert. Bereits beim übersichtsmäßigen Vergleich mit dem Resultat der visuellen Auswertung ist zu erkennen, daß die Oberflächengewässer und Forstgebiete mit großer Genauigkeit und Detailtreue automatisch ausgegliedert werden können. Die für diese Klassen geschätzten Gütwerte von 96 % und 92 % werden auch bei der Analyse der Gesamtszene erreicht. Der Borgwall-See südöstlich von Stralsund wird bei seiner Größe von ca. 5 km<sup>2</sup> sehr präzise mit seinen Uferzonen wiedergegeben. Mit einer hinreichenden Anzahl von Bildelementen werden ferner der Puttersee und die Stralsunder Stadtteiche erkannt. Nicht erkannt werden der Günzer See, in der Größenordnung von 5 ha sowie Flüsse und Gräben, wie z. B. die Barthe, auch bei maximalem Kontrast ihres Verlaufes zwischen Acker- und Grünlandflächen. Die großflächigen Waldgebiete, der Karniner Forst, der Krinkenhorster Forst und Schwenhagener Forst werden sehr genau in ihren Flächen dargestellt. Auch kleinere Waldgebiete der Größe von 10 ha können noch deutlich ausgewiesen werden, z.B. der Stralsunder Stadtwald. Eine Differenzierung der Bestände in Laub- bzw. Nadelgehölze war nicht möglich.

Mit den innerhalb des Stadtgebietes von Stralsund erhobenen Lernstichproben 13 bis 16 wurde das gesamte Siedlungsgebiet von Stralsund mit befriedigender Genauigkeit ausgegliedert. Bemerkenswert erscheint, daß darüber hinaus auch kleinere Ortschaften wie Prohn, Velgast, Franzburg, Preetz, Altenpleen, Richtenberg und Weitenhagen mit Einwohnerzahlen zwischen 600 und 2000 zumindest noch durch einige Pixel nachgewiesen wurden. Der Flächenanteil der anhand der Trainingsgebiete 5 und 18 bei Neu Barthelshagen und Groß Kordshagen zur Klasse Dauergrünland zugeordneten Bildelemente ist erheblich größer als real. Hier liegt offensichtlich eine Fehlklassifizierung von gewissen begrünten Ackerflächen vor, die zum gegebenen Aufnahmezeitpunkt durchaus plausibel ist.

#### 4. Feststellung von Veränderungen in der Flächennutzung

Zur Feststellung von Veränderungen in der Flächennutzung sind Vergleiche zwischen den Analyseergebnissen aus Aufnahmen zu verschiedenen Zeitpunkten durchzuführen. Dabei treten Probleme auf, die zum einen mit der unterschiedlichen Klassifizierungsgenauigkeit einer Flächennutzungsart zu verschiedenen Zeitpunkten während der Vegetationsperiode bzw. aus Aufnahmen mit unterschiedlichen Aufnahmesystemen verknüpft sind und zum anderen aus unterschiedlichen systematischen geometrischen Verzerrungen und Maßstabsveränderungen herrühren. Zwischen beiden Problemkreisen besteht ein Zusammenhang, da die Klassifizierungsgenauigkeit nur ein relatives, statistisch geschätztes Maß für die Übereinstimmung mit der Realität bleibt, solange keine exakte topographische Anbindung der Bildelemente erfolgt ist. Erst nach Anbindung der Pixel an ein Bezugssystem, z. B. ein topographisches Kartenwerk, besteht die Möglichkeit, durch bodengebundene Erhebungen Aussagen zur absoluten Güte der Analyse bzw. zur Fehlklassifizierung an einem bestimmten Koordinatenpunkt zu erlangen. Es liegt auf der Hand, daß dieses Problem auf Engste mit der Laufendhaltung der entsprechenden Kartenwerke in Verbindung steht. Die topographische Anbindung digitaler Bilddaten ist naturgemäß nur innerhalb gewisser Fehlergrenzen möglich. Für eine Abschätzung der Größenordnung feststellbarer Veränderungen in der Flächennutzung sind diese Lagefehler der Bildelemente gemeinsam mit der Klassifizierungsgenauigkeit zu betrachten.

Vom Untersuchungsgebiet Stralsund wurden die vorliegenden Fragmentdaten mit der Pixelgröße von 80 m x 80 m und die digitalisierten MKF-6-Daten mit der Pixelgröße von ca. 100 m x 100 m einer geometrischen Transformation mit einem kubischen Transformationspolynom unterworfen /6/. Die Bestimmung der 10 Polynomkoeffizienten erfolgte durch Ausgleichung von Paßpunkten nach der Methode der kleinsten Quadrate, getrennt für die x- und y-Richtung. Als Bezugssystem wurde die topographische Karte der DDR im Maßstab 1:200 000 verwendet. Für die Fragmentaufnahmen konnten 36 Paßpunkte sowohl in der Karte als auch in der Visualisierung der Daten identifiziert werden. Günstig erwiesen sich Besonderheiten der Küstenlinie, der Ufer von Binnenseen und Ränder von Waldgebieten vorwiegend in Kanal 4 z.T. aber auch in Kanal 3. Die mittleren Koordinatenfehler  $m_x$  und  $m_y$  der Paßpunkte nach der Transformation betragen  $m_x = \pm 114$  m und  $m_y = \pm 144$  m.

Aus den visualisierten digitalen MKF-6-Daten konnten 26 Paßpunkte (s. Bild 5) festgelegt werden, wobei sich mittlere Koordinatenfehler nach der Ausgleichung von  $m_x = \pm 208$  m und  $m_y = \pm 332$  m ergaben. Geht man davon aus, daß als Maß für die Auflösung A von digitalen Bilddaten die Beziehung  $A = 2\sqrt{2}$  Pixelkantenlänge gilt /4/, so erhält man für die Fragmentdaten einen solchen Wert von rund 180 m und für die MKF-6-Daten den Wert von rund 280 m. Damit wird deutlich, daß die Genauigkeit der topographischen Anbindung nach dem Paßpunktverfahren wesentlich durch die Pixelgröße beeinflusst wird. Eine erhebliche Verringerung der Koordinatenfehler der Bildelemente läßt sich erreichen, wenn man die Transformationskoeffizienten unter Verwendung von Verfahren der Bildkorrelation bestimmt /9/. Das setzt jedoch voraus, daß für die topographische Anbindung ein System von "Paßflächen" an Stelle von Paßpunkten zur Verfügung gestellt und laufend gehalten wird. Diese Paßflächen sollten eine Größe von etwa 10 x 10 Bildelementen aufweisen und könnten zugleich mit als Etalonflächen für die Unterweisung von Klassifikatoren dienen.

## 5. Schlußfolgerungen

Aus den bisherigen Erfahrungen ist abzuleiten, daß sowohl mit visuellen als auch mit rechnergestützten Verfahren aus den verfügbaren Aufnahmedaten qualitativ gleich zu bewertende Ergebnisse bezüglich der räumlichen Verteilung der Hauptflächennutzungsarten erarbeitet werden können. Bezüglich der Detektion von Veränderungen in der Flächennutzung bestehen gegenwärtig jedoch bei den verschiedenen Klassen noch sehr unterschiedliche Bedingungen. Die besten Erwartungen können an Änderungen von Gewässeroberflächen und von Forstgebieten geknüpft werden. Hier besteht die Möglichkeit, örtliche Veränderungen in der Größe von etwa 10 ha sicher zu erkennen, wobei der Fehlklassifizierungsrate und den Fehlern der topographischen Anbindung etwa gleiches Gewicht zukommen.

Bei den übrigen Klassen wird die Veränderungsentdeckung im wesentlichen allein durch Fehlklassifizierungen eingeschränkt.

## Literatur

- /1/ Novy eksperiment po issledovaniju Zemli iz Kosmosa; Issled. Zemli iz Kosmosa, Izdat. Nauka (1981) 1, 5 - 6
- /2/ Barsch, H.: Der Interpretationsertrag von Flugzeug- und Satellitenaufnahmen für die Flächennutzung. Veröff. ZI f. Physik der Erde Nr. 74 (1982), 132 - 138
- /3/ Barsch, H.; Wirth, H.: Ergebnisse der Fernerkundung von Flächennutzungsstrukturen in der DDR im Rahmen des Experiments "RADUGA". Zeitschr. f.d. Erdkundeunterricht 33 (1981) 4, 194 - 156
- /4/ Bormann, P.: Was ist unter dem Auflösungsvermögen eines Fernerkundungssensors



- zu verstehen? Vermessungstechnik, Berlin 29 (1981) 10, 311-335
- /5/ Haase, G.; Schubert, L.: Geographische Forschungen mit Hilfe der Fernerkundung der Erde. Zeitschr. f. d. Erdkundeunterricht 29 (1977) 10, 368-378
- /6/ Harnisch, G.; Marek, G.: Nichtlineare geometrische Transformation von Fernerkundungsaufnahmen. Veröffentlichung ZIPE Nr. 76, Potsdam 1983
- /7/ Kugler, H.; Jänckel, R.: Zur geographischen Interpretation der Multispektralaufnahme "Süßer See". Geographische Berichte, 23 (1978) 2, 99-111
- /8/ Nachtigall, H.: Vergleichende Betrachtungen der Aussagen von aerokosmischen Aufnahmen zu Flächennutzungsstrukturen im Havelländischen Obstanbaugebiet. Diss. A. Pädagogische Hochschule "Karl Liebknecht" Potsdam, 1982
- /9/ Wiesel, W. J.: Paßpunktbestimmung und geometrische Genauigkeit bei der relativen Entzerrung von Abtastdaten. Deutsche Geodät. Kommission, München R. C., H. 268, (1981)
- /10/ Wirth, H.; Schilbach, G.; Weichelt, H.: Rechnergestützte Analyse von MKF-6-Aufnahmen durch überwachte Klassifizierung. Vermessungstechnik, Berlin 28 (1980) 6 194-197
- /11/ Wirth, H.; Schilbach, G.: Beitrag zur automatisierten Aktualisierung thematischer Karten. Vermessungstechnik, Berlin, 30 (1982) 4, 123-126

Probleme der geographischen Interpretation von Ergebnissen digital-automatischer Flächennutzungsdechiffrierungen

von

U. Hengelhaupt und S. Henker<sup>1)</sup>

Digitale Bildverarbeitungen von Multispektraldaten, die auf eine Dechiffrierung der Flächennutzung zielen und nach der Methode der unüberwachten Klassifikation durchgeführt werden, führen zu Klassen von Bildelementen, die durch fernerkundungsspezifische Merkmale beschrieben sind. Aus diesen fernerkundungsspezifischen Merkmalen - in unserem Fall die Originalschwärzungen der Bildelemente in den 6 Kanälen einer MKF-6-Aufnahme aus dem Kosmos bzw. davon abgeleitete Schwärzungen in synthetisierten Hauptkomponenten - kann auf die Remissionseigenschaften der entsprechenden Bodenelemente geschlossen werden, woraus wiederum Schlußfolgerungen bezüglich der stofflich-physikalischen Eigenschaften, d.h. auf der Art der Bodenbedeckung (landcover) ableitbar sind.

---

<sup>1)</sup> Dipl.-Ing. U. Hengelhaupt, Dipl.-Ing. S. Henker, Institut für Geographie und Geoökologie Leipzig

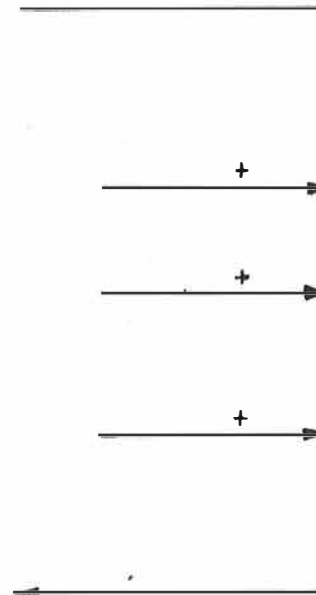
Das Ziel geographischer Untersuchungen geht jedoch in den meisten Fällen über die Erkundung der Art, des Zustandes der räumlichen Anordnung der Bodenbedeckung hinaus, und ist stärker auf die Erkundung der Flächennutzung (land use), d.h. auf das Erkennen der Art und der Intensität einer gesellschaftlichen Inanspruchnahme von Nutzungseinheiten gerichtet. Zwar läßt eine erkundete Struktur der Bodenbedeckung eine näherungsweise Charakterisierung der damit in Verbindung stehenden Funktion im Rahmen des gesellschaftlichen Reproduktionsprozesses und der daraus resultierenden Nutzung zu, doch reicht diese Näherung in den seltensten Fällen aus, um Ergebnisse digital-automatischer Bodenbedeckungsdechiffrierungen problemlos in Flächennutzungskarten zu überführen. Hinzu kommt, daß zur Charakterisierung der Nutzungsarten in Flächennutzungsklassifikationen die in den entsprechenden Kartenlegenden ihren Niederschlag finden, bisher fernerkundungsspezifische Merkmale keine Rolle spielten, sondern ausschließlich geographisch relevante, funktionale Merkmale bzw. -Kombinationen herangezogen wurden. So kann z.B. durch eine rechentechnische Bilddechiffrierung die Klasse "unbedeckter Boden" separiert werden, da diese sich remissionsmäßig von anderen Klassen deutlich unterscheidet, ohne damit geklärt zu haben, ob hier eine gesellschaftliche Inanspruchnahme als "landwirtschaftliche Nutzfläche" oder als "Abbauland" vorliegt.

Die bei der Lösung dieser Aufgabenstellung gewonnenen methodischen Erfahrungen, sowie einige erste Ergebnisse sind der Gegenstand dieses Vortrages. Die zur Anwendung gekommenen Interpretationsmethodik läßt sich in 3 Schritte gliedern und ist in Abb. 1 dargestellt.

Abb. 1: Methodik zur Interpretation von Ergebnissen digital-automatischer Flächennutzungsdechiffrierungen

Ergebnis der rechentechnischen Klassifikation:

- Beschreibung von Bildelementklassen durch fernerkundungsspezifische Merkmale (Schwärzung des Bildelementes)
1. Interpretationsschritt: HYPOTHESEÜBERTRAGUNG
    - Interpretationshypothesen für Bildelementklassen
  2. Interpretationsschritt: HYPOTHESEQUALIFIZIERUNG
    - qualitative Präzisierung der Interpretationshypothesen für Bildelementklassen nach Hauptnutzung
  3. Interpretationsschritt: HYPOTHESEQUANTIFIZIERUNG
    - quantitative Stützung der Interpretationshypothesen für Bildelementklassen nach Nutzungsanteilen



Ergebnis der geographischen Interpretation

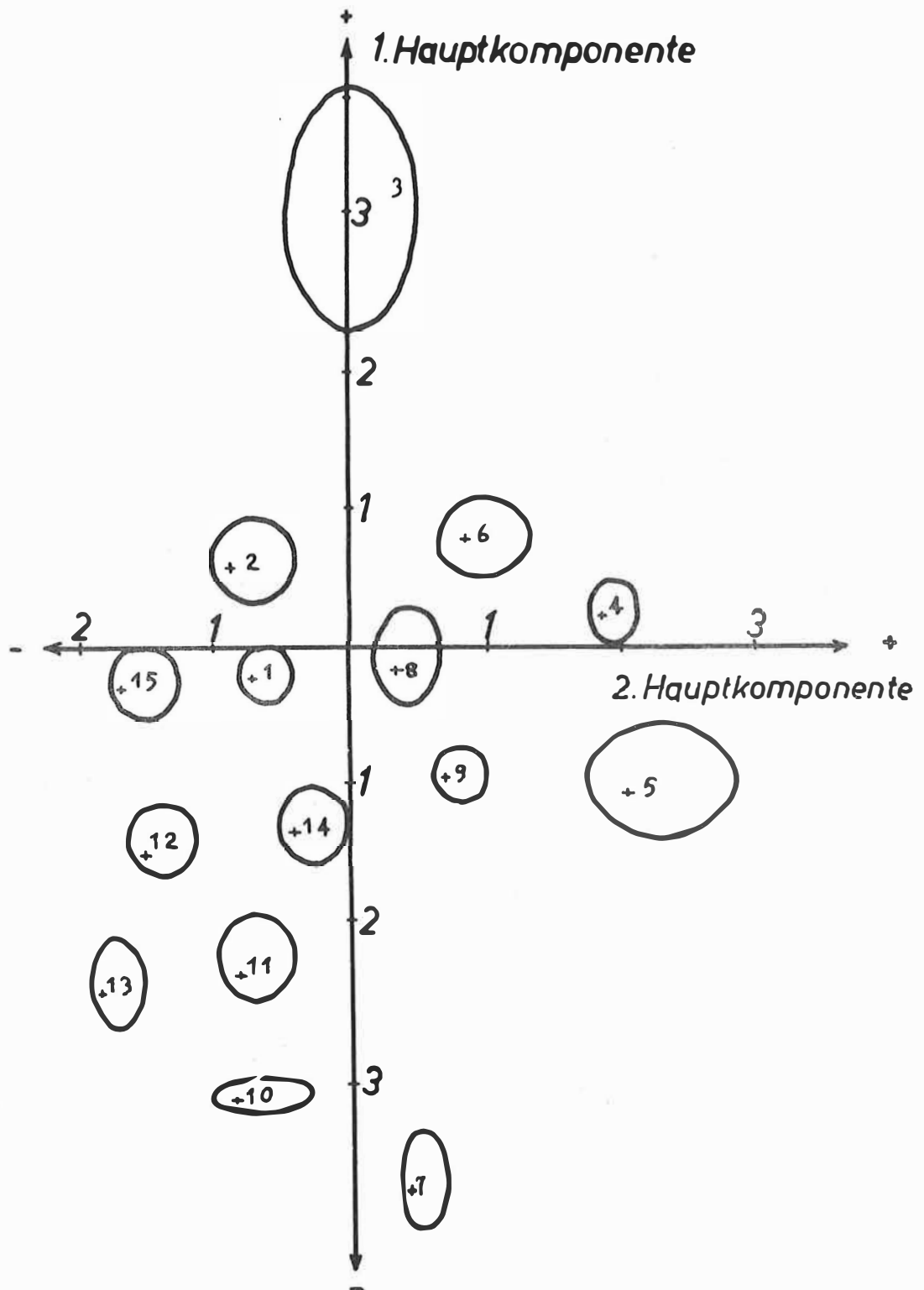
- Beschreibung von Bildelementklassen durch geographisch relevante Merkmale (Nutzung des Bodenelements)

Den Ausgangspunkt für die Interpretation geben die Ergebnisse einer unüberwachten Klassifikation von Stichprobenbildelementen, die einen repräsentativen Ausschnitt der gesamten zu bearbeitenden Szene darstellen sollen. "Repräsentativ" heißt in diesem Zusammenhang, daß alle dem Dechiffrierungsziel entsprechenden Objektqualitäten einschließlich ihrer spezifischen Variation durch die Stichprobenbildelemente zu erfassen sind. Das auf den Stichproben basierende Klassifikationsergebnis läßt sich in unserem Fall in Form von Clustern, die im zweidimensionalen Merkmalsraum lokalisiert sind, darstellen (siehe Abb. 2). Dabei entspricht jeder Cluster einer Klasse von Stichprobenbildelementen, die durch ähnliche fernerkundungsspezifische Merkmale gekennzeichnet sind und somit - zumindest potentiell - auch ähnliche Formen der Bodenbedeckung widerspiegeln.

Das Ziel des ersten Interpretationsschrittes besteht darin, auf die separierten Bildelementklassen Hypothesen bezüglich ihrer Zugehörigkeit zu Klassen der Bodenbedeckung, sogenannte Interpretationshypothesen, zu übertragen. Dazu werden mittels Kontingenzanalyse die Zusammenhänge zwischen den Interpretationshypothesen und den gefundenen Bildelementklassen, auf Basis der hypothesebelasteten Stichprobenbildelemente untersucht (Tab. 1). Wie die Tafel zeigt, kann durch diese erste Hypotheseübertragung bereits für die Mehrzahl der Bildelementklassen eine Interpretationshypothese angenommen werden (z. B. Klasse 5) zutreffend erscheinen. Selbst die Erscheinung, daß für 2 Klassen die gleiche Hypothese in Frage kommt (Klasse 8 und 9 = "Offenland "IX"), ist vertreten.

Obwohl der für diesen Fall ermittelte Kontingenzkoeffizient  $K_1 = 0,41$  bereits einen allgemeinen Zusammenhang zwischen den Bildelementklassen und den Interpretationshypothesen bestätigt, ergibt sich aus den o.g. Beispielen die Notwendigkeit, durch Zusammenfassungen von Hypothesen und durch eine gezielte Kombination der Klassen die gegenseitige Zuordnungssicherheit, d.h. die Eindeutigkeit der Zuordnung, weiter zu erhöhen.

Abb. 2: Ergebnis einer unüberwachten Klassifikation nach 2 Hauptkomponenten



Tab. 1: Kontingenztabelle zur Übertragung von Interpretationshypothesen auf das Klassifikationsergebnis

		I N T E R P R E T A T I O N S H Y P O T H E S E																
		Wasser	Wald	Siedlungsgrün I	Siedlungsgrün II	Siedlung I	Siedlung II	Siedlung III	Offenland I	Offenland II	Offenland III	Offenland IV	Offenland V	Offenland VI	Offenland VII	Offenland VIII	Offenland IX	
B I L D E L E M E N T K L A S S E	10	7		6														
	7		23															
	11	3	1	23	23	7	1	1										
	14	2		1	1	27											6	
	13	7		1			33	11					1					
	15	7			3			13					2					
	12	4		3	4	1	2	6										
	5	1	3	2					33	33	2					9	4	
	4									3	22	1						
	6								1		4	31						
	1				2			1					27					2
	2	1			3								5	31				2
	3										3	1		5	36	9		
	8										2	2						12
	9	2									1							9

Die nächste Kontingenztafel (Tab. 2) verdeutlicht, daß nach einer entsprechenden Manipulation zwischen Bildelementklassen bzw. -kombinationen und Hypothesen bzw. -zusammenfassungen nunmehr bessere, relativ eindeutige Zuordnungsverhältnisse bestehen, was auch im Anwachsen des Kontingenzkoeffizienten  $K_2 = 0,57$  zum Ausdruck kommt.

Tab. 2: Kontingenztafel nach Kombination von Bildelementklassen und Hypothesezusammenfassung

		INTERPRETATIONSHYPOTHESE																
		Wasser	Wald	Siedlungsgrün I	Siedlungsgrün II	Siedlung I	Siedlung II	Siedlung III	Offenland I	Offenland II	Offenland III	Offenland IV	Offenland V	Offenland VI	Offenland VII	Offenland VIII	Offenland IX	
ELEMENTKLASSE	10	7		6														
	7		23															
	11	3	1	46	7	1	1											
	14	2		2	27												6	
	13	7		1		33	11						1					
	15 12	11		10	1	2	19						1					
	5	1	3	2					66	2					9		4	
	4								3	22	1							
	6								1	4	31							
	1			2			1						27					2
	2	1		3									5	31				2
	3										3	1		5	45			
	8 9	2									3	2						21

Nimmt man den Anteil der in der Hauptdiagonalen angeordneten Elemente als Maß für die allgemeine Zuordnungssicherheit - er beträgt in diesem Fall 72 % - so weist auch dies auf die Strenge des Zusammenhangs zwischen den Hypothesen und den Pixelklassen hin. Damit kann im Ergebnis des 1. Interpretationsschrittes eine relative Eineindeutigkeit der Zuordnung zwischen Interpretationshypothesen und Bildelementklassen konstatiert werden.

Der zweite Interpretationsschritt ist auf eine inhaltliche Qualifizierung der Interpretationshypothesen gerichtet. Dabei soll geklärt werden, ob sich die nunmehr schwärzungsmäßig unterscheidbaren Interpretationshypothesen auch nach Kriterien der Flächennutzung charakterisieren und differenzieren lassen. Zu diesem Zweck werden unter Einbeziehung vielfältiger Interpretationshilfen (topographische Karten, großmaßstäbige Flächennutzungskartierungen, Luftbilder, Statistiken, Kataster u.v.a.) und unter Bezugnahme auf sogenannte Schlüsselflächen weitere Informationen zur Kennzeichnung der Bildelementklassen zusammengetragen. Die komplexe Interpretation des Dechiffrierungsergebnisses im Zusammenhang mit den Zusatzinformationen führt in den meisten Fällen zu einer hinreichend genauen inhaltlichen Charakterisierung der Bildelementklassen durch qualifizierte Interpretationshypothesen. Tabelle 3 illustriert diese Vorgehensweise.

Auf diesem Weg konnten für das in Abb. 2 dargestellte Beispiel die folgenden präzisierten Interpretationshypothesen ermittelt werden (siehe Tabelle 4). Außerdem ist dort ein aus Tabelle 2 bestimmtes Maß für die Zuordnungssicherheit zwischen den einzelnen Bildelementklassen und den qualifizierten Interpretationshypothesen angegeben.

Tab. 3 Qualifizierung der Interpretationshypothesen nach Nutzungsmerkmalen (Beispiel)

aus dem 1. Interpretationsschritt		2. Interpretationsschritt			Ergebnis
Bildelementklasse	Interpr.-hypothese	verwendetes Zusatzmaterial	Bezug auf Schlüsselfläche	Nutzungsmerkmale	qualifizierte Interpretationshypothese
14	Siedlung I	Stadtplan Top. Karte 1:10 000	Holzhausen Böhlitz-Ehrenberg Mockau (Siedlung)	Einzelhäuser Villen, große Hausgärten	lockere Bebauung
8 + 9	Offenland IX	Stadtplan Top. Karte 1:10 000	Mockau (Flugplatz) Pfingstanger Wendorfer Aue	Grasland Auwiesen Weiden	Grünland
3	Offenland VII u. VIII	Top. Karte 1:10 000 Schlagkartei	Schlag 19 Schlag 1	beräumte Weizenschläge, Stoppelfelder	unbedeckter Boden
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.

Tabelle 4: Zusammenhang zwischen Bildelementklassen und qualifizierten Interpretationshypothesen

Bildelementklasse	Interpretationshypothese	Zuordnungssicherheit
10	Wasser	22 %
7	Wald	88 %
11	Parks, Friedhöfe, Gartenanlagen	64 %
14	Bebauung, locker	75 %
13	Bebauung, dicht	92 %
15 + 12	Industrie-, Verkehrsanlagen	63 %
5	Zuckerrübe, Luzerne	94 %
4	Feldgras, vital	65 %
6	Feldgras, geschnitten	91 %
1	Weizen, Vollreife	82 %
2	Weizen, Gelbreife	86 %
3	unbedeckter Boden	83 %
8 + 9	Grünland	60 %

Diese Übersicht unterstreicht den Wahrscheinlichkeitscharakter des Zusammenhangs zwischen den Bildelementklassen und den Interpretationshypothesen. Eine absolute Identität ist in keinem Fall gegeben und kann auch nicht erwartet werden. Auffallend ist die ungenügende Wiedergabe der Interpretationshypothese "Wasser", ebenso die schwache Sicherheit für die Hypothesen "Parks, Friedhöfe, Gartenanlagen", "Industrie-, Verkehrsanlagen", "Feldgras, vital" und "Grünland".

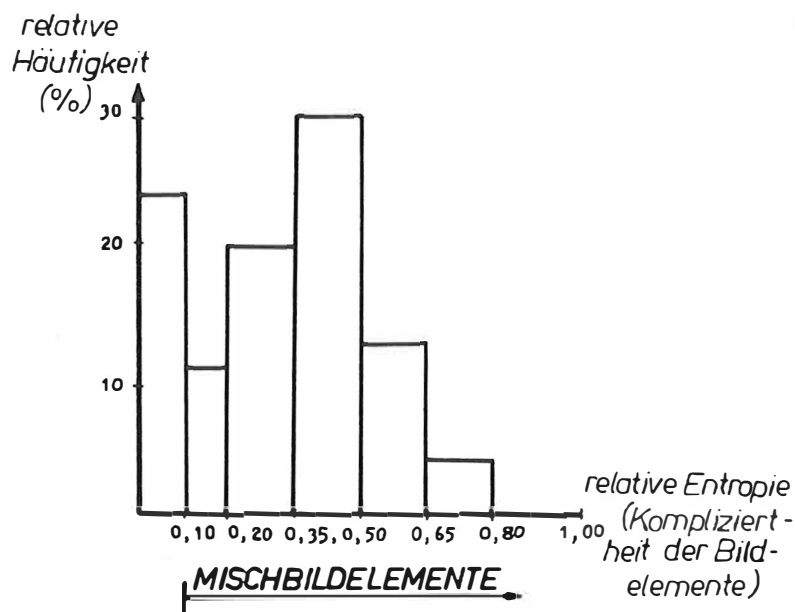
Allgemein kann festgestellt werden, daß Interpretationshypothesen, die zur Wiedergabe der landwirtschaftlichen Nutzungsarten dienen, gegenüber anderen Hauptnutzungsarten (z. B. in Siedlungen) im Durchschnitt eine etwas höhere Zuordnungssicherheit aufweisen.

Ein dritter Interpretationsschritt soll zur quantitativen Stützung der Interpretationshypothesen dienen. Seine Notwendigkeit ergibt sich aus der Überlegung, daß den Bildelementen Bodenelemente einer bestimmten räumlichen Ausdehnung entsprechen und daß bei der realen Größe der Bodenelemente im Regelfall dort mehr als eine Hauptnutzungsart anzutreffen ist. Es liegt demnach eine Nutzungsflächenstruktur vor, die es durch Interpretation zu kennzeichnen gilt. Dazu wurde wieder basierend auf den Stichprobenbildelementen und anhand großmaßstäbigen topographischen Vergleichsmaterials die Zusammensetzung der entsprechenden Bodenelemente nach Nutzungsanteilen analysiert, d.h. für jedes klassifizierte Stichprobenelement wurde der flächenmäßige Anteil der Wohnbebauung, Verkehrsanlagen, Industrieanlagen, Gartenland, Wald, Wasser, Abbauland (Gruben, Halden, Kippen) und Offenland erfaßt.



Zunächst kann auf Grund dieser Zusatzinformation eine quantitative Aussage zur Heterogenität der Bodenelemente abgeleitet werden, was der quantitativen Kennzeichnung gleichkommt. Zu diesem Zweck wurde, basierend auf SHANNON's Entropieformel, die relative Entropie für alle Stichprobenbildelemente bestimmt und damit eine Häufigkeitsverteilung (siehe Abb. 3) erstellt. Es ist offensichtlich, daß der Anteil komplizierter Bildelemente sogenannter Mischbildelemente bzw. Mischpixel relativ hoch ist und bei ca. 75 % liegt. Dementsprechend hoch muß der Anteil heterogener, d.h. von mehr als einer Nutzungsart beanspruchter Bodenelemente sein. Dieses Ergebnis unterstreicht die Bedeutung, die der sogenannten Mischpixelproblematik im Rahmen interpretierender Flachennutzungsuntersuchungen beigemessen werden sollte.

Abb. 3 Histogramm über die relative Entropie der Stichprobenbildelemente



Bezogen auf die einzelnen Bildelementklassen konnten unter Auswertung der Flächenanteile der Nutzungsarten konkret die klassentypischen Nutzflächenstrukturen bestimmt werden. (s. Tab. 5).

Tabelle 5: Mittlere Flächenanteile der Hauptnutzungsarten für die Bildelementklassen (Auszug)

aus dem 1. und 2. Interpretationsschritt		3. Interpretationsschritt								Ergebnis
Bildelementklasse	Interpretationshypothese	Wohnbebauung	Verkehrs-anl.	Industrie-anl.	Gartenland	Wald	Wasser	Abbauland	Offenland	quantitativ gestützte Interpretationshypothese
14	Bebauung, locker	15	20	7	24	3	1	0	30	lockere Wohnbebauung (15 %) mit großem Garten (24 %) und Offenlandanteil (30 %) sowie günstiger Verkehrsanbindung (20 %)
13	Bebauung, dicht	31	24	13	11	2	3	0	16	dichte Wohnbebauung (15 %) mit großem Gar.(24 %) und Industrieanlagen (13 %) durchsetzt und geringem Garten- (11 %) und Offenlandanteil (16 %)
15) 12)	Industrie- und Verkehrsanlagen	22	25	19	10	3	4	7	10	Verkehrs- (25 %) und Industrieanlagen (19 %) mit Wohnbebauung (10 %) durchsetzt und geringem Garten- (10 %) und Offenlandanteil (10 %)
⋮	⋮									⋮

Damit liegt im Ergebnis des dritten Interpretationsschrittes auch eine quantifizierte Aussage über die den jeweiligen Bildelementklassen entsprechenden Nutzflächenstrukturen vor. Diese werden selbstverständlich zur weiteren Qualifizierung und Präzisierung der Interpretationshypothesen verwendet.

Die auf diese Art und Weise gewonnenen Interpretationsergebnisse können die Einbeziehung multispektraler Bildverarbeitungsergebnisse in geographisch orientierte Flächennutzungsuntersuchungen bzw. -kartierungen ganz wesentlich erleichtern. Mit Kennzeichnung der Bildelementklassen durch Merkmale der Nutzflächenstruktur ist - gegenüber der ursprünglichen Ansprache nach fernerkundungsspezifischen Merkmalen - nunmehr eine Voraussetzung gegeben, auch Aussagen zur Nutzungsstruktur, d.h. zur Funktion der Bodenelemente abzuleiten. Diese Feststellung kann nicht darüber hinwegtäuschen, daß es noch eine Vielzahl prinzipieller Probleme bei der Einbeziehung rechentechnisch gewonnener Dechiffrierungsergebnisse in geographische Flächennutzungsuntersuchungen gibt, die gegenwärtig z. B. in einer oft sehr widersprüchlichen Terminologie ihren Ausdruck finden. Dies kann aber nur Anlaß sein, sich einerseits intensiv mit der Qualifizierung geographischer Interpretationsmethoden zu befassen um andererseits auch Flächennutzungstheorie und -terminologie, wie sie uns aus Legenden aktueller Flächennutzungskarten entgegneten, aus der Sicht der Fernerkundung kritisch zu hinterfragen.

Probleme der geometrischen Auflösung bei der  
numerischen Klassifizierung und instrumenten-  
gestützten Photointerpretation

von

R. Siebert, R. Söllner, K.-H. Marek

### 1. Einleitung

Sowohl für die numerische Klassifizierung von Daten der Fernerkundung als auch bei der durch quantitative Messungen gestützten Photointerpretation liefert die Registrierung der von den einzelnen Punkten einer Szene der Erdoberfläche ausgehenden elektromagnetischen Strahlungsanteile das Ausgangsmaterial. Bei Scanneraufnahmen stehen diese Meßdaten in der Regel unmittelbar als digitale Zahlenwerte für jeden Meßpunkt des erfaßten Gebietes der Erdoberfläche zur Verfügung; bei photographischen Aufnahmesystemen können Zahlenwerte, die den Strahlungsgrößen entsprechen, z. B. durch punktweises Photometrieren des transparenten Bildmaterials gewonnen werden. Ziel der Datenauswertung ist, einzelne oder Cluster bildende radiometrische Meßwerte mit konkreten fachspezifischen Aussagen zu verknüpfen. Das bedeutet in der Praxis, für ein natürliches bzw. anthropogenes Objekt die Schwärzungen in den einzelnen Spektralbereichen einer Multispektralaufnahme anzugeben oder mit Hilfe der gemessenen Schwärzungen zu entscheiden, um welches Objekt bzw. welche Objektklasse es sich handelt. Die Ableitung solcher Aussagen ist aber nur dann sinnvoll, wenn die quantitativen Messungen (Schwärzung bzw. Strahldichte in einem Meßpunkt) gewisse Stabilitäts- und Zuverlässigkeitsanforderungen erfüllen bzw. die Varianzen möglichst gering sind.

---

Dipl.-Krist. R. Siebert, Dr. rer. nat. R. Söllner, Dr.-Ing. Karl-Heinz Marek,  
Zentralinstitut für Physik der Erde Potsdam

Von besonderer Bedeutung ist dies bei der Ableitung von Texturmerkmalen, da die Größe des Auflösungselementes letztendlich ausschlaggebend für eine erfolgreiche Objektdifferenzierung ist. Unter dem Gesichtspunkt der Optimierung der geometrischen Auflösung sollen im folgenden einige Ergebnisse vorgestellt und diskutiert werden, die mit zwei einfachen und praktikablen Verfahren für natürliche Objekte an MKF-6-Aufnahmen erhalten wurden. Als Beispiel wurden Objektarten ausgewählt, die sich für eine automatisierte Darstellung von Flächennutzungseinheiten vorrangig empfehlen. Dabei erwies sich eine Unterteilung nach der Objektgröße in zwei Kategorien als vorteilhaft:

1. landwirtschaftliche Getreide- und Pflanzenkulturen mit Einzelobjektgrößen unter 1 m,
2. Wälder und Obstkulturen mit Objektgrößen von einem bis zu mehreren Metern.

Die Gewinnung des Bilddatenmaterials für die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen erfolgte durch manuelles Photometrieren (zur Ermittlung des Pearsonschen Variationskoeffizienten) bzw. durch Abtasten mit der Bildverarbeitungsanlage "Optronics" und Speicherung auf Magnetband (zur Bestimmung der Autokorrelationsfunktion). Die erforderlichen Rechenschritte wurden unter Verwendung problemadaptierter Nutzerprogramme im Rechenzentrum Potsdam-Babelsberg der AdW der DDR durchgeführt.

## 2. Angewandte Verfahren und Ergebnisse

### 2.1. Untersuchung des Variationskoeffizienten

Der Pearsonsche Variationskoeffizient ( $V$ ) stellt bekanntlich die Standardabweichung einer Meßreihe zum dazugehörigen arithmetischen Mittel in Beziehung. Auf Grund der Heterogenität natürlicher Objektindividuen wird der Betrag des Variationskoeffizienten wesentlich von der Größe der Meßfläche bestimmt. Dieser Sachverhalt wird durch Bild 1 am Beispiel von Getreide verdeutlicht. Ist der Meßfleck zu klein, wird über sehr wenige Einzelobjekte integriert und die objektspezifischen Störungen wirken sich in einer hohen Varianz des Meßsignals aus. Bei photometrischer Simulation einer Meßfleckverkleinerung bzw. bei grundsätzlicher Durchführung der Texturanalyse an Filmmaterial kommen bei Aperturen im Bereich einiger Mikrometer hohe Varianzen durch das Kornrauschen hinzu. Bei Vergrößerungen des Meßflecks verkleinert sich der  $V$ , bis sich ein mehr oder weniger stabiler Wert einstellt. Das bedeutet für das Beispiel Getreide, daß eine Integrationsfläche von etwa  $0,3 \text{ m}^2$  erforderlich ist, um ein stabiles und auswertbares Strahlungssignal zu erhalten. Eine weitere Vergrößerung dieser Fläche führt zu einem  $V$  von wenigen Prozent, der nicht weiter absinkt. Es stellt sich ein durch Übertragungskanal und Aufnahmesystem bedingter Wert des  $V$  von etwa 3-5 % ein. Zur Ableitung von Texturmerkmalen sollte sein Wert erfahrungsgemäß mindestens 10 % betragen. Als obere Grenze des  $V$  kann auf Grund praktischer Erfahrungen ein Wert von etwa 15-20 % angegeben werden. Damit können Varianzanteile, die durch Einzelobjektstreuungen hervorgerufen werden, weitgehend ausgeschlossen werden. In der zweiten Objektkategorie ergaben sich erwartungsgemäß Auflösungsparameter, die in einer anderen Größenordnung lagen. Erste Untersuchungen an Kiefernwäldern und Obstplantagen zeigten, daß die optimalen Meßfleckgrößen in Abhängigkeit von den Ausmaßen der Einzelobjekte zwischen

0,5 und 2 m<sup>2</sup> liegen (Bild 2). Bei großen Laubbäumen mit Kronendurchmessern von 10-20 m ist dieser Wert noch größer zu wählen. Diese aus der Analyse von MKF-6-Aufnahmen resultierenden optimalen Auflösungsparameter stimmen weitgehend mit Ergebnissen anderer Autoren, gewonnen aus unterschiedlichen Datenmaterialien, überein. So verwendet Maurer (z. B. /1/, /2/) in seinen umfangreichen Arbeiten zur Texturanalyse Meßwerte, die mikrophotometrisch an Luftbildern landwirtschaftlicher Kulturflächen mit Bodenauflösungen von 0,2-0,3 m ermittelt wurden. Weiterhin hält er die Verwendung von Bildmaßstäben kleiner als 1:10 000 wegen zu geringer geometrischer Auflösung nicht für sinnvoll. Bei der Analyse forstlicher Nutzflächen an Bildern verschiedener Maßstäbe verwendet Masumy /3/ Auflösungselemente von 1,5 m Kantenlänge und führt anhand einfacher statistischer Maße (Mittelwert, Grauwertschwankungen, Standardabweichung usw.) Texturdifferenzierungen durch. Auch er kommt zu dem Ergebnis, daß mit Verkleinerung des Bildmaßstabes unter 1:10 000 die Texturmaße weniger signifikant werden und schließlich bei 1:50 000 kaum noch Differenzierungen möglich sind.

## 2.2. Ermittlung der eindimensionalen Autokorrelationsfunktion (AKF)

Zur Überprüfung und Erweiterung der gewonnenen Aussagen soll im folgenden die Analyse der AKF herangezogen werden, die häufig zur Charakterisierung von Texturen eingesetzt wird. Der Verlauf der AKF (das Autokorrelogramm) liefert insbesondere Aussagen über die im Bild enthaltenen Ortsfrequenzen. Prinzipiell fällt bei groben Texturen, d.h. relativ großen Tönungsflächen, die AKF langsam mit der Entfernung ab; bei feineren Texturen erfolgt ein schneller Abfall der AKF. In dem Maße, wie die Grauwertverteilung räumlich periodisch wird (z. B. Reihenstruktur eines Feldes), nimmt auch die AKF einen periodischen Verlauf ein. Aus der Periodizität des Autokorrelogramms können direkt die Ortsfrequenzen der vorliegenden Textur abgeleitet werden. Zu beachten ist hier allerdings, daß bedingt durch die endliche Länge der Meßwertreihe ein periodischer Anteil vorgetäuscht werden kann. Die Anzahl der Meßwerte sollte wenigstens einige Hundert umfassen. In jedem Fall ist bei der Interpretation gründlich zu analysieren, welche Ortsfrequenzen der Objekt- bzw. Bildstruktur zugeordnet werden können. Nicht signifikante Peaks des Kurvenverlaufs lassen sich z. B. dadurch erkennen, daß sie bei Veränderung der Meßreihenlänge bezüglich ihrer Lage und Amplitude nicht stabil sind. Weitere Angaben zur Analyse der AKF finden sich bei Zweig /4/. Bezogen auf die Ausgangsfragestellung ist jetzt von Interesse, wie und unter welchen Voraussetzungen die für eine bestimmte Textur typische AKF eine Veränderung erfährt, wenn das Auflösungselement schrittweise vergrößert bzw. die Auflösung verschlechtert wird.

Es wurden dazu die eindimensionalen Autokorrelationsfunktionen verschiedener Flächenobjekte für verschiedene Bodenauflösungen berechnet. Die Grenzauflösung ergab sich durch Abtasten eines Bildes mit einem Maßstab von 1:15 000 unter Verwendung eines 50  $\mu$ m-Rasters zu 0,75 m. Die Berechnungen erfolgten für Bodenauflösungen von 0,75 m, 1,5 m (Faktor 2), 3 m (Faktor 4), 6 m (Faktor 8) und 12 m (Faktor 16) durch schrittweise Integration der Ausgangsbildelemente.

Die Länge der Meßreihen umfaßte in Abhängigkeit von den Flächenabmessungen auf dem Bildmaterial 200 bis 600 Meßpunkte. Die Autokorrelation wurde jeweils für 40 Verschiebungen berechnet. Die Auswertung der Autokorrelogramme ergab, daß sich die im Objekt vorrangig vorhandenen Ortsfrequenzen in der Regel deutlich widerspiegeln. Die Integration ist naturgemäß eindeutig bei streng periodischen Objekten möglich (z. B. Reihen von Obstbaumkulturen). Der Abstand der Autokorrelationsmaxima bzw. -minima gibt direkt die Größe der Texturelementarzelle an. Bei Verschlechterung der Auflösung zeigt sich, daß die AKF ihren Verlauf dann markant ändert, wenn diese in die Größenordnung der halben Objektperiode bzw. -wellenlänge kommt. Die Ortsfrequenzen des Objektes sind nicht mehr erkennbar (Bild 3). Damit wird eine Texturanalyse des betrachteten Flächenobjektes unmöglich. Um einerseits eine signifikante Objektklassifizierung durchführen zu können und andererseits möglichst geringe Datenmengen bearbeiten zu müssen, sollte die optimale Auflösung im Bereich zwischen einer viertel bzw. einer halben Objektperiodenlänge liegen. Eine weitere Erhöhung der Auflösung ist deshalb nicht sinnvoll, weil auch hier Einzelobjektschwankungen zu nicht charakteristischen und störenden Anteilen der AKF führen. Problematischer ist die Analyse der AKF bei statistisch verteilten Objekten (Waldgebiete). Durch Vergleich der Auto-korrelogramme, erhalten aus verschiedenen Meßwertreihenlängen, ließen sich die signifikanten Ortsfrequenzen separieren. So konnte für das untersuchte Nadelwaldgebiet eine Vorzugsperiodenlänge von 24 m ermittelt werden, die sich bis zu einer Auflösung von 12 m unschwer erkennen läßt (Bild 4). Ein interessanter Test zum Einfluß einer größer werdenden Apertur auf das mit Hilfe der AKF repräsentierte Abtastergebnis wurde von Zweig /4/ durchgeführt. Er untersuchte das Muster, das von der Silberkornschicht eines photographischen Films gebildet wird und mit der statistischen Textur eines Waldgebietes mit rogelloser Baumverteilung und verschiedenen Baumgrößen verglichen werden kann. Es ergibt sich ein monoton fallendes Autokorrelogramm ohne charakteristische Ortsfrequenzen. Die mit unterschiedlichen Aperturen (Auflösungselementen) durchgeführten photometrischen Messungen zeigten, daß mit größer werdender Apertur die AKF eine Abflachung erfährt und im Grenzfall zur Registrierung einer einheitlichen grauen Fläche führt; die AKF verläuft parallel zur Abszisse.

### 3. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Die Darlegungen lassen erkennen, daß die Ermittlung des  $V$  bzw. die Berechnung der AKF offenbar vergleichbare Ergebnisse bezüglich der Wahl des optimalen Auflösungselements liefern. Aus den Ergebnissen ist ableitbar, welche Anforderungen an das Bildmaterial, das zur Texturanalyse herangezogen werden soll, zu stellen sind und wie das Material zu gewinnen ist. Es wurde weiter ersichtlich, daß bei Texturanalysen und instrumentengestützten Photointerpretationen nicht bedingungslos eine Erhöhung des geometrischen Auflösungsvermögens anzustreben ist, sondern vielmehr das Auflösungselement objekt- und bildmaßstabsbezogen optimiert werden muß. Dieser Umstand hat verständlicherweise positiven Einfluß auf die zu übermittelnden und zu verarbeitenden Datenmengen.

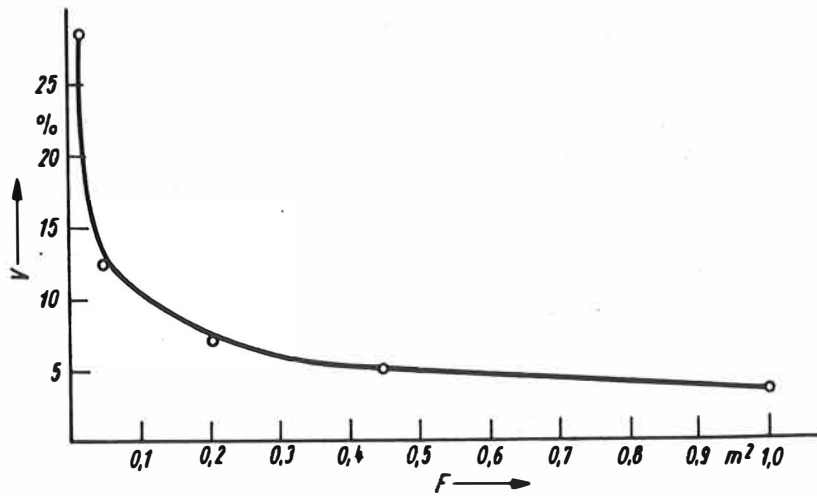


Bild 1. Abhängigkeit des Variationskoeffizienten der remittierten Strahlung von der Meßfleckgröße am Beispiel von Getreide

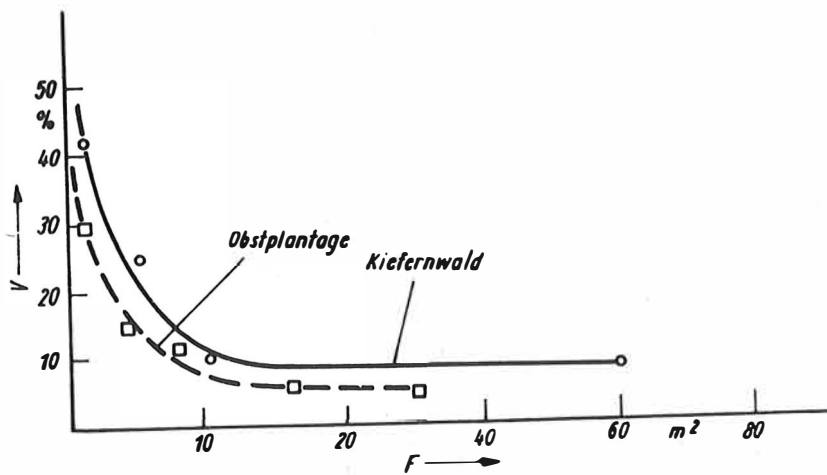


Bild 2. Abhängigkeit des Variationskoeffizienten der remittierten Strahlung von der Meßfleckgröße am Beispiel der Objekt-klassen "Obstplantage" und "Kiefernwald"

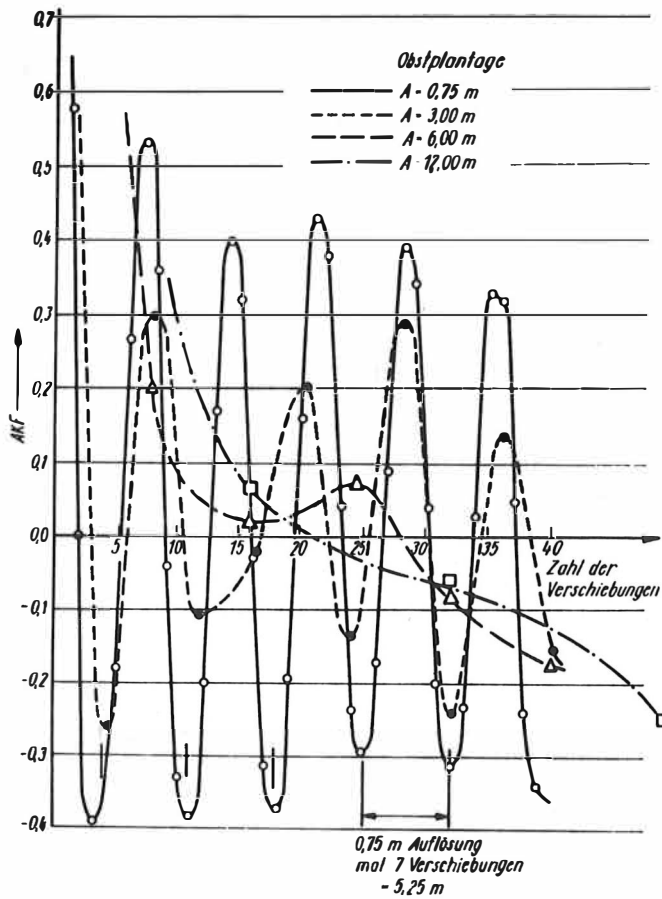


Bild 3. Autokorrelogramme der Objektklasse "Obstplantage" für verschiedene Auflösungen

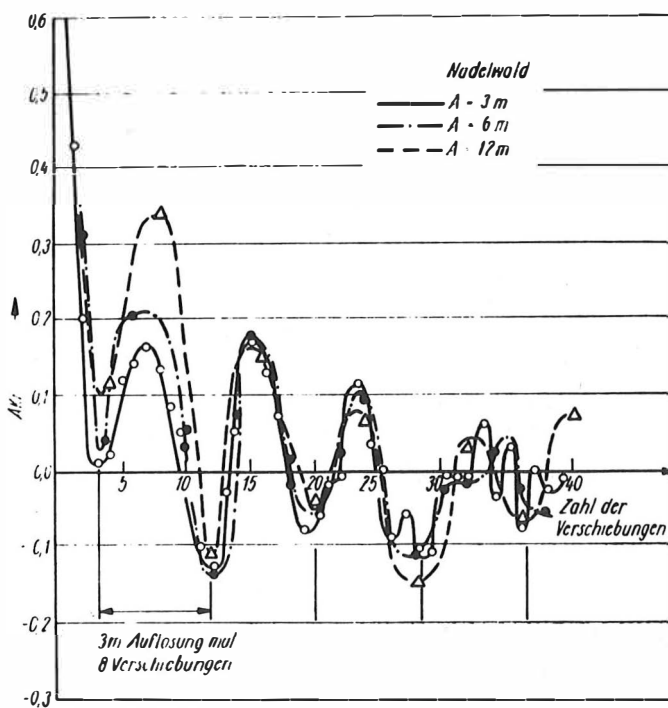


Bild 4. Autokorrelogramme der Objektklasse "Nadelwald" für verschiedene Auflösungen



## 4. Literaturverzeichnis

- /1/ Maurer, H.: Quantifikation of textures - Textural parameters and their significance for classifying agricultural crop types from color aerial photographs *Photoogrammetria*, Enschede, 30 (1974), 1, S. 21-40.
- /2/ Maurer, H.: Automatische Landnutzungskartierung aus Texturparametern. *Vermessungswesen und Raumordnung*, Bonn, 43 (1981), 5, S. 257-268.
- /3/ Masumy, S. A.: Analyse von Texturparametern in Luftbildern und Scanneraufzeichnungen verschiedener Maßstäbe zur Identifizierung von Waldtypen. Dissertation Universität Freiburg i. Br. 1978.
- /4/ Zweig, H.-H.: Autocorrelation and granularity (Teil 1 und 2). *J. Opt. Soc. Am. New York* 46 (1956), Sl. 805-820.

Nichtlineare geometrische Transformation von Fernerkundungs-  
aufnahmen

---

von

G. Harnisch, G. Marek<sup>1)</sup>

### 1. Einleitung

Bei der Auswertung von Fernerkundungsaufnahmen ist es in vielen Fällen erforderlich, die Bilddaten zunächst einer geometrischen Transformation zu unterwerfen. Auf folgende Problemstellungen sei in diesem Zusammenhang hingewiesen:

- Entzerrung, insbesondere von Scanneraufnahmen und photographischen Schrägaufnahmen
- Orientierung, Maßstabsänderungen und Anpassung an vorgegebene Bezugssysteme zur Erleichterung der visuellen Auswertung und als Grundlage für automatische Auswertungsverfahren (z.B. bei Richtungsstatistiken)
- Herstellung deckungsgleicher Aufnahmen aus Bildmaterial unterschiedlicher Entstehung (verschiedene Aufnahmesysteme und Aufnahmezeitpunkte) für multitemporale Auswertungen.

Der folgende Beitrag behandelt das Prinzip der analytischen Transformation digitalisierter Bilddaten mit Hilfe eines kubischen Transformationspolynoms. Am Beispiel einer Schrägaufnahme vom Gebiet der Amazonasmündung werden die Möglichkeiten des Verfahrens demonstriert und Probleme seiner praktischen Anwendung erörtert.

### 2. Das Prinzip der Polynomtransformation

Die Koordinaten des Ausgangsbildes  $(x, y)$  und des Ergebnisbildes  $(x', y')$  werden durch Polynome miteinander verknüpft:

$$x = a_1 + a_2 x' + a_3 y' + a_4 x'^2 + \dots \quad (1a)$$

$$y = b_1 + b_2 x' + b_3 y' + b_4 x'^2 + \dots \quad (1b)$$

oder

$$x' = a_1' + a_2' x + a_3' y + a_4' x^2 + \dots \quad (2a)$$

$$y' = b_1' + b_2' x + b_3' y + b_4' x^2 + \dots \quad (2b)$$

Auf diese Weise wird jedem Punkt des Ausgangsbildes ein Punkt des Ergebnisbildes zugeordnet und umgekehrt (Abb. 1).

---

<sup>1)</sup>Dipl.-Geophys. G. Harnisch, Dipl.-Ing. G. Marek, Zentralinstitut für Physik der Erde Potsdam

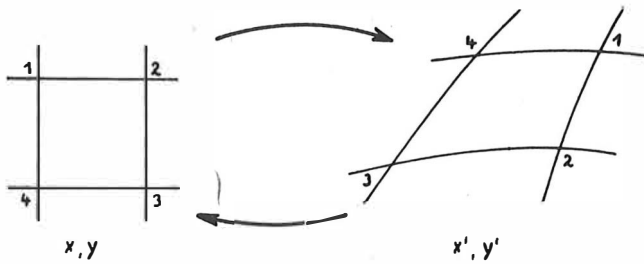


Abb. 1 Prinzip der Polynomtransformation

$$x = a_1 + a_2x' + a_3y' + a_4x'^2 + a_5x'y' + a_6y'^2 + a_7x'^3 + a_8x'^2y' + a_9x'y'^2 + a_{10}y'^3$$

$$y = b_1 + b_2x' + b_3y' + b_4x'^2 + b_5x'y' + b_6y'^2 + b_7x'^3 + b_8x'^2y' + b_9x'y'^2 + b_{10}y'^3$$

$$x' = a'_1 + a'_2x + a'_3y + a'_4x^2 + a'_5xy + a'_6y^2 + a'_7x^3 + a'_8x^2y + a'_9xy^2 + a'_{10}y^3$$

$$y' = b'_1 + b'_2x + b'_3y + b'_4x^2 + b'_5xy + b'_6y^2 + b'_7x^3 + b'_8x^2y + b'_9xy^2 + b'_{10}y^3$$

Die Transformation besteht darin, die Helligkeitswerte des Ausgangsbildes nacheinander auf die korrespondierenden Punkte des Ergebnisbildes zu übertragen. Wird dabei das Ausgangsbild punktweise abgearbeitet ("direktes Verfahren"), dann ergeben sich bei Vergrößerung des Gesamtbildes ebenso wie bei lokalen Vergrößerungen Lücken im Ergebnisbild, die durch Interpolation ausgefüllt werden müßten. Daher ist es günstiger, vom Ergebnisbild auszugehen ("indirektes Verfahren") /1/ /2/. In diesem Fall wird bei Vergrößerungen auf einzelne Punkte des Ausgangsbildes mehrfach zugegriffen, während bei Verkleinerungen die Helligkeitswerte einzelner Punkte nicht übertragen werden.

Die Polynomtransformation ermöglicht eine Anpassung an beliebige Bezugssysteme (Kartenprojektionen); größere Maßstabsänderungen (Vergrößerungen oder Verkleinerungen) sollten jedoch vermieden werden. Gegebenenfalls läßt sich auch der Grad des Transformationspolynoms erhöhen, was jedoch mit einer progressiven Zunahme der Zahl der Transformationsparameter verbunden ist /3/.

Die praktische Durchführung der im Prinzip einfachen Polynomtransformation wird dadurch erschwert, daß sich das Ausgangsbild im allgemeinen nicht im Hauptspeicher einer Rechenanlage unterbringen läßt (insbesondere bei mehrkanaligen Aufnahmen). Daher muß das Ergebnisbild segmentweise abgearbeitet werden, wobei in den Hauptspeicher jeweils nur ein Segment des Ausgangsbildes entsprechend dem dafür reservierten Speicherplatz eingelesen wird. Ein effektiver Programmablauf macht es erforderlich, die Segmentierung des Ergebnisbildes variabel zu gestalten. Nach Abarbeitung eines Segmentstreifens (in Zeilenrichtung) muß der entsprechende Teil des Ergebnisbildes aus den transformierten und zwischengespeicherten Segmenten zusammengesetzt werden.

## 2. Bestimmung der Transformationsparameter

Voraussetzung für die Ausführung einer Polynomtransformation ist die Kenntnis der Transformationsparameter  $a_i$ ,  $b_i$  bzw.  $a'_i$ ,  $b'_i$ . Diese lassen sich mit Hilfe von Paßpunkten bestimmen. Die Paßpunktkoordinaten werden in beiden Systemen ausgemessen und in die Transformationspolynome eingesetzt. Die Transformationsparameter lassen sich daraus durch Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmen. Für die 10 Koeffizienten kubischer Polynome sind mindestens 11 Paßpunkte erforderlich, die möglichst gleichmäßig über den zu transformierenden Bildausschnitt verteilt sein sollten.

Die Auswahl der Paßpunkte erfolgt anhand von markanten Objektkonturen. Geeignet sind insbesondere bei Aufnahmen aus dem Kosmos, Küstenlinien und Grenzen von Waldgebieten, die in den entsprechenden Spektralbereichen deutlich hervortreten und auch auf Karten auszumachen sind.

Die Genauigkeit der Paßpunktbestimmung wird, unabhängig davon, ob es sich um Scanneraufnahmen oder nachträglich digitalisierte photographische Aufnahmen handelt, durch die Größe des Bildrasters ("Pixel") bestimmt. Innerhalb der Pixel sind Bildeinheiten nicht aufzulösen. Durch "Mischpixel" werden die Objektkonturen zusätzlich verwischt. Andererseits ist, wenigstens prinzipiell, bei großem Kontrast mit Hilfe der Mischpixel auch eine Interpolation der Objektkonturen möglich.

### 3. Anwendung der Polynomtransformation auf eine Schrägaufnahme der Amazonasündung

Die Schrägaufnahme vom Mündungsgebiet des Amazonas (Abb. 2) entstammt dem an Bord der Raumstation Salut 6 durchgeführten Experiment "Biosphäre" /4/.

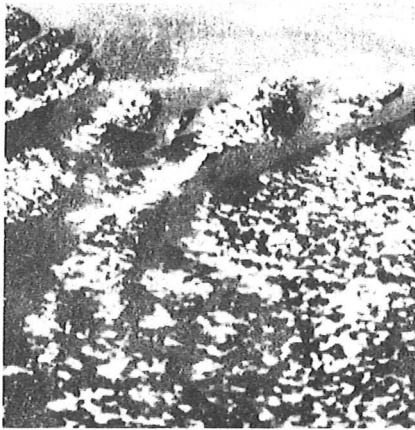


Abb. 2: Schrägaufnahme vom Mündungsgebiet des Amazonas

Sie wurde am 1. 9. 1978 von G. Jähn mit der Kamera Pentacon six-m auf ORWO-Farbfilm NC 19 aufgenommen. Über den größten Teil des Bildes einnehmenden Feuchtsavannen und dem daran anschließenden tropischen Regenwald ist zum Aufnahmezeitpunkt infolge starker Erwärmung konvektive Cumulusbewölkung ausgebildet. Die Flußläufe und Mündungsarme sowie große Teile des Atlantischen Ozeans sind nahezu wolkenfrei, da über den relativ kalten Wasserflächen keine Konvektion entsteht. Durch Windeinfluß werden die Konvektionssysteme seitlich verschoben, so daß im allgemeinen nur die leeseitigen Ufer- und Küstenbereiche wolkenfrei sind. Ein der Küste vorgelagertes, relativ scharf begrenztes Band von etwa 70 bis 100 km Breite, das durch seine abweichende Färbung auffällt, spiegelt die Verbreitung der vom Amazonas mitgeführten Schwebstoffe wider.

Das Original der Aufnahme (Format  $60 \times 60 \text{ mm}^2$ ) wurde mit einem Raster von  $50 \text{ }\mu\text{m}$  unter Vorschaltung eines Rotfilters abgetastet und auf Magnetband aufgezeichnet. Als Bezugssystem für die Transformation diente ein Ausschnitt aus der Weltkarte 1:2 500 000. Infolge der geschilderten meteorologischen Situation kommen für die Auswahl der Paßpunkte nur die schmalen wolkenfreien Streifen an den Ufern der größeren Flußläufe und Mündungsarme in Betracht. Die weiteren Untersuchungen wurden daher auf einen Bildausschnitt nordwestlich der Ilha de Marajó bis zur Einmündung des Rio Xingu beschränkt. In diesem Ausschnitt ließen sich ohne Schwierigkeiten 28 Paßpunkte festlegen; ihre Verteilung ist aus den Abbildungen 3 und 4 zu ersehen.



Abb. 3:

Restabweichungen  $V_k$  nach kubischer Transformation

1 cm



Abb. 4:

Restabweichungen  $V_k$  nach linearer Transformation

1 cm

Abb. 4 zeigt die Verteilung der Restabweichungen im Kartensystem bei linearem Transformationsmodell. Die mittleren Koordinatenfehler betragen  $m_x = \pm 5,6 \text{ mm}$  und  $m_y = \pm 6,2 \text{ mm}$ . Der ausgeprägt systematische Verlauf der Restabweichungen weist darauf hin, daß das benutzte Transformationsmodell der Aufgabenstellung nicht adäquat ist. Bei kubischem Transformationsmodell ergibt sich die zu erwartende zufällige Verteilung der Restabweichungen (Abb. 3), systematische Anteile sind nicht zu erkennen. Diese Aussage wird auch durch die Histogramme der Restabweichungen bestätigt (Abb. 5), die trotz der relativ geringen Anzahl von Punkten etwa einer Normalverteilung entsprechen. Die mittleren Koordinatenfehler betragen  $m_x = \pm 1,2$  und  $m_y = 1,1 \text{ mm}$ , entsprechend  $3,0$  und  $2,7 \text{ km}$  in der Natur.



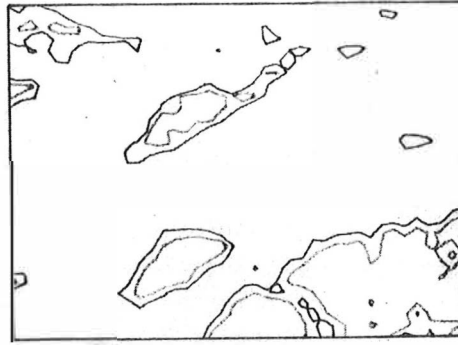


Abb. 7: Transformierter Bildausschnitt mit den Mündungsarmen des Amazonas nordwestlich der Ilha de Marajó, kubisches Transformationspolynom

Abb. 8: Bildausschnitt mit Flußinsel (vor der Transformation) Isoliniendarstellung mit Tischzeichengerät CARTIMAT.

#### Literatur

- /1/ Konecny, G.; Schuhr, W.: Digitale Entzerrung der Daten von Zeilen-Abtastern Bildmessung und Luftbildwesen, Karlsruhe 43 (1975) 4, S. 135-143
- /2/ Wiesel, W. J.: Paßpunktbestimmung und geometrische Genauigkeit bei der relativen Entzerrung von Abtastdaten Dt. geodät. Kommission, R. C., München 1981, H. 268
- /3/ Sobčuk, V. G.: Koordinatnaja privjazka videoinformacii po opornym točkam, Sb.: "Kerokosmičeskie issledovanija Zemli. Metody obrabotki videoinformacii s ispol'zovaniem EVK", Izd. Nauka, Moskva 1978, S. 71-78
- /4/ Marek, K.-H.; Kowal, A. D.: Fotografische Fernerkundung der Erde. Experimente auf der Orbitalstation "Salut 6". Berlin. Akademie-Verlag 1983 (im Druck)

Verzerrungen in kosmischen photographischen Bildern und  
Möglichkeiten ihrer Beseitigung

von  
E. Proß<sup>1)</sup>

### 1. Einführende Bemerkungen

Für eine umfassende Nutzung von Fernerkundungsdaten spielt neben der Interpretation (thematische Information) die kartenmäßige Darstellung (Ortszuweisung) dieser thematischen Information eine große Rolle. Bei einer photogrammetrischen Auswertung ergeben sich für kosmische Aufnahmen prinzipiell neue Gesichtspunkte gegenüber Luftaufnahmen wie Einfluß der Erdkrümmung durch die große Aufnahmehöhe, starke Vergrößerungen der Bilder oder Teile davon und sich daraus ergebende andere Verhältnisse zwischen Aufnahme- und Kartenmaßstab sowie die ausschließliche Verwendung natürlicher Paßpunkte. Andersartige geometrische Verzerrungen in kosmischen gegenüber Luftaufnahmen induzieren andere photogrammetrische Methoden als in der herkömmlichen Luftbildphotogrammetrie. Modifizierungen herkömmlicher Auswertemethoden wären beispielsweise die Verwendung spezieller analytischer Auswertegeräte oder Approximationsverfahren mit herkömmlichen Mitteln. Das unten vorgeschlagene spezielle Entzerrungsverfahren ordnet sich in letzterem ein. Ein neuartiger Zugang zur Staellitenphotogrammetrie stellt die Verwendung von Aufnahmesystemen dar, die durch der Erdgestalt angepaßt sind. Denkbar wären gekrümmte Registriermedien oder spezielle Abtastcharakteristiken (z.B. arbeitet der konische Scanner MSU-SK an Bord des sowjetischen Satelliten METEOR so, daß die Entfernung des aufzunehmenden Geländeteiles der Erdoberfläche zum Satelliten stets konstant ist /3/).

### 2. Geometrische Verzerrungen

In /2/ wurden die unterschiedlichen Einflußfaktoren für geometrische Verzerrungen ausführlich untersucht. Wesentliche Verzerrungen waren dabei der Einfluß der Erdkrümmung - Funktion dritten Grades des Bildwinkels - und der Geländehöhen - lineare Funktion der Geländehöhe und des Bildwinkels (bei größeren Bildwinkeln werden auch Funktionen höherer Ordnung wirksam).

### 3. Vorstellungen über ein Approximationsverfahren

Für photogrammetrische Auswertungen kosmischer Aufnahmen sind große Vergrößerungen typisch (10-50fach). Im Zusammenhang mit Restriktionen für herzustellende Produkte (z. B. Formatbegrenzungen) werden oft nur kleine Teile der Bilder bearbeitet. Hieraus ergibt sich, daß die relativen Verzerrungen in den Bildern von größerer Bedeutung sind als die absoluten und daß eine lineare Approximation der Verzerrungsfunktion im Bild zur Minimierung der geometrischen Verzerrungen und der Maßstabsänderungen möglich ist.

<sup>1)</sup> Dipl.-Math. E. Proß, VEB Kombinat Geodäsie und Kartographie, Forschungszentrum Leipzig



### 3.1. Praktische Bestimmung der geometrischen Verzerrungen

Ein praxisfreundliches Verfahren zur Bestimmung der geometrischen Verzerrungen muß unkompliziert und mit geringem technischen Aufwand arbeiten. In Tafel 1 werden Eigenschaften von Nomogrammen und Rechnern für diese Aufgabe gegenübergestellt.

**Tafel 1:**

	Nomogramm	Taschenrechner	
		programmierbar	nicht programmierbar
Genauigkeit	ausreichend	sehr gut	sehr gut
Geschwindigkeit	gut	sehr gut	ausreichend
Fehleranfälligkeit	gering	sehr gering	groß
Realisierbarkeit	sehr gut	gut	gut
Ansprüche an den Nutzer	gering	sehr gering	groß
Hilfsmittel für Nutzerberatung	sehr gut	geeignet	nicht geeignet

#### Erläuterungen der Nomogrammskalen:

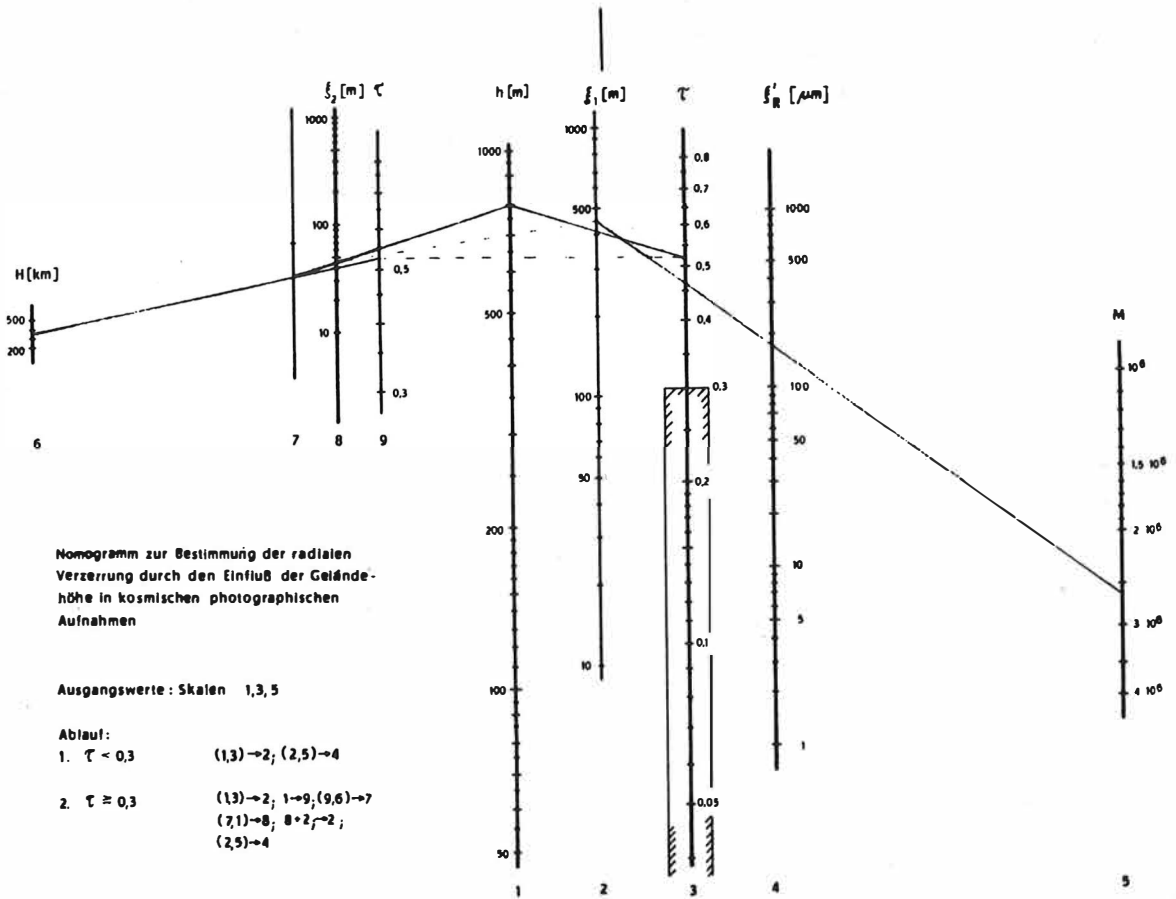
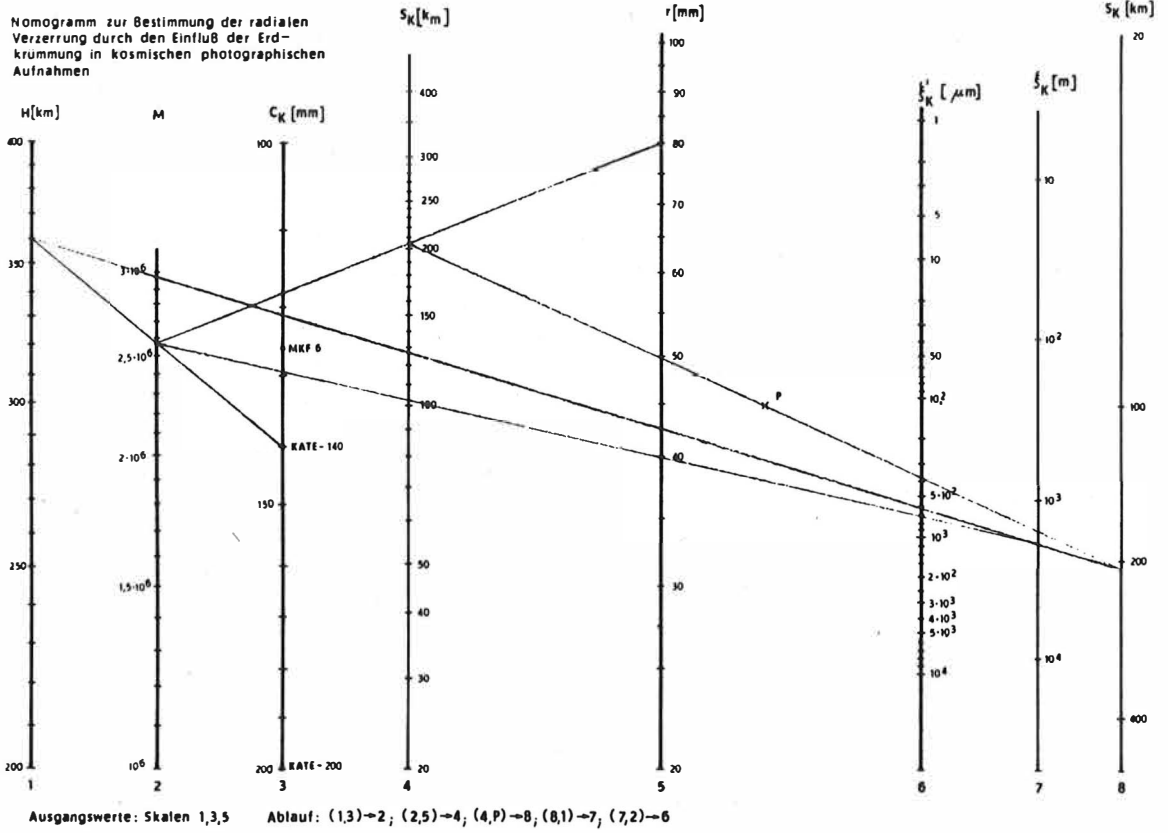
##### Nomogramm 1:

- 1 - Flughöhe
- 2 - Maßstabszahl
- 3 - Kammerkonstante
- 4, 8 - Entfernung in einer Projektionsebene der Erdkugel
- 5 - radialer Abstand im Bild
- 6 - Verzerrung durch den Einfluß der Erdkrümmung im Bild
- 7 - Verzerrung durch den Einfluß der Erdkrümmung auf der Erdoberfläche

##### Nomogramm 2:

- 1 - Geländehöhe
- 2 - Verzerrung durch den Einfluß der Geländehöhen auf der Erdoberfläche (linearer Anteil)
- 3, 9 - Bildwinkel
- 4 - Verzerrung durch den Einfluß der Geländehöhen im Bild
- 5 - Maßstabszahl
- 6 - Flughöhe
- 7 - Hilfsskala
- 8 - Verzerrung durch den Einfluß der Geländehöhen auf der Erdoberfläche (nichtlinearer Anteil)

Hieraus ergibt sich, daß Nomogramme am vielseitigsten geeignet sind.



In den Nomogrammen sind die Gleichungen (6) und (10) aus /2/ realisiert. An einem Beispiel wird die Arbeitsweise demonstriert:

$$c_K = 140 \text{ mm}, H = 360 \text{ km}, r = 80 \text{ mm}, h_G = 800 \text{ m}.$$

Aus dem Nomogramm ergeben sich  $\xi'_K = 0,73 \text{ mm}$  und  $\xi'_R = 0,19 \text{ mm}$ .

Hieraus ergibt sich eine Gesamtverzerrung (s. /2/) von 0,54 mm in dem betrachteten Bildpunkt.

### 3.2. Approximationsverfahren

Nach den konkreten Anforderungen werden für den entsprechenden Bildausschnitt charakteristische Punkte (in Abhängigkeit vom Gelände) in der Nähe der Bildecken bestimmt. Nachdem die zugehörigen radialen Verzerrungen der charakteristischen Punkte im Endprodukt angebracht wurden, wird das Bild nach diesen Punkten entzerrt. Das transformierte Bild läßt sich nun auf Grund der konkreten Verzerrungsfunktion bzgl. verbleibender Lage- und Maßstabsungenauigkeiten einschätzen.

### 4. Zusammenfassung

Für die Reduzierung geometrischer Verzerrungen in Produkten aus kosmischen photographischen Bildern wird ein photogrammetrisches Näherungsverfahren vorgeschlagen. Notwendige Voraussetzung für die Verwendung kosmischer Aufnahmen für kartographische Zwecke sind hohe Lagegenauigkeiten /1/, die nur durch die Reduzierung der aufnahmebedingten geometrischen Verzerrungen erreichbar sind.

### 5. Literatur

- /1/ Guske, W.: Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung von Fernerkundungsdaten bei der Kartenherstellung. ZIPE-Veröff.-Nr. 76
- /2/ Proß, E.: Geometrische Verzerrungen in kosmischen photographischen Aufnahmen. Vermessungstechnik, Berlin 30 (1982) 6, S. 200-203
- /3/ Selivanov, A. S. u.a.: Eksperimental'nyj bortovoj informacionnyj kompleks dlja nabljudenija Zemli. Issled. Zemli iz kosmosa. Moskva, 2 (1981) 5, S. 35-39

Die neue Multispektralkamera MSK-4

von  
G. NICOLAI<sup>1)</sup>

Für das Programm zur Erforschung der Naturressourcen der Erde aus dem Kosmos war 1976 in der ersten Etappe der Erarbeitung der Methoden und technischen Mittel zur Fernerkundung ein Flugzeuginstrumentarium mit einer MKF-6 im Einsatz.

Bereits damals zeigte sich, daß für eine Reihe operativer Untersuchungen von kleinen Gebieten der Erdoberfläche der Einsatz von Flugzeuginstrumentarien effektiv sein kann. Im VEB Carl Zeiss Jena wurde dieser Erkenntnis entsprechend die MKF-6M mit einem Adapter und einem Steuervisier zusätzlich ausgerüstet, so daß ihr Einsatz im Flugzeug möglich war.

Die weitere Vervollkommnung der Aufnahmetechnik sieht ab 1983 die Bereitstellung der neuen Multispektralkamera MSK-4 vor, die ausschließlich für den Flugzeugeinsatz konzipiert wurde. Eine wesentliche Grundlage für die Entwicklung der Multispektralkamera MSK-4 waren die gewonnenen Erfahrungen mit der MKF-6.

Aufbau und Wirkprinzip der MSK-4

Die MSK-4 ist eine vierkanalige Multispektralkamera.  
Die Gesamtapparatur besteht aus den Blöcken

- Kamera mit Aufhängung
- 4 Kassetten
- Steuergerät
- Elektronikblock

Die Hauptbestandteile der Kamera bilden die im Grundkörper eingebauten vier Hochleistungsobjektive vom Typ "PINATAR 4/125", die Verschlüsse mit ihrem Antriebsmechanismus, der Bildwanderungsausgleich und die Vorrichtung zur Aufbelichtung der Hilfsabbildungen.

Die entscheidenden Parameter für die Leistungsfähigkeit der Multispektralkamera MSK-4 werden durch die Objektive bestimmt, die sich bereits in der MKF-6 bewährt haben. Zur Erzielung eines hohen geometrischen Auflösungsvermögens wird jedes Objektiv seinem Spektralbereich angepaßt. Die Kammerkonstanten der vier Objektive werden auf den gleichen Wert justiert und somit ist für einen Multispektralfotosatz ein einheitlicher Abbildungsmaßstab gewährleistet.

Durch Kippen der gesamten Kamera während der Aufnahme wird die Relativbewegung des Flugzeuges zur Erdoberfläche kompensiert. Die erforderliche Kompensationsgeschwindigkeit, eine Funktion von Flughöhe und Fluggeschwindigkeit, ist stufenlos von 10 mrad/s bis 40 mrad/s einstellbar. Hierbei werden auf der Betrachtungsoptik am Steuergerät die Geschwindigkeiten spezieller Wandermarken mit der Relativbewegung des Aufnahmegeländes in Übereinstimmung gebracht, womit die Kompensationsgeschwindigkeit für den Bildwanderungsausgleich und die Bildfolge entsprechend dem gewählten Überdeckungsgrad eingestellt sind.

<sup>1)</sup> Dipl.-Ing. Gerhard NICOLAI, VEB Carl Zeiss JENA

Die in der MSK-4 verwendeten dialektrischen Kanteninterferenzfilter zeichnen sich durch ihre hohe Transmission und eine sehr gute Flankensteilheit aus. Bezüglich Ebenheit und Planparallelität erfüllen die Filter im Aufnahmestrahlangang höchste Ansprüche. Sechs Filter mit den Schwerpunktwellenlängen 480 mm, 540 mm, 600 mm, 660 mm, 720 mm und 840 mm gehören zum Lieferumfang der MSK-4.

Je nach Arbeitsaufgabe kann der Anwender der Kamera spezifische Filterkombinationen zusammenstellen.

Die MSK-4 ist mit elektrisch angetriebenen Drehscheibenverschlüssen ausgerüstet, die sich sowohl in der MKF-6 als auch in der Luftbildmeßkammerproduktion unseres Werkes vielfach bewährt haben.

Gegenüber der bisher im Flugzeugeinsatz befindlichen Multispektralkamera MKF-6M mit Adapter weist die MSK-4 folgende Verbesserungen auf:

1. Durch die Vereinigung des Steuervisiers mit dem Steuerpult zum Steuergerät wird der Bedienkomfort der MSK-4 wesentlich erhöht. Hierbei konnten besonders die guten Erfahrungen bei der Entwicklung der Luftbildmeßkammer *LMK* genutzt werden. Sämtliche Bedien- und Anzeigeelemente sind vom Operateur bequem einsehbar und zu erreichen. Besonders vorteilhaft ist die Projektion des überflogenen Geländes auf eine Mattscheibe am Steuergerät.  
Die erforderliche Kantung und Längshorizontierung wird am Steuergerät eingestellt.

2. Mit Hilfe eines Mikrorechners und einer neuen Ablaufsteuerung wird der Aufnahmezyklus der MSK-4 um mindestens 1 Sekunde auf 3 Sekunden verkürzt.

3. Die Aufbelichtung der Hilfsabbildungen wurde erweitert.  
Auf jedem Bild werden aufbelichtet:

- Bildnummer
- Belichtungszeit
- Blende
- Positioniermarke
- Kamera- und Kanalnummer
- 10-stufiger Graukeil

Zusätzlich wird im Kanal 2 und 3 jeweils die Uhr und die Notiztafel abgebildet. Die Zahl der Strichmarken im nutzbaren Bildformat wurde auf 35 erhöht, wodurch besonders die fotogrammetrische Auswertung der Bilder verbessert werden kann. Die Koordinaten der Strichmarken werden im Gerätepaß mit einer Genauigkeit von  $\pm 1 \mu\text{m}$  angegeben.

4. Die automatische Funktionsüberwachung wurde um die Funktion "Kontrolle Überdeckung", "Kontrolle Kantung" und "Kontrolle Bordspannung" erweitert.

Außer diesen Funktionen werden überwacht und am Steuergerät angezeigt:

- der Filmtransport in allen Kassetten,
- die Verschlusszeiten,
- der Bildwanderungsausgleich.

5. Steckbare Leiterplatten und leicht trennbare Funktionseinheiten führen zu einer Vereinfachung der Wartungs- und Servicearbeiten am Gerät. Zusätzliche Prüfprogramme ermöglichen die Kontrolle einzelner Bausteine des Mikrorechners.

Der Gerätehersteller ist bemüht, für die Auswertung multispektraler Aufnahmen umfassende Informationen über die Parameter des Aufnahmesystems zu geben, die die Kennwerte der Bilder wesentlich bestimmen. Die Kennwerte, die eine multispektrale fotografische Aufnahme charakterisieren, werden in die Gruppen

der spektralen Kennwerte,  
 der photometrischen Kennwerte,  
 der photogrammetrischen Kennwerte,  
 der stereoskopischen Kennwerte,  
 der Detaillierbarkeit auf den Abbildungen und  
 der Identität der Abbildungen aus verschiedenen  
 Kanälen unterteilt.

Jede dieser Gruppen wird wiederum charakterisiert durch eine Reihe von Parametern des Aufnahmesystems, wie zum Beispiel

der spektralen Durchlässigkeit des optischen Systems,  
 der Belichtungszeit,  
 der Helligkeitsverteilung des Bildfeldes,  
 des Auflösungsvermögens u. a. m.

Es ist vorgesehen, mit dem Gerätepaß dem Kunden einen Kalibrierungsnachweis für die Kamera zu übergeben. Auf Anforderung kann bei Angabe der Kameranummer, die auf jedem Bild der MSK-4 abgebildet wird, der Kalibrierungsnachweis an Einrichtungen übergeben werden, die sich mit der Auswertung der Bilder befassen.

In diesem Kalibrierungsnachweis sind enthalten:

- Kammerkonstante und Verzeichnung für jeden Kanal
- Öffnungsverhältnis der Objektive
- Bildfeldwinkel
- Lichtstreuung der Objektive und Filter
- spektrale Transmission der Filter
- spektrale Transmission der Objektive
- Lichtverteilung über das Bildfeld
- Modulationsübertragungsfunktion (MÜF) der Objektive
- Auflösungsvermögen für alle Objektive
- Abweichung der Zentralmarke vom optischen Hauptpunkt
- exakte Koordinaten der Strichmarken im nutzbaren Bildformat
- Parallelität der optischen Achsen aller Objektive zueinander
- Drehung der Koordinatensysteme der Strichmarken von Kanal zu Kanal
- Verschlusswirkungsgrad
- Werte der effektiven Belichtungszeiten
- Energetische Beleuchtungsstärken des Graukeils.

Technische Daten

Anzahl der Objektive	4
Kammerkonstante der Objektive	125 mm
Bildwinkel	38°
Bildformat mit Hilfsabbildungen	70 mm x 93 mm
Bildformat ohne Hilfsabbildungen	56 mm x 80 mm
Auflösungsvermögen (Kontrast logK = 2, Film T28L)	150 Linien/mm
Überdeckungsgrad	20 %, 60 %, 80 %
Film	unperforierter Rollfilm
Filmbreite	70 mm
Kapazität	600 Bilder pro Kanal bei 0,18 mm Filmdicke
Betriebsspannung	24 V ... 29 V
Kantung	± 15°

Literatur

- 1./ AdW DDR,  
AdW UdSSR : "Sojus 22" erforscht die Erde.  
Akademie-Verlag Berlin 1980
- 2./Zickler, A.: Die Multispektralkamera MKF-6M aus Jena.  
Kompendium Photogrammetrie Vol. XIV,  
P. 43 - 49, Jena 1980

Das Aufnahmesystem Luftbildmeßkammer IMK

von

G. VOSS und U. ZETH<sup>1)</sup>

Die zunehmende Leistungssteigerung der photogrammetrischen Datenverarbeitungssysteme erzeugt folgerichtig entsprechend hohe Forderungen an die Gerätetechnik, die das Ausgangsmaterial d. h. das Luftbild, zu liefern hat. Während einerseits sowohl die geometrischen Parameter als auch die Bildgüte der abbildenden Systeme bis an die Grenzen des physikalisch Möglichen gesteigert werden, hat andererseits die Konzeption der Luftbildmeßkammern hinsichtlich Handhabbarkeit, Masse, Dimensionen usw. entsprechende Fortschritte vorzuweisen. Hier gehen insbesondere die heutigen Möglichkeiten der Miniaturisierung, der Übernahme bislang durch mechanische Bauelemente ausgeführter Funktionen durch Mikroprozessorsteuerungen sowie der Verwendung leichterer Baustoffe entscheidend in das Endprodukt ein.

Als Ergebnis einer zielgerichteten Entwicklungsarbeit stellt der VEB Carl Zeiss Jena heute das Aufnahmesystem Luftbildmeßkammer IMK vor, das gegenüber dem bekannten Vorgängertyp MRB wesentliche Veränderungen in der Konzeption und im Gebrauchswert vorzuweisen hat.

Um den Operateur zu entlasten und den Belichtungsvorgang zu objektivieren und zu optimieren, wurde eine automatische Belichtungsregelung durchgeführt. Neuartig an dieser Einrichtung ist das Abgehen von der bisher üblichen integralen Erfassung der Geländehelligkeit. Die Messung erfolgt differentiell; damit wird die Gefahr der Unterbelichtung von Schattenpartien weitestgehend ausgeschaltet. Das Meßprinzip bietet zusätzlich die Möglichkeit, bei Vorgabe des gewünschten Schwärzungsumfanges dem Operateur die notwendige Entwicklungsgradation als Empfehlung anzuzeigen und somit die effektive Filmempfindlichkeit zu präzisieren.

Besondere Beachtung fand bei der Konzeption die Reduktion bildgütemindernder Einflüsse. Neben der Verbesserung der schwingungsisolierenden Eigenschaften der Aufhängung erbringt der erstmalig in der Luftbildmeßkammer dieses Typs realisierte Bildwanderungsausgleich eine beachtliche Steigerung der Bildqualität unter Flugbedingungen. Die Möglichkeit, hochauflösende unempfindlichere Emulsionen einzusetzen bzw. Bildflüge mit längeren Belichtungszeiten auch unter ungünstigen Beleuchtungsverhältnissen durchführen zu können, bringt erhebliche ökonomische Vorteile sowohl bei der Luftbildaufnahme selbst als auch für den gesamten nachfolgenden photogrammetrischen Prozeß.

Weitere Bedienungserleichterungen ergeben sich durch das erweiterte Kontroll- und Anzeigefeld am Steuergerät sowie durch die Fernübertragung der Horizontierung zusätzlich zur Abtrift.

Bei der Konzeption des Aufnahmegerätes wurde besonders darauf geachtet, daß die während des Fluges zu wechselnden Funktionseinheiten Objektivstutzen und Kassette nicht nur erheblich in ihrer Masse reduziert wurden, sondern daß der Wechsel selbst ohne zusätzliche Manipulationen durch den Operateur erfolgen kann.

### 1. Gesamtaufbau des Gerätes

Die Gesamtkonzeption der IMK basiert auf dem bereits in der MRB konsequent durchgesetzten Modularprinzip. Die Zerlegbarkeit des Gerätes in einzelne Funktionseinheiten macht es einerseits möglich, Objektivstutzen unterschiedlichen Bildwinkels mit den-selben Einheiten jeweils zu einem bestimmten Luftbildmeßkammertyp zu komplettieren, reduziert aber andererseits auch die Masse und die Dimensionen der zu handhabenden Modulareile.

<sup>1)</sup> Dipl.-Ing. Günther VOSS und  
Verm.-Ing. Ulrich ZETH, Jena



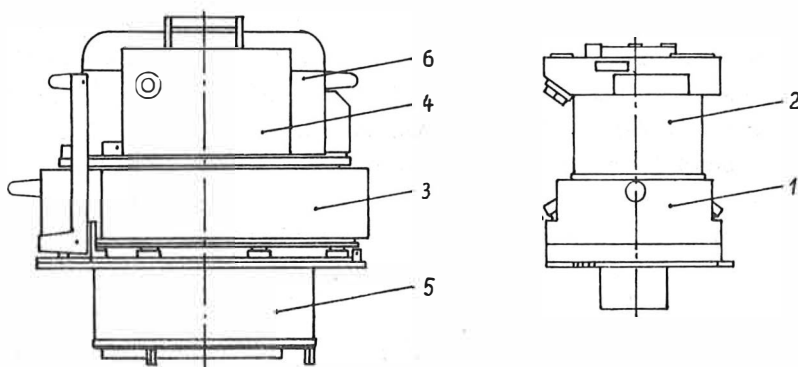
In Verbesserung der MRB-Konzeption wurde Wert darauf gelegt, die während eines Bildfluges zu bewegenden Funktionseinheiten Objektivstutzen und Kassette zur Gewichtserleichterung von allen im Gesamtsystem einmal erforderlichen Baueinheiten zu befreien und diese in einer Funktionseinheit unterzubringen, die auf der Meßkammeraufhängung verbleibt. Zu diesem Zweck wurde die Antriebseinheit geschaffen.

Unverändert übernommen wurde das Prinzip der Trennung in Aufnahmegerät und Steuergerät.

Der Aufbau des Gesamtgerätes ist schematisch in Abb. 1 dargestellt.

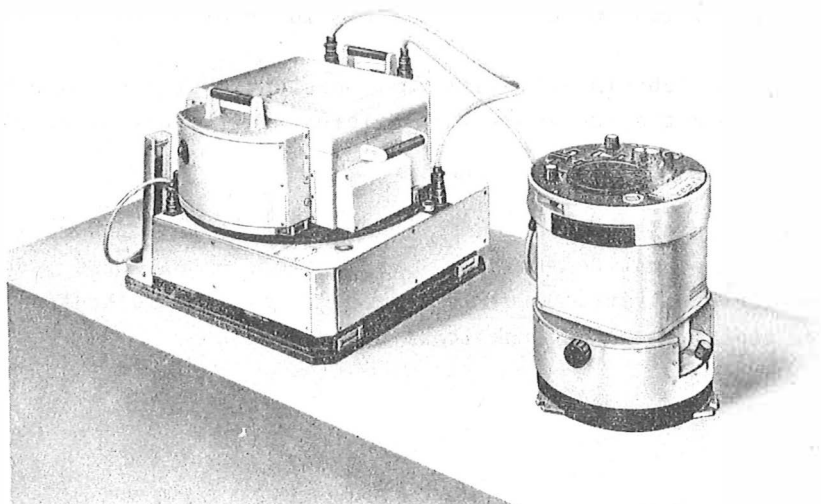
Das Steuergerät als Bedienungs- und Kontrolleinheit besteht aus der fest mit dem Flugzeugboden verbundenen Aufhängung (1) und dem eigentlichen Kommandogerät (2).

Das Aufnahmegerät setzt sich (von unten nach oben) zusammen aus der Aufhängung (3), der darauf fest angebrachten Antriebseinheit (4), dem darin eingesetzten Objektivstutzen (5) als Zentraleinheit und schließlich der Kassette (6).



## 2. Funktionseinheiten

Die Objektivstutzen, die das eigentliche abbildende System (Kamera) darstellen, sind in ihrem Aufbau soweit wie möglich auf diese Funktion reduziert. Sie enthalten neben Objektiv und Bildebene nur noch die notwendigen Nebenabbildungseinrichtungen, den Sensor der Belichtungsmeßeinrichtung und den Verschuß. Damit konnte eine beträchtliche Gewichtserleichterung gegenüber dem Vorgänger erzielt werden.



Die Objektive Superlamegon PI 5,6/90, Lamegon 4,5/150 B und Lamegor PI 5,6/300, deren hohe Leistung bereits im Vorgängergerät nachgewiesen wurde ( /1/ , /2/ , /3/ ), sind in die LMK ohne Änderung ihres optischen Aufbaus integriert worden. Der neuentwickelte Verschluss ist für alle Objektivtypen einheitlich; er ist ohne jegliche Demontage der Objektive und somit ohne die Notwendigkeit einer Neukalibrierung des Objektivstutzens herausnehmbar. Der Anlegerahmen als Bildebene besitzt jetzt ein größeres nutzbares Format von 228 mm x 228 mm und trägt 8 Rahmenmarken, die ein regelmäßiges Gitter mit einer Maschenweite von 110 mm bilden. Die Nebenabbildungen entsprechen im wesentlichen dem Umfang der MRB-Kammer; die Abbildungsmöglichkeit weiterer, ggf. extern erzeugter Daten ist gegeben. Die Handhabung der in ihrer Masse stark reduzierten Filter wurde wesentlich erleichtert. Sie lassen sich bei ausgeschwenkter Kammer bequem seitlich einschieben. Das schmalwinklige ( $1,25^\circ$ ) Sensorsystem für die Messung der Geländehelligkeit ist neben dem Objektiv untergebracht und erfasst die Objektdetails in der Flugtrasse. Durch das zwangsweise Vorschalten des gleichen Filters wird der Meßwert automatisch auf die tatsächlichen Verhältnisse korrigiert.

Die Meßkammeraufhängung wurde in ihrer Dimension verkleinert, und ihre schwingungs-isolierende Wirkung durch Herabsetzen der Eigenfrequenz und einen symmetrischen Aufbau der Schraubenfederlagerung verbessert. Die Kippbewegungen zur Horizontierung übernimmt ein Kardan, dessen Drehpunkt etwa mit dem Projektionszentrum der Aufnahmeobjektive zusammenfällt. Dadurch verringern sich die benötigten Bodenlochdurchmesser auf ein Minimum.

Die Kassette entspricht bezüglich der Anordnung des Filmlaufs und der Filmandruckplatten-gestaltung etwa der bewährten MRB-Ausführung; in ihrer Detailkonzeption wurde sie jedoch durch die Einführung einer Einrichtung zur Kompensation der linearen Bildwanderung verändert. Die im Belichtungszeitraum in der Bildebene durch die Vorwärtsbewegung des Flugzeuges auf-tretende Verschiebung des projizierten Geländebildes gegenüber der bei konventionellen Systemen feststehenden Emulsion erzeugte bisher z. T. eine beträchtliche Verschlechterung der Bildqualität und machte den Einsatz hochauflösender Emulsionen wegen ihrer geringen Empfindlichkeit unmöglich. In der LMK wird die störende Bildbewegung dadurch kompensiert, daß die Andruckplatte mitsamt dem angesaugten Film mit gleicher Geschwindigkeit und in gleicher Richtung verschoben wird. Die Berechnung der Kompensationsgeschwindigkeit über-nimmt der Mikroprozessor bei Verwendung des am Steuergerät ermittelten  $v_g/h_g$ -Verhältnisses. Die maximal kompensierbare Bildgeschwindigkeit beträgt 64 mm/s. Die Belichtung der Rahmen-marken erfolgt mit extrem kurzer Belichtungszeit im Schwerpunkt der Verschlussöffnung. Hierdurch ist zum einen die Scharfabbildung der Rahmenmarken gewährleistet, und zum anderen sind die Bedingungen der inneren Orientierung für den gesamten Bildinhalt streng eingehalten.

Die aus zwei durch einen Ring verbundenen Segmente bestehende Antriebseinheit enthält neben einem Teil der Elektronik für die Kammerfunktionssteuerung die Bauelemente für die Film-andruckplattenfunktion (Sogpumpe und Hubmagneten) sowie die Filmtransportmotoren. Sie verbleibt auf der Aufhängung, so daß die zu bewegenden Modulareile Objektivstutzen und Kassette von den genannten Bauelementen befreit und somit in ihrer Masse reduziert werden konnten. Ein Kontrolltableau auf der Antriebseinheit dient zur Übersicht über den Stand des Zyklus-ablaufs und gegebenenfalls zur gezielten Fehlerlokalisierung bei im Gerät auftretenden Störungen.

Das Prinzip des Steuergerätes als getrennten Kommandogerät mit voll zentralisierter Be-dien- und Kontrollfunktion entspricht dem bewährten MRB-System. Dabei wurde jedoch der Um-fang der angezeigten Elemente erweitert, um den Operateur eine optimale Kontrolle der ab-laufenden bzw. von ihm zu beeinflussenden Funktionen zu ermöglichen.

Die Horizontierung der Steuergeräteaufhängung wird automatisch auf das Kardan der Meßkammeraufhängung übertragen, ebenso wie die azimutale Drehung des Steuergerätes zur Abtriftkorrektur. Letztere wird in der bekannten Weise über den visuellen Abgleich der Bewegungsrichtung des auf der Mattscheibenfläche des Projektionssystems erscheinenden Geländebildes mit den gravierten Kurslinien herbeigeführt. Durch die Einschaltung eines Umkehrprismensystems in den Strahlengang des Projektionssystems wird ein Gleichlauf des Geländebildes mit der sich aus der Flugzeugbewegung ergebenden natürlichen Laufrichtung erreicht und dem Operateur damit das bislang nötige Umdenken erspart. Auf dem Geländebild wird in ebenfalls bekannter Weise das Wandermarkenbild (Stachelband) sichtbar, dessen durch visuellen Abgleich herzustellen Gleichlauf das für die Funktionssteuerung benötigte  $v_g/h_g$ -Verhältnis liefert. Dieses findet Eingang in die Berechnung sowohl der Bildfolgezeit als auch der Bildwanderungskompensation. Das Anzeigefeld des Steuergerätes zeigt u. a. in digitaler Form die eingestellte Blende sowie die auf Grund der Belichtungsmessung benötigte und die im Gerät eingestellte Belichtungszeit. Der Einstellvorgang läuft nach Eingabe der Filmempfindlichkeit und Vorgabe der gewünschten Blende automatisch ab. Hierzu ermittelt der Rechner aus jeweils einem Block von Helligkeitswerten, die von dem Objektivstutzen befindlichen Sensor geliefert werden, einen repräsentativen Minimalwert. Die Abfolge der Minimalwerte wird einem Glättungsprozeß unterzogen, der so ausgelegt ist, daß das System im wesentlichen nur auf großräumigere oder langzeitige Minimalwertänderungen anspricht. Der Rechner ermittelt über die vorgegebene effektive Emulsionsempfindlichkeit zu der eingestellten Blende die notwendige Belichtungszeit und regelt den Verschuß entsprechend ab. Wird der Einstellbereich überschritten, so wird automatisch die Blendeneinstellung korrigiert. Sofern der Gesamtbereich Blende/Belichtungszeit nicht ausreicht, wird der nächstmögliche Belichtungszeitwert verwendet und der Widerspruch zur Soll-einstellung durch Blinken der Anzeige signalisiert. Die Belichtungsautomatik ist abschaltbar, so daß die Parameter auch von Hand einstellbar sind.

Bei abgeschaltetem Bildwanderungsausgleich wird dem Operateur der auf Grund der Bildgeschwindigkeit und der eingestellten Belichtungszeit zu erwartende Bildwanderungsbetrag digital angezeigt.

Ebenfalls angezeigt wird der Längsüberdeckungsgrad, der im allgemeinen mit dem eingestellten Vorgabewert identisch ist. Der angezeigte Istwert weicht jedoch von der Vorgabe ab, wenn die errechnete Bildfolgezeit durch das System nicht realisiert werden kann. Der Kammerzyklus läuft dann in der möglichen Minimalzeit ab. Die sich ergebende geringere Überdeckung wird angezeigt und durch Blinken signalisiert. Dies erfolgt, wenn der Hauptschalter auf Betriebsart "Reihenaufnahme" geschaltet ist. Es gibt ferner die Betriebsart "Minimalzyklus", bei der bewußt auf eine Überdeckungsvorgabe verzichtet wird, und die zur Anwendung kommt, wenn bei der Aufnahme die größtmögliche Überdeckung erreicht werden soll. Eine dritte Betriebsart "Einzelbild" ist für die Aufnahme gezielter Einzelaufnahmen vorgesehen.

Die Folge der Verschußauslösungen in der Aufnahmereihe wird dem Operateur durch eine Bildolgeanzeige in Form eines optisch-analogen "Count-down" angezeigt. Dieser besteht aus einer Gruppe von 10 grünen LEDs, die die Betriebsbereitschaft des Systems signalisieren und in der Zeit zwischen den Verschußauslösungen nacheinander verlöschen. Eine zusätzliche gelbe LED leuchtet in dem Zeitraum vor der nächstfolgenden Verschußauslösung auf, in dem eine zusätzliche Einzelauslösung nicht mehr zulässig ist. Eine rote LED leuchtet während des ablaufenden Kammerzyklus und signalisiert darüber hinaus eventuelle Störungen im System.

Alle Bedien- und Kontrollelemente sind übersichtlich angeordnet und gewährleisten dem Operateur ein bequemes Arbeiten. Das Mattscheibenbild ist durch die neue Lichtschachtanordnung weitestgehend unbeeinflusst vom Störlicht der Umgebung.

### 3. Schlußbemerkung

Das Aufnahmesystem Luftbildmeßkammer LMK stellt gegenüber seinem Vorgänger MRB eine neue Generation von Aufnahmegeräten dar, die auf Grund ihrer neuen Eigenschaften eine beträchtliche Gebrauchswertsteigerung aufweist. Die mit diesem System erreichbaren Ergebnisse gewährleisten ein Optimum an Qualität und Aussagekraft für den nachfolgenden Auswerteprozess.

### Literatur

- /1/ WÜRTZ, G.: Bildgüteeigenschaften der neuen Luftbildobjektive aus Jena. Berichte des III. Internationalen Symposiums für Photointerpretation, Dresden 1970
- /2/ WÜRTZ, G.: Neuentwicklungen von Geräten der Luftbildaufnahmetechnik in Jena in der Zeit von 1972 bis 1979 (New developments of equipment for serial photography from Jena in the period from 1972 to 1979)  
Jenaer Rundschau 22 (1977) 2, S. 79 - 83; XIII. ISP-Kongreß Helsinki 1976 Komm. I; Kompendium Photogrammetrie, Bd. XIV (1980), S. 59 - 70
- /3/ WÜRTZ, G.: Neue photogrammetrische Aufnahmeobjektive aus JENA (New photogrammetric camera lenses from Jena).  
Vermessungsinformation (1980) 2, S. 24; Vermessungstechnik 28 (1980) 6, S. 181;  
XIV. ISP-Kongreß Hamburg 1980 Komm. I: Internat. Archiv für Photogrammetrie Bd. 23 (1980), Teil 1 (Komm. 1) S. 189; Kompendium Photogrammetrie Bd. XV (1981) S. 24

Anwendung der Multispektraltechnik in der  
terrestrischen Photogrammetrie

---

von  
V. KROITZSCH,<sup>1)</sup>  
M. FRUBRICH

RÜGER (1) definiert die Photogrammetrie als ein indirektes physikalisches Meßverfahren zur Bestimmung von Größe, Form und Lage von Objekten durch Messungen an photographischen Aufnahmen der Objekte. Diese Definition deckt sich fast wörtlich mit der Aussage von MEYDENBAUER (2), der als einer der ersten die Bestimmung von Abmessungen aus photographischen Aufnahmen vorgenommen hat. MEYDENBAUERS Arbeiten bezogen sich auf die Denkmalspflege (3), also auf Aufnahmen, die wir heute unter terrestrische Photogrammetrie einordnen würden. Erst wesentlich später wurde die Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen betrieben, die dann allerdings eine solche Bedeutung und einen solchen Umfang angenommen hat, daß die terrestrischen Anwendungen der Photogrammetrie heute zu speziellen oder Sonderanwendungen gerechnet werden. Die Aerophotogrammetrie wird vorwiegend zur Herstellung und Laufendhaltung von topographischen Karten betrieben.

Erst mit der Nutzung von Aufnahmestandpunkten aus dem kosmischen Raum tritt der Begriff der Fernerkundung der Erde auf, der deutlich macht, daß neben der topographischen auch (oder sogar vorwiegend) die radiometrische und semantische Information an Bedeutung gewinnt.

Durch die Fernerkundung der Erde wurden in wenigen Jahren neue Geräte und Verfahren entwickelt. Eines der wichtigsten ist das spektrale Multikonzept, das unter der Bezeichnung Multispektraltechnik in digitaler und analoger, also photographischer Technik angewendet wird.

Die Multispektralphotographie hat sich trotz der Beschränkung auf den visuellen Bereich und das nahe Infrarot als außerordentlich aussagefähig für thematische, stoffliche und vegetationskundliche, also für alle die Bereiche erwiesen, die unter dem Begriff semantische Aussagen zusammengefaßt werden.

Die Vorzüge der Multispektralphotographie sind bekannt (4), deswegen sollen hier nur die wichtigsten aufgezählt werden:

- Langzeitspeicherung im Silberbild
- Bildbearbeitungen am Spektralauszug möglich
- Einbeziehung des Infrarot bis  $\lambda = 1000$  nm
- freie Wahl der Spektralbereiche
- Bildsynthesen in Schwarz/Weiß, Echt- und Falschfarben

Unter diesen Gesichtspunkten erscheint es notwendig, zu untersuchen, auf welchen Gebieten der terrestrischen Photogrammetrie die inzwischen gut entwickelten Verfahren der Multispektralphotographie eingesetzt werden könnten.

Wir können davon ausgehen, daß es nur wenige Anwendungsgebiete gibt, die sich ausschließlich auf geometrische Informationen beschränken. In der Regel wird in allen Bereichen, in denen die Photographie als Hilfsmittel der Forschung, zur Speicherung von Informationen oder zur Dokumentation von Ergebnissen benutzt wird, außer der geometrischen auch die radiometrische und/oder semantische Aussage benötigt. Wir haben in einer Studie (5) eingeschätzt, daß alle Anwender der Photographie, die stoffliche oder farbliche Aussagen benötigen, die Vorteile der Multispektraltechnik nutzen könnten.

Ohne Vollständigkeit anzustreben, seien hier folgende genannt:

Geologie sowohl bei der Aufnahme von Aufschlüssen, Tagebauen, Steinbrüchen, kurzum bei an der Oberfläche anstehenden Gesteinen, aber auch bei Handstücken, Bohrkernen oder Aufnahmen unter Tage.

Bauwesen und Denkmalspflege sind die klassischen Objekte der terrestrischen Photogrammetrie. Bauzustand und Farbgestaltung dieser Objekte sind sehr wesentliche Aussagen, die dabei er-

faßt werden können.

Geographie und Geomorphologie. hier sind alle mit der Vegetation, Urbanisierung und Devastierung zusammenhängender Fragen zu nennen.

Kunstwissenschaft und Restauration: In diesen Gebieten ist die zuverlässige Langzeit-speicherung der Farbinformation wichtig. Die Biologie kann zumindest bei wenig bewegten Objekten mit einbezogen werden, ebenso erfordern bestimmte Fragen der Kriminalistik beweiskräftige Aussagen.

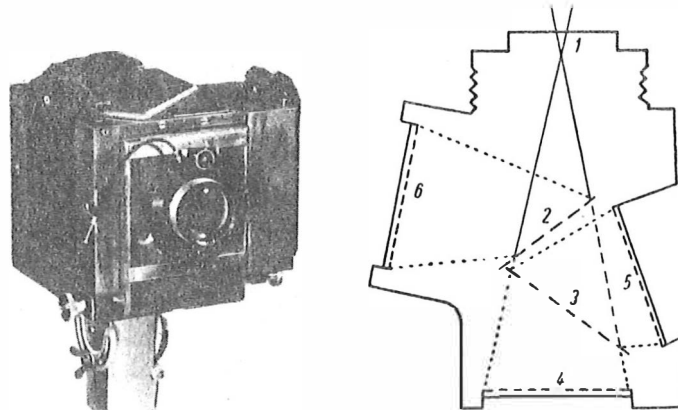
Es muß hier eingefügt werden, daß für die kurzfristige Speicherung der spektralen Information auf Farbfilm oder der Infrarotfarbfilm ( Spektrozonalfilm ) mit gutem Erfolg angewendet werden kann. Wegen der Instabilität der Farbstoffe, die gegenwärtig für den Bildaufbau der Farbfilme verwendet werden, eignen sich diese Materialien aber nicht für die langzeitige Speicherung der Information über Jahrzehnte, wie sie für Bildarchive (Fototheken) erforderlich ist. Gegenwärtig ist das nur mit Hilfe der Multispektraltechnik möglich.

Es gibt, soweit erkennbar, drei Möglichkeiten zur Gewinnung von multispektralen Aufnahmesätzen:

1. simultan über mehrere Kanäle
2. simultan über Strahlenteilung
3. sequentiell

Die Technik der simultanen Aufnahme über mehrere Kanäle wird in der photographischen Fernerkundung der Erde benutzt. Wegen der Bewegung des Aufnahmestandpunktes ist die Gleichzeitigkeit der Aufnahmen Voraussetzung für die Auswertung. Diese Kameras sind für Objekte in großen Entfernungen konstruiert. Bei Aufnahmen im Nahbereich verhindert die konstruktiv bedingte Paralaxe der Objektive eine vollständige Deckungsgleichheit der Negative. Die Technik der Simultanaufnahme mit Strahlenteilung zeigt Bild 1.

Abb. 1



Es handelt sich um eine von BERMPOHL etwa 1920 gebaute Kamera, die in der Reprographie noch bis in die 50er Jahre in Gebrauch war. Die Anpassung der Belichtung erfolgt über die Teilverspiegelung und verschiedene Filterdichten. Noch älter, aber dafür sehr anpassungsfähig, ist die Variante der sequentiellen Aufnahme der verschiedenen Spektralbereiche nacheinander.

Bild 2 zeigt Kameras von Adolf MIETHE etwa 1890.

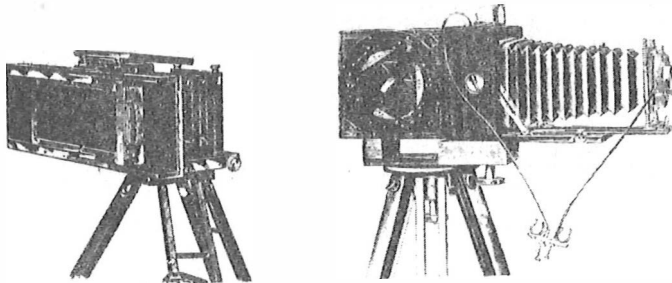


Abb. 2

Es versteht sich, daß dieses Verfahren nur für unbewegte Objekte geeignet ist. Dafür ist es aber mit nahezu jeder Aufnahmekammer durchzuführen und erfordert relativ geringe Änderungen an vorhandenen Geräten.

Auf einige technische Fragen soll im folgenden eingegangen werden:

Die Bildqualität wird in erster Linie durch das Negativformat und die Qualität der verwendeten Objektiv bestimmt. In der terrestrischen Photogrammetrie sind Formate von 80 x 80 mm<sup>2</sup> bis 130 x 100 mm<sup>2</sup> üblich. Je nach Anforderungen können aber auch Formate von 24 x 36 mm<sup>2</sup> (Kleinbild) bis zu 180 x 240 mm<sup>2</sup> benutzt werden. Wir verwenden für unsere Arbeiten eine professionelle Laufbodenkamera im Format 90 x 120 mm<sup>2</sup>. Der Vorzug dieser Kamera ist die Möglichkeit der Anwendung sehr unterschiedlicher Objektiv und Rückteile, so daß der gesamte Bereich von der Makro- bis zur Telephotographie damit untersucht werden kann. Zweitens können durch auswechselbare Rückteile Platten, Planfilme oder Rollfilme verwendet werden.

Bei der Auswahl der verwendeten Filter haben wir uns für die Gelatine-Filterfolien von ORWO entschieden. Das sehr reichhaltige Sortiment von ORWO (6) enthält für alle Aufgabenstellungen geeignete Filter; diese Filter sind preiswert und kurzfristig in vielen Abmessungen lieferbar. Ihre Nachteile, die geringere Flankensteilheit und Transmission ist für die hier aufgezeigten Aufgaben unwesentlich. Hinzu kommt, daß auch in der Fernerkundung wieder zunehmend Filter mit größerer Bandbreite verwendet werden (7, 8).

Die Bilder 3, 4 und 5 zeigen einige Möglichkeiten der Verwendung von Folienfiltern mit Kompendium, Filterrad und als Einsteckfilter.

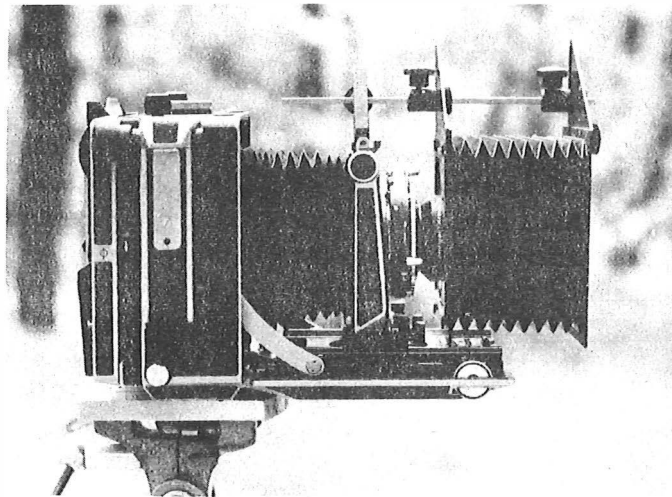


Abb. 3

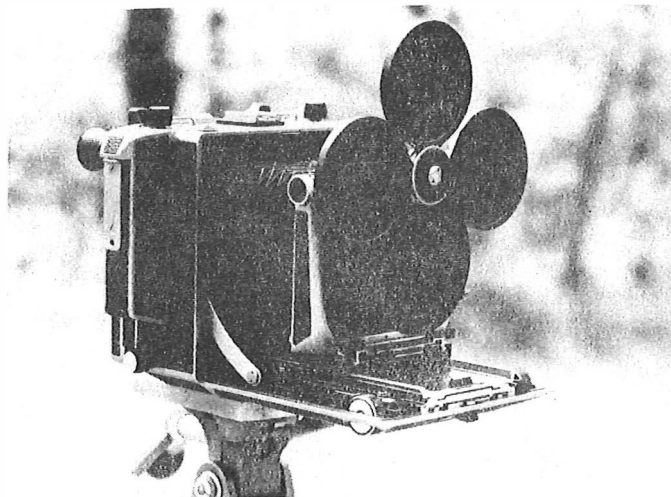
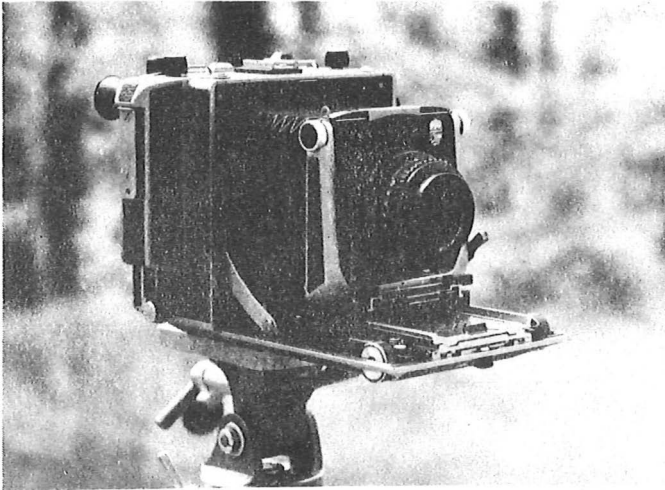


Abb. 4



Abb. 5



Das Objektiv für die Verwendung der Einsteckfilter<sup>ist</sup> ein in der Reproduktionstechnik verwendetes Apo-Germinar 9/240, ein Objektivtyp, der wegen seiner apochromatischen Korrektur hervorragend für diese Aufgaben geeignet ist.

Eine weitere Möglichkeit zeigt Bild 6.

Abb. 6



Hier ist eine Kleinbildkamera mit automatischer Belichtungsregelung mit einem (leider nicht mehr hergestellten) Spiegelobjektiv 4/500 gekoppelt. Da die Belichtungsautomatik dieser Kamera bis 40 sec reicht und die 4 Filter (als Filterrad) im Objektiv eingebaut sind, ergibt sich damit eine sehr effektive Arbeitsweise dieser Kombination. Selbstverständlich können auch Kameras der terrestrischen oder Industriephotogrammetrie verwendet werden.

Drei Bildbeispiele sollen die vorgestellten Überlegungen illustrieren.



Abb. 7

zeigt eine Aufnahme eines Tagebaus in der VR Bulgarien. Die Aufnahmen der Spektralauszüge erfolgten mit einer UMK 1318 des VEB Carl Zeiss Jena.



Abb. 8

Bild 8 zeigt eine Aufnahme eines Objektes der Denkmalspflege (Aufnahmeformat 9x12 cm<sup>2</sup>, ORWO-Filter) Farbsynthese in Standardfalschfarben.

Beide Aufnahmen wurden mit Hilfe des Multispektralprojektors MSP-4 zu Falschfarbensynthesebildern bearbeitet, die lediglich schwarz-weiß wiedergegeben werden können.

Wir glauben, mit diesen hier nur sehr kurz dargestellten Möglichkeiten zeigen zu können, daß die Technik der Multispektralphotographie für viele Wissensgebiete von Bedeutung werden kann.

Aus der Sicht unserer Arbeiten kann nur wiederholt werden, was schon auf der Tagung in Karl-Marx-Stadt gesagt worden ist: Wir benötigen Kammern für die terrestrische Photogrammetrie, die für die Multispektraltechnik geeignet sind. Dies würde auch das vom Kombinat Carl-Zeiss Jena entwickelte multispektrale photographische Fernerkundungssystem in sinnvoller Weise komplettieren.

#### Literaturverzeichnis

- /1/ Rüger, W. u.a. Photogrammetrie (Verfahren und Geräte). VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1978
- /2/ Meyer, R., Photogrammetrie in der Denkmalspflege, Fotografie 35 (1981) H 1. S. 33 - 37
- /3/ Meidenbauer, Alfred: Ein Beitrag zur Geschichte der Preußischen Maßbildanstalt, Fotografie 20 (1966), 2. S. 70-73
- /4/ Kroitzsch, V.: Multispektralphotographie, Bild und Ton, 30 (1977) H. 6, S. 165-174
- /5/ Kroitzsch, V., Frubrich, M.: Terrestrische Anwendungen der Multispektralfotografie ZIPE, Interner Bericht 1981
- /6/ Firmendruckschrift, S. Kaufmann (Redaktion) ORWO Lichtfilter 1981
- /7/ Chevrel, Michele u.a.: The Spot Satellite Remote Sensing Mission, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Falls Church 47 (1981) H. 8, S. 1163 - 1171
- /8/ Mulder, N. L.: Spectral correlation filters and natural color coding ITC-Journal Enschede (1981) H. 3, S. 334 - 356

Das Film-Ein/Ausgabegerät FEAG

von

U. LAACK<sup>1)</sup>

1. Stellung des FEAG in einem System zur digitalen Bilddatenverarbeitung

Zur Verarbeitung von fotografischen Bildern in modernen Bildverarbeitungsanlagen ist eine leistungsfähige und zuverlässige Ein- und Ausgabetechnik erforderlich. Diese Geräte haben innerhalb eines Aufnahme- und Auswertekomplexes, wie z. B. bei der Multispektraltechnik zur Fernerkundung der Erde, Wandlungsfunktionen zu übernehmen.

1. Digitalisierung

Überführung eines Bildes in eine Signalform, die eine Verarbeitung in einer EDVA erlaubt.

Dazu wird die analoge Information, die in Form der Schwärzungsverteilung in der fotografischen Schicht vorliegt, eingegeben und durch Abtastung in eine digitale Information gewandelt. Die Digitalisierung umfaßt dabei sowohl die örtliche Diskretisierung, d. h. die Bestimmung der geometrischen Position jedes Pixels als auch die Quantisierung und Codierung der Transparenz im betreffenden Bildpunkt.

2. Aufzeichnung

Die verarbeitete bzw. gespeicherte digitale Bildinformation wird in eine analoge Form gewandelt und als fotografisches Bild ausgegeben. Dieser Vorgang entspricht einer Visualisierung der digitalen Information.

Mit dem Film-Ein/Ausgabegerät FEAG bietet der VEB Carl Zeiss Jena ein Gerät zur digitalen Abtastung und Aufzeichnung von Schwarz-Weiß-Filmen an, das Bestandteil eines Systems zur digitalen Bildverarbeitung ist.

Wesentliche Charakteristiken des FEAG sind:

- hohe Datenübertragungsraten
- hohe geometrische und fotometrische Auflösung
- Justierbarkeit von multispektralen Aufnahmen (z.B. MKF 6 und MSK 4) zur kongruenten Abtastung
- hoher Automatisierungsgrad bei der Bedienung des Gerätes z. B. durch Verwendung von Filmkassetten.

Das Film-Ein/Ausgabegerät FEAG ist darüber hinaus gekennzeichnet durch eine geräteinterne Steuerung über einen freiprogrammierbaren Mikrorechner. Der Mikrorechner des FEAG ist ein voll ausgebautes Mikrorechnersystem auf der Basis des U 880. Er verfügt, ebenso wie der Steuerrechner des Bildverarbeitungssystems, über eine Einheitsbusstruktur. Beide Rechner sind über einen Controller miteinander verbunden.

<sup>1)</sup> LAACK, Ulrich, VEB Carl Zeiss Jena,  
Forschungszentrum

Die Ein- und Ausgabe von Bilddaten zwischen dem Steuerrechner und dem FEAG wird im FEAG durch das Steuerprogramm asynchron zu den geräteinternen Abläufen abgewickelt. Die Übertragung der Datenmasse erfolgt unter Nutzung des im FEAG-Mikrorechner integrierten DMA-Baustein und der im Controller enthaltenen Mittel zum direkten Speicherzugriff über den Einheitsbus des Steuerrechners.

Die Software zum FEAG besteht aus der

- Betriebssoftware,
- Vorverarbeitungsprogrammen,
- spezieller Anwendersoftware,
- Test- und Diagnosesoftware.

Durch den Einsatz des geräteinternen Mikrorechners ist neben der Entlastung des Steuerrechners von Organisations- und Steuerfunktionen auch die Übernahme von informationsvorverarbeitenden Prozeduren möglich, wenn entsprechende Hard- und Softwareschnittstellen vorhanden sind.

## 2. Wesentliche Eigenschaften und Betriebsarten

Das FEAG ist ein modernes mikrorechnergesteuertes elektromechanisch-optisches Trommel-Abtast- und Aufzeichnungsgerät. Es besteht aus den beiden Teilen Grundgerät und Bedieneinheit.

Das Grundgerät setzt sich im oberen Teil aus den mechanisch-optischen Baugruppen und den Antrieben sowie aus der Elektronik für den Abtastkanal und die hochauflösenden Moiré-Winkelgeber zusammen.

Im Steuerschrank des Grundgerätes sind neben dem Mikrorechnersystem und dessen Stromversorgungen die Ansteuerungen für die anderen Funktionselemente untergebracht.

Die Bedienung des Film-Ein/Ausgabegerätes erfolgt über ein Terminal, das gemeinsam mit dem Zusatzschrank, in dem die Koppereinheit zum Steuerrechner untergebracht ist, und ein Schrank für Zubehör als separate Einheit beige stellt wird. Das Film-Ein/Ausgabegerät kann in zwei Betriebsarten arbeiten:

**Betriebsart 1:** Abtasten und Aufzeichnen bis zu einer Bildpunktübertragungsfrequenz von 200 kByte/s.

Der Austausch von Kommando-, Status- und Videoinformationen mit dem Rechner erfolgt durch Kopplung an den Einheits-Bus des Steuerrechners über den Controller.

**Betriebsart 2:** Schnelles Aufzeichnen bei einer Bildpunktübertragungsfrequenz von 400 kByte/s.

Der Datenaustausch wird durch Kopplung des FEAG an den schnellen Datenkanal realisiert. Dazu arbeitet das FEAG in einem anderen Mode für den Aufzeichnungskanal.

Bei der Betriebsart 1 wird im Schrittbetrieb gearbeitet, während bei der schnellen Aufzeichnung zu einem quasikontinuierlichen Schrägspuraufzeichnungsverfahren übergegangen wird, bei dem ein Schrägversatz der Zeilen von einem Pixel vorliegt.

### 3. Prinzipielle Funktionen des FEAG

Das Film-Ein/Ausgabegerät verwendet für die Ablenkung das im praktischen Einsatz bewährte Trommelprinzip. Diese einfache technische Lösung der transversalen Relativbewegung hat im Vergleich zu anderen Verfahren Vorteile, u. a. die Kompaktheit bei relativ großen Filmformaten, die relativ niedrigen Kosten und die ansprechende Verarbeitungsgeschwindigkeit.

Als Lichtquelle wird ein HeNe-Laser mit linear polarisierter Lichtcharakteristik eingesetzt. Die hohe Energiedichte und gute Fokussierbarkeit des Laserstrahls bilden günstige Voraussetzungen für die Abtastung und Aufzeichnung von fotografischen Bildern. Für die Intensitätsmodulation des Laserlicht bei der Aufzeichnung wird ein akustooptischer Modulator verwendet.

Im Ablauf der beiden Funktionen Abtasten und Aufzeichnen müssen zwei interne Operationen durchgeführt werden, die Bildpunktadressierung und die Energieumwandlung. Die geometrische Zuordnung der Bilddaten in Zeilenrichtung (Trommeldrehrichtung) wird über hochauflösende optische Winkelgebersysteme realisiert. In der orthogonalen Richtung erfolgt die diskrete Positionierung über ein temperaturstabilisiertes Kugelumlaufgetriebe mit Schrittantrieb.

#### 3.1. Optikprinzip

Ausgangspunkt der Optik im FEAG ist ein linear polarisierter HeNe-Laser. Der Laserstrahl wird durch den ersten akustooptischen Modulator (AOM) je nach Zustand der Modulatoransteuerung in zwei Teilstrahlen zerlegt.

Der Abtaststrahl gelangt nach einigen Umlenkeinheiten auf die Defokussiereinrichtung, wo die Leuchtfleckgröße auf der Filmfläche durch die axiale Verschiebung einer Linse variiert wird. Eine Empfängeroptik hinter dem Film transformiert den Abtastfleck auf die Empfängerdiode.

Im Aufzeichnungskanal ist zusätzlich ein Polarisationsfilter angeordnet, mit dem die Beleuchtungsstärke für die Aufzeichnung der Empfindlichkeit des Filmmaterials und dem Fleckdurchmesser angepaßt wird. Außerdem ist im Aufzeichnungskanal ein zweiter AOM, mit dem die Informationsmodulation vorgenommen wird. Eine Defokussiereinrichtung übernimmt wieder die Variation der Leuchtfleckgröße zur Aufzeichnung und die Transformation des Lichtes auf die Filmfläche.

#### 3.2. Elektronikprinzip

##### 3.2.1. Digitalisierung

Voraussetzung für die Digitalisierung sind die definierte Ausgangslage der Zeilenpositionierung, die vom Bediener vorgegeben wird und das Erreichen der Nenndrehzahl der Trommel.

Das durch die Schwärzungsverteilung der Filmvorlage modulierte Licht wird im elektronischen Teil des Abtastkanals weiterverarbeitet. Das Lichtsignal wird in der Empfängerdiode in einen proportionalen elektrischen Wert umgewandelt und verstärkt. Eine Nullpunktregelung gewährleistet, daß der Ausgangswert des Verstärkers immer zu Null geregelt wird. Damit wird in der Zeile eine Relativmessung durchgeführt und gleichzeitig die Schwankungen des Laserlichtes und das Driften des Verstärkers ausgeglichen.



Im anschließenden Analog-Digital-Wandler (ADC) wird jeder Abtastwert in einen 8-Bit-Code gewandelt. Der Befehl zum Wandeln wird über das optische Gebersystem und die elektronische Zeilensteuerung bereitgestellt. Während der Wandlungszeit wird der momentane Abtastwert durch den Sample-Hold-Verstärker (SHA) exakt gespeichert. Die Ausgabe der 8 Bit an den Mikrorechner erfolgt parallel. Durch die Abtaststeuerung werden die digitalisierten Bildinformationen auf dem Bus zum Zeilenpuffer übertragen. Die Abtaststeuerung kann selbst, da sie über eigene Halbleiterspeicher verfügt, Vorverarbeitungsoperationen (Umcodierungen) durchführen. Die Bilddaten werden im DMA-Betrieb aus dem Zeilenpuffer über den Controller an den Steuerrechner übergeben.

### 3.2.2. Aufzeichnen

Nach der Filmeingabe über spezielle Filmkassetten werden wieder die Ausgangsbedingungen vorgegeben. Mit dem Erreichen der Nenndrehzahl werden je nach Betriebsart entweder vom Steuerrechner über den Controller oder vom schnellen Datenkanal über dessen Koppelblock die Bilddaten zum Zeilenpuffer gegeben. Das Auslesen des Zeilenpuffers erfolgt wiederum im DMA-Betrieb über die Aufzeichnungssteuerung, die die Daten dem Digital-Analog-Wandler (DAC) anbietet. In der Modulatoransteuerung erfolgt dann die Modulation des Trägersignals und die Verstärkung. Mit dem AOM wird die punktweise Belichtung realisiert. Es handelt sich dabei um eine Impulshöhenmodulation mit Perioden von  $T=5\mu\text{s}$  und einer Impulslänge von  $t = 500 \text{ ns}$ .

### 4. Filmmaterial

Das zum Einsatz kommende Filmmaterial kann wegen der Wellenlänge des Laserlichtes (632,8 nm) nur panchromatisch sensibilisierter Film sein. Zur Gewährleistung einer ausreichenden fotometrischen und geometrischen Reproduzierbarkeit ist als Schichtträger PETP-Folie (Polyester) konstanter Stärke (0,1 mm) zu verwenden, die u. a. eine höhere mechanische Festigkeit aufweist und den Bedingungen bei der Verarbeitung in einem Filmentwicklungsautomat<sup>er</sup> angepaßt ist.

### 5. Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem Film-Ein/Ausgabegerät FEAG aus dem VEB Carl Zeiss Jena wird das erste Gerät einer Familie von Ein/Ausgabegeräten für die digitale Bildverarbeitung angeboten. In seiner Kombination ist es sowohl zur Digitalisierung von fotografischen Vorlagen im Durchlicht (EINGABE) als auch zur Aufzeichnung von gespeicherten bzw. verarbeiteten Bildinformationen auf Schwarz-Weiß-Film (AUSGABE) innerhalb eines Systems zur digitalen Bildverarbeitung eine wesentliche Komponente.

Weitere Entwicklungen werden sich durch höhere Videodatenübertragungsraten sowie durch mehrkanalige Ausführungen auszeichnen.



Technische Daten des FEAG

Parameter	Abtastung	Aufzeichnung
Übertragungsrate / kByte/s	200	200 (400)
Rastermaß / $\mu\text{m}$	10, 20, 40	
Leuchtfleckgröße / $\mu\text{m}$	10, 15, 20 30, 40, 60	10, 20, 40
Schwärzungsbereich / D	0...2 0...3	0...2, 3
Graustufenauflösung	256 (8 Bit)	64 (6Bit)
Filmformate / $\text{mm}^2$	24 x 24 70 x 91 ...93 100...110 x 100...110 190 x 190 180 x 240 240 x 262 ...268	105 x 148 (A 6) 240 x 300 (240 x 300)
Positioniergenauigkeit		$\pm 10 \mu\text{m}$

Die Angaben im Klammern betreffen die Betriebsart 2.

Rectimat C - ein neues Präzisionsent-  
zerrungsgerät aus Jena

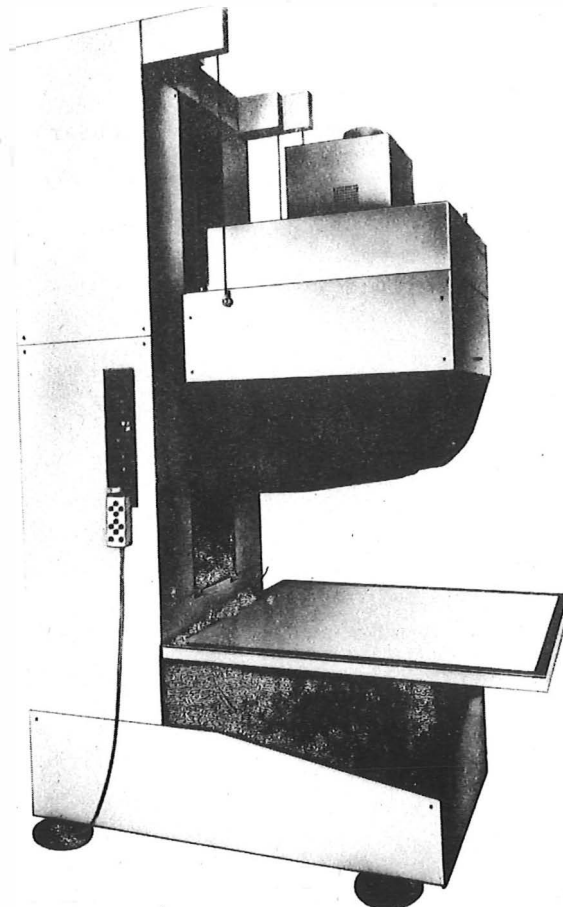
von

J. RULF und R. SCHUMANN

Die Umbildung von Meßbildern, die entweder mit beabsichtigten Neigungen oder mit unvermeidlichen Neigungen gegen eine ideale Aufnahme­richtung behaftet sind, in den Maßstab und die geometrischen Verhältnisse einer gewünschten Karte, ist eine der ältesten Aufgaben in der Photogrammetrie. Aufgrund des Detailreichtums in den Bildplänen und der hohen Arbeitsgeschwindigkeit wird das Entzerrungsverfahren - da wo es die Beschaffenheit des in den Meßbildern enthaltenen Objekts erlaubt und wo nur eine zweidimensionale Darstellung gefordert ist - noch heute vorzugsweise angewendet. Im Hinblick auf die gewachsenen höheren Forderungen an ein solches Gerät hinsichtlich

- Vergrößerungsbereich und Auflösungsvermögen
- Verarbeitung von aerokosmischen Meßbildern
- Ausleuchtung und Farbtüchtigkeit in der Color-Technik durch chromatische Korrektur der Entzerrungsobjektive und des Kondensorsystems
- Verwendung von aus anderen photogrammetrischen Verfahren gewonnenen Meßdaten für die Entzerrung nach Einstellwerten durch hohe Reproduzierbarkeit der optischen Transformation
- ausschnittsweise Vergrößerung von Meßbildern und nicht zuletzt in Bezug auf Bedienkomfort und technischen Fortschritt durch Anwendung von rechnergestützten motorischen Antrieben, entstand in Jena ein neues Präzisionsentzerrungsgerät Rectimat C (Bild 1).

Bild 1  
Rectimat C



<sup>1)</sup> Dr.-Ing. J. RULF und  
Verm.-Ing. R. SCHUMANN

Der Rectimat C ist nach dem Prinzip der vertikalen optischen Achse aufgebaut und besteht aus Beleuchtungseinrichtung, Bildträger, Objektiv und Projektionsebene. Fünf voneinander unabhängige Einstellelemente gestatten die photographische Umbildung aller in der Photogrammetrie vorkommenden Aufnahmefälle.

Zwei Hochleistungswechselobjektive vom Typ Transformar mit den Brennweiten  $f = 150$  mm und  $f = 70$  mm, die gegeneinander ausgetauscht werden können, ermöglichen einen Vergrößerungsbereich von  $v = 0,85$ -fach bis  $8,0$ -fach mit dem Objektiv

$f = 150$  mm und

$v = 3,0$ -fach bis  $18,0$ -fach mit dem Objektiv

$f = 70$  mm.

Bei der Einstellung der Vergrößerung  $v$  wird der Abstand zwischen Objektiv und Projektionsebene  $a'$  (Bild 2) durch Verschieben des Objektivs in der optischen Achse verändert nach

$$a' = f_e (1 + v).$$

Zur Einhaltung der Scharfabbildungsbedingungen nach den Gesetzen der Linsengleichung

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f_e}$$

erfolgt die Nachsteuerung des Abstandes  $a$  von der Bildebene zum Objektiv automatisch nach

$$a = f_e \left(1 + \frac{1}{v}\right).$$

Die Projektionsebene und die Bildebene lassen sich um zwei aufeinander senkrecht stehende Achsen  $\mathcal{S}$  und  $\mathcal{W}$  neigen. Die Bereiche sind  $\mathcal{N} a' \mathcal{S} =$  Neigung der Projektionsebene in  $\mathcal{S} = \pm 15$  gon

bzw.

$\mathcal{N} a' \mathcal{W} =$  Neigung der Projektionsebene in  $\mathcal{W} = -15$  gon bis  $+36$  gon.

Analog dazu erfolgt zur Erfüllung der Schnittlinienbedingung ebenfalls automatisch die Neigung der Bildebene nach

$$\tan \mathcal{S} a \mathcal{S} = \tan \mathcal{S} a' \mathcal{S} \cdot \frac{1}{v}$$

und

$$\tan \mathcal{S} a \mathcal{W} = \tan \mathcal{S} a' \mathcal{W} \cdot \frac{1}{v}$$

Zur Erfüllung der nach den Perspektivbedingungen erforderlichen Bildverschiebung senkrecht zu den Neigungsachsen läßt sich der Bildträger im Bereich

$$e_x = \text{senkrecht zur } \mathcal{S} - \text{Achse} = \pm 40 \text{ mm}$$

und

$$e_y = \text{senkrecht zur } \mathcal{W} - \text{Achse} = +120 \text{ mm bis } -40 \text{ mm}$$

verschieben.

Der Antrieb der einzelnen Freiheitsgrade erfolgt durch analoge Präzisionsstellmotoren. Die Verstellwege werden durch ein digitales Meßsystem registriert und durch eine zentrale Rechereinheit verarbeitet, die wiederum die Steuerdaten für die motorischen Antriebe liefert.

Der optische Aufbau des Rectimat C gliedert sich in Beleuchtungseinrichtung und Abbildungs- und Belichtungseinrichtung. Zur Beleuchtung des Bildes im Bildträger dient eine 250 W/ 24V-Halogenlampe in Verbindung mit einem aus drei Fresnellinsen bestehenden Kondensatorsystem.



Die Lampe ist in Richtung der optischen Achse verschiebbar angeordnet. Die Verschiebung ist bei der Belichtung von Colormaterial im additiven Verfahren nach Einschalten der jeweiligen **Filter** blau, grün oder rot aufgrund der unterschiedlichen Wellenlängen des Lichtes erforderlich und erfolgt über Motorantrieb automatisch mit dem Einschalten der Filter. Zum Ausgleich eines physikalisch bedingten, vom Bildwinkel und der Vergrößerung abhängigen Beleuchtungsstärkeabfalls von der optischen Achse zum Rand hin können konzentrische Verlaufsfiler in den Beleuchtungsstrahlengang eingeschoben werden. In Abhängigkeit von Objektiv, Tischneigung und Vergrößerung tritt ebenfalls physikalisch bedingt bei großen Projektionstischneigungen ein weiterer Beleuchtungsstärkeabfall in der Projektionsebene und zwar in Richtung der Resultierenden der beiden Tischneigungen  $\mathcal{N} \ a' \ \mathcal{S}$  und  $\mathcal{N} \ a' \ \omega$  auf. Zum Ausgleich dieses Beleuchtungsstärkeabfalls kann ein weiteres Verlaufsfiler in der Art eines Graukeils in den Beleuchtungsstrahlengang eingesetzt werden. Die Verdrehung des Graukeils in die Resultierenden aus den beiden Tischneigungen erfolgt automatisch. Die Abbildungs- und Belichtungseinrichtung besteht aus den beiden Wechselobjektiven und einer planparallelen Glasplatte im Bildträger, auf der durch auswechselbare Deckglasplatten die Meßbilder von oben mit Hilfe einer Klemmvorrichtung fixiert werden. Jedes der beiden Objektive (Bild 3) ist mit einem eigenen Blendenrevolver, Filterrevolver und Verschuß ausgerüstet, die im parallelen Strahlengang zwischen den beiden Hauptebenen der Objektive angeordnet sind. Der Blendenrevolver hat die Blendenstufe  $f : 5,6; 8; 11; 16$  und  $22$ . Der Filterrevolver ist mit drei strengen Auszugsfiltern blau, grün und rot für die Colorbelichtung, zwei Dunkelraumfiltern orange und dunkelgrün und einem Klarglasfilter ausgestattet. Die weiß lackierte und geschliffene Oberfläche der Tischplatte dient als Projektionsschirm.

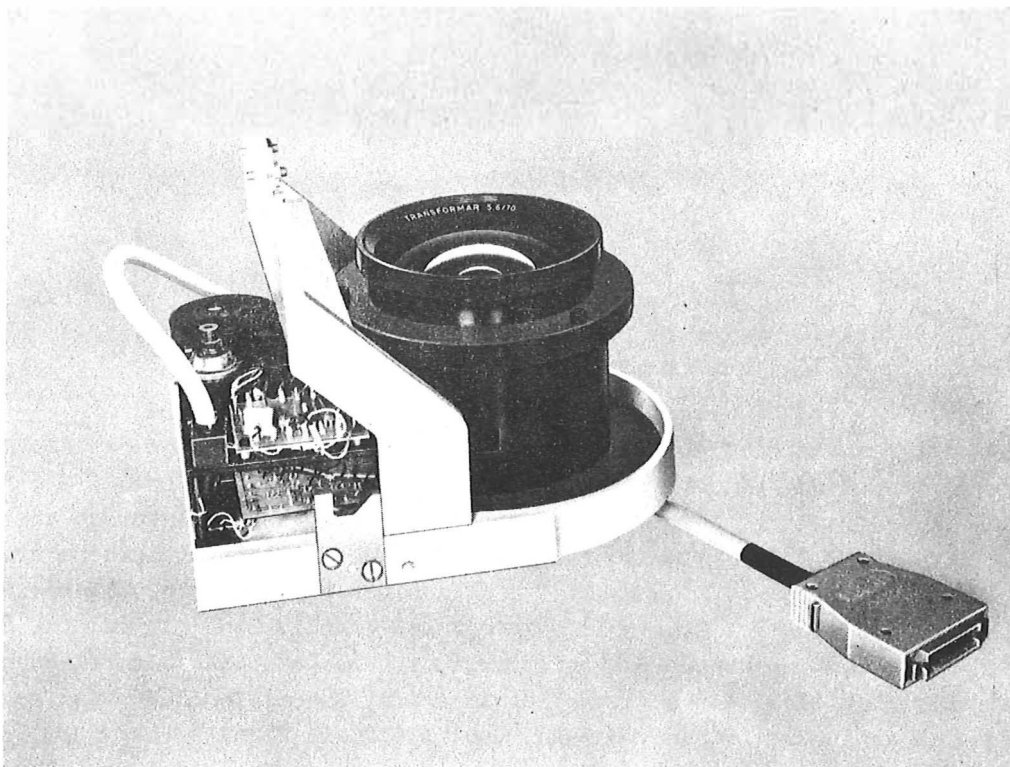


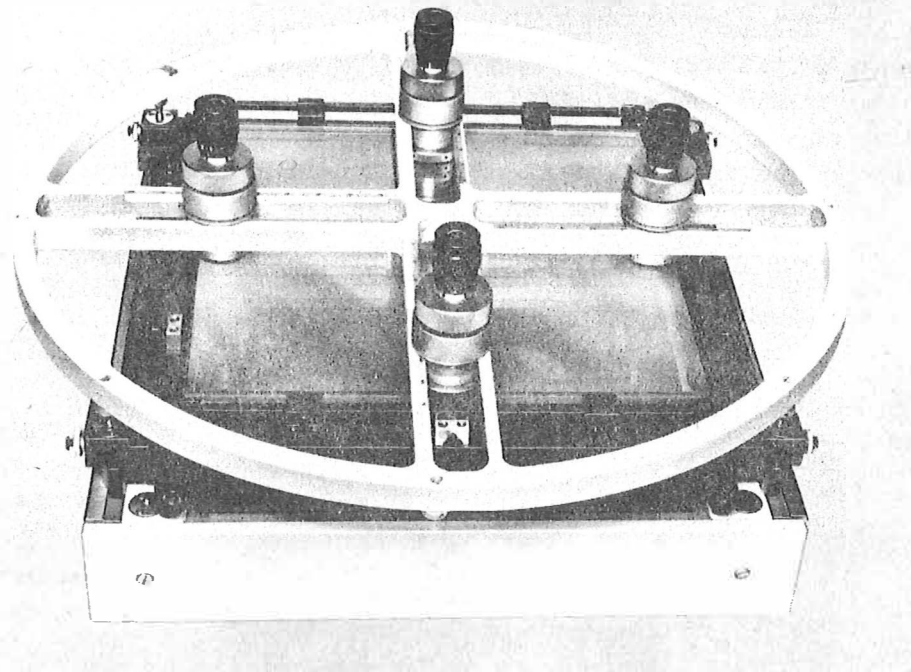
Bild 3

Objektiv Transformar 5,6/70

Die zur Entzerrung vorgegebenen Meßbilder können ein maximales Bildformat 30 cm x 30 cm, beliebigen Maßstab und beliebige Aufnahmekammerkonstanten haben und mit terrestrischen Meßkammern, Luftbildmeßkammern oder kosmischen Aufnahmesystemen in Schwarz-Weiß oder Color hergestellt sein. Es besteht die Möglichkeit, Meßbilder sowohl auf Glas als auch Film, zerschnitten oder in unzerschnittenen Rollen in den Bildträger einzulegen. Veränderliche Formatmasken gestatten die stufenlose Einstellung freier Öffnungen von 5 cm x 5 cm bis 23 cm x 23 cm. Die planparallele Glasplatte in der Bildebene im Bildträger hat zum Zweck des Zentrierens der Meßbilder für die Entzerrung nach Einstellwerten ein Mittenkreuz und Einpaßmarken in den Seitenmitten und in den Bilddiagonalen für das Format 30 cm x 30 cm. Die Zentrierung der Meßbilder geschieht außerhalb des Gerätes und speziell für kleinere Bildformate als 30 cm x 30 cm mit Hilfe einer Einpaßvorrichtung und einem Leuchtpult (Bild 4).

Bild 4

Einpaßvorrichtung mit Bildträger und Leuchtpult

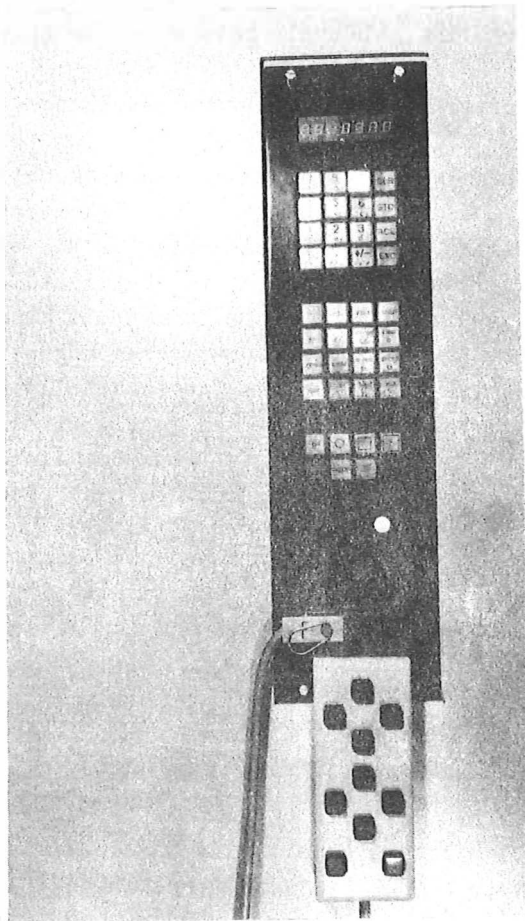


Zu dem Zweck ist der Bildträger herausnehmbar. Die Projektionsebene hat das Format 110 cm x 120 cm und ist als Saugtisch mit vier Saugzonen ausgebildet. Die Zonen sind getrennt zu schalten und ermöglichen dadurch das Ansaugen verschiedener Formatgrößen photographischer Schichtträger. Am Rand der Projektionsebene sind ringsum Stahlleisten eingelassen. Zum exakten Ansaugen des Photomaterials können Beschwererleisten mit Magneten aufgelegt werden, die auf den Stahlleisten haften. Die Gerätekonzeption wurde in Kompaktbauweise realisiert, so daß auch alle elektrischen und elektronischen Funktionsgruppen zentralisiert an der Rückseite hinter den vertikalen Führungssäulen angeordnet werden konnten. Über steckbare Kabel erfolgt die Verbindung der Meß- und Antriebssysteme für die einzelnen Freiheitsgrade mit der zentralen Elektroneinheit.

Nach Bild 2 können primär die Einstellelemente des Projektionstisches und die Projektionsentfernung ( $\vartheta a' \vartheta$ ,  $\vartheta a' \omega$ ,  $a'$ ) motorisch angetrieben verändert werden. Die daraus resultierenden notwendigen Weg- und Winkeländerungen des Bildträgers werden nicht mehr über mechanische Inversoren realisiert, sondern ein Mikroprozessor errechnet die Steuerdaten zur Erfüllung der Schnittlinien- und Scharfabbildungsbedingungen (Scheimpflug- und Newton-Bedingung) für die motorischen Antriebe der Bildträgerneigungen ( $\vartheta a \vartheta$ ,  $\vartheta a \omega$ ) und des Abstandes ( $a$ ) zwischen Bildträger und Objektiv. Alle Zustände der Positionierung des gesamten Systems können im manuellen Dialog über eine spezielle numerische Anzeige dargestellt werden. Für die Bedienung des Gerätes sind zwei Bedienpulte, ein stationäres und ein portables (Bild 5) vorgesehen.

Bild 5

Bedienpult des Rectimat C



Das stationäre Bedienpult ist fest im Gerät installiert und dient zur Ein- und Ausgabe von Daten, zur Wahl von Arbeitsprogrammen, Filter und Blenden, zum Schalten der Saugzonen im Projektionstisch und dergleichen. Es sind 1 Programm für die Zuordnung des Gerätes und 5 Arbeitsprogramme vorgesehen

Die Arbeitsprogramme sind

- Entzerrung nach Paßpunkten
- Entzerrung nach Einstellwerten
- Schwarz-Weiß-Belichtung
- Color-Belichtung
- Übernahme der Daten des Istzustandes in den Speicher.

Das Programm für die Zuordnung des Gerätes bewirkt die Zuordnung von Mechanik und elektronischem Rechner. Nach jedem Aus- und wieder Einschalten des Gerätes oder nach dem Auswechseln der Objektive ist eine solche Zuordnung erforderlich. Die mechanische Geräteeinstellung als solche bleibt nach dem Aus- und wieder Einschalten des Gerätes zwar erhalten, aber die entsprechende Zuordnung des elektronischen Rechners geht verloren.

Mit dem Zuordnungsprogramm erfolgt die Nullstellung der Projektionstisch- und Bildträgerneigungen, der Bildverschiebung  $e_x$  und  $e_y$  und die Einstellung einer bestimmten Vergrößerung in Abhängigkeit von dem jeweils eingesetzten Objektiv.

Nach der Zuordnung ist automatisch das erste Arbeitsprogramm - Entzerrung nach Paßpunkten - eingeschaltet. Die Bedienelemente für die empirische Verstellung der einzelnen Freiheitsgrade befinden sich in übersichtlicher und einfacher Anordnung auf dem portablen Bedienpult. Das portable Bedienpult kann zur bequemen Handhabung an jeder beliebigen Stelle des Projektionstisches abgesetzt oder in der Hand gehalten werden. Durch Druck auf die einzelnen Tasten erfolgt motorisch die Bewegung der entsprechenden Einstellelemente. Dabei kann jederzeit der jeweilige Istzustand der Gerätestellung für jedes Bewegungselement nach dem Eintasten der Adresse des betreffenden Bewegungselementes in der Daten- Anzeigeeinrichtung des stationären Bedienpultes abgerufen und angezeigt werden. Außerdem kann für das abgerufene Bewegungselement jede weitere Bewegung, die über die Tastatur des portablen Bedienpultes eingegeben wird, durch laufende Datenanzeige beobachtet und kontrolliert werden.

Sind für die Entzerrung Einstelldaten vorgegeben, so können diese nach der Wahl des zweiten Arbeitsprogramms - Entzerrung nach Einstellwerten - im stationären Bedienpult eingegeben werden.

Voraussetzung dafür ist die Zentrierung des Meßbildes im Bildträger. Die Zahlenwerte sind mit Vorzeichen und Dezimalpunkt in die Zahlentastatur einzugeben und zu adressieren. Nach dem Programmstart wird das Gerät automatisch in die, den eingestellten Daten entsprechende Stellung eingefahren, Die eingegebenen Daten bleiben gespeichert bis neue Daten eingegeben werden, auch wenn zwischenzeitlich beispielsweise mit dem ersten Programm ganz andere Geräteeinstellungen vorgenommen wurden.

In der Datenanzeige können dabei sowohl die tatsächlich im Gerät vorhandenen Ist-Werte als auch die gespeicherten Soll-Werte jederzeit abgerufen werden.

Wenn nach zwischenzeitlich mit dem ersten Programm vorgenommenen Veränderungen der Geräteeinstellungen die im zweiten Programm gespeicherten Soll-Werte erneut eingestellt werden sollen, reicht die Umschaltung auf das zweite Programm und der Programmstart. Damit wird automatisch wieder die Soll-Geräteeinstellung eingefahren.



Eine Art Kombination von Programm 1 und Programm 2 bildet das Programm 5. Ist beispielsweise im ersten Programm eine bestimmte Geräteeinstellung empirisch ermittelt worden, so kann dieser Istzustand durch Druck auf die Datenübernahmetaste gespeichert werden, bleibt dort bei zwischenzeitlich anderen Gerätestellungen erhalten und nach Abruf kann der vorher gespeicherte Ist-Zustand automatisch wieder hergestellt werden. Für die photographische Bearbeitung der Entzerrung sind, je nachdem ob es sich um ein Meßbild in Schwarzweiß oder Color handelt, die beiden Programme für Schwarzweiß- oder Colorbelichtung vorgesehen. Im Schwarzweiß-Belichtungsprogramm wird die durch Probebelichtungen oder mit geeigneten Hilfsmitteln bestimmte Belichtungszeit in die Zahlentastatur eingegeben und adressiert. Die gewünschte Blende und das entsprechende Dunkelraumfilter werden durch Tastendruck motorisch eingestellt. Nachdem das Photomaterial auf dem Projektionstisch aufgelegt, mit den entsprechenden Saugzonen oder unter Zuhilfenahme der Klemm- bzw. Beschwererleisten plan gelegt wurde, erfolgt der Programmstart. In einem automatischen Zyklus folgt dann - Verschuß zu - Einfahren des Klarglasfilters - Verschuß auf - Ablauf der Belichtungszeit - Verschuß zu - Einfahren des Dunkelraumfilters.

Für Folgebildungen bleibt die Belichtungszeit gespeichert, bis eine neue Zeit eingegeben wird. Das Color-Belichtungsprogramm ist analog aufgebaut. Hier müssen nacheinander die drei Belichtungszeiten für die Farben blau, grün, rot eingegeben und adressiert werden. Nach dem Programmstart folgt automatisch - Verschuß zu - Blaufilter einfahren, mit entsprechender Lampenverschiebung - Verschuß auf - Belichtungsablauf für blau - Verschuß zu - analog der gleiche Ablauf für grün und rot - danach Einfahren des vorher eingestellten Dunkelraumfilters.

Um zu vermeiden, daß bei Verwendung von unterschiedlichen Materialdicken zwischen Paßpunktunterlage und photographischem Schichtträger Maßstabsfehler in der photographischen Abbildung auftreten, besteht die Möglichkeit, eine Korrektur der Projektionsentfernung durch Eingabe der Differenzdicke in das stationäre Bedienpult vorzunehmen. Dabei bleiben die Scharfabbildungs- und Perspektivbedingungen voll erhalten. Es wird das gesamte Projektionssystem (Objektiv und Bildträger) parallel zur Projektionsebene im Abstand verändert.

Aus den vorhergehenden Darstellungen zum neuen Entzerrungsgerät Rectimat C aus Jena ist zu erkennen, daß bei der Entwicklung dieses Gerätes alle konstruktiven Möglichkeiten ausgenutzt wurden, um dem Anwender ein modernes Instrument sowohl zur Entzerrung mit Paßpunktvorlagen als auch nach Einstellwerten zur Verfügung zu stellen. Der hohe Automatisierungsgrad, als auch das gesamte Leistungsvermögen integrieren dieses Erzeugnis in die Kette moderner photogrammetrischer Auswertegeräte.

#### Zusammenfassung

Es werden zunächst die bestimmenden Merkmale der Neuentwicklung "Rectimat C" angegeben. Nach Darstellung der allgemeinen Geräteparameter und den technischen Bedingungen zur Colorentzerrung werden die einzelnen Arbeitsprogramme beschrieben, wobei besonders die gerätetechnischen Voraussetzungen zum Entzerren nach Einstellwerten erläutert werden.

Erste Erfahrungen beim Einsatz von RC-Bildflugzeugen für  
die Grundlagenforschung zur Fernerkundung

von

K.-H. MAREK, R. SÖLLNER, H. WEICHELT, S. RÖSER u. G. MAREK<sup>1)</sup>

1. Aufgabenstellung für Subsatellitenmessungen

Eine der wichtigsten Aufgaben der Grundlagenforschung zur Erdfernerkundung besteht gegenwärtig in der Entwicklung von Methoden zur Ableitung quantitativer Objektmerkmale (Zustandsparameter der Objekte) aus Fernerkundungsdaten, wobei die zweckmäßige Einbeziehung der Subsatellitenmessungen in den technologischen Prozeß der Informationsgewinnung ein grundlegendes Problem darstellt. Geeignet angelegte Subsatellitenmessungen in Testgebieten dienen einerseits der Gewinnung entsprechender objektbezogener Merkmale und der Eichung der auf aerokosmischen Plattformen eingesetzten Fernerkundungssensoren, andererseits bilden sie die notwendige Voraussetzung für die Ableitung der quantitativen Abbildungsbeziehungen zwischen den bei der aerokosmischen Fernerkundung gemessenen Parametern (spektrale, geometrische, temporale u.a. Merkmale) und den spezifischen objektbezogenen Merkmalskonglomeraten.

Die Gewinnung der objektbezogenen fernerkundungsspezifischen Merkmale (z. B. gerichteter spektraler Remissionskoeffizient) ist aus den Bodenmessungen relativ problemlos realisierbar. Letztere zeichnen sich durch ihre Einfachheit, ökonomische und operative Einsetzbarkeit und durch hohe geometrische und radiometrische Auflösung aus. Da diese Messungen in der Praxis jedoch auf diskrete Punkte (Meßfleckgröße etwa  $1 \text{ m}^2$ ) bezogen sind und eine Extrapolation dieser Merkmale auf größere Areale nicht ohne weiteres möglich ist, benutzt man dafür üblicherweise quantitativ interpretierbare Luftbildaufnahmen. Die traditionelle Gewinnung dieser Luftbilder ausschließlich für diesen Zweck, d.h. bei geringer Aufnahmeanzahl, kleinem Aufnahmegebiet von wenigen  $100 \text{ m}^2$  und geringen metrischen Ansprüchen, ist aus ökonomischen Gründen jedoch meist kaum zu rechtfertigen. Außerdem ist die operative Verfügbarkeit solcher Aufnahmen stark von den jeweiligen meteorologischen Bedingungen abhängig. Für die genannte Aufgabenstellung bietet sich die Nutzung unbemannter und fernsteuerbarer Flugapparate als Träger für Mittel- und Kleinbildkameras an, mit denen aus geringen Höhen Schwarzweiß-, Color- oder Multispektralaufnahmen von den Testflächen gewonnen werden können. Bei Anwendung üblicher  $6 \times 6 \text{ cm}^2$  - Kameras mit Standardoptik ergeben sich dabei Bildmaßstäbe in der Größenordnung von 1:1000, d.h. im Bereich zwischen bodengebundenen Senkrechtaufnahmen und traditionellen Luftbildern mit großformatigen Reihenmeßkammern. Solche Flugapparate gewährleisten das erforderliche synchrone Zusammenwirken mit entsprechenden Bodenmeßeinrichtungen und lassen sich mit hoher Effektivität insbesondere für folgende Aufgaben einsetzen:

- Gewinnung quantitativer Übersichtsinformationen über das gesamte Testgebiet zur Optimierung der Bodenmessungen (Meßfleckgröße, Punktanzahl, Meßort, Meßhöhe usw. in Abhängigkeiten von den Objektstrukturen)

---

<sup>1)</sup> Dr.- Ing. K.-H. Marek, Dr. rer. nat. R. Söllner, Dipl.-Phys. H. Weichelt, Dipl.-Phys. S. Röser u. Dipl.-Ing. G. Marek, Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Physik der Erde, Potsdam

- Extrapolation punktbezogener Bodenmeßdaten auf entsprechende Areale (Ableitung homogener Objektbereiche, Größen der Objektstrukturen usw.)
- direkte Ableitung strukturell-geometrischer (z. B. Texturparameter) und radiometrischer Objektmerkmale als Ergänzung zu den Bodenmeßdaten.

## 2. Aspekte des praktischen Einsatzes von fernsteuerbaren Flugapparaten

Insbesondere im letzten Jahrzehnt wurden in einer Reihe von Ländern (Österreich, BRD, ČSSR, Griechenland, Japan u. a.) Experimente, vorwiegend für Aufgaben der Nahbereichsphotogrammetrie, mit unterschiedlichen Flugapparaten und entsprechend adaptierten Kameras ausgeführt /1/ - /3/.

Als Kameraträger wurden dabei verwendet:

- aerodynamische Fesselballons ("Ballonphotogrammetrie"),
- lenkbare Drachen,
- ferngelenkte Modellhubschrauber und -flugzeuge.

Diese Flugapparate verfügen über unterschiedliche Flugeigenschaften und werden deshalb auch bei verschiedenen Bedingungen und Aufgabenstellungen eingesetzt. Für die genannten photogrammetrischen Aufgabenstellungen werden als Besonderheiten die hohe Flexibilität in organisatorisch-aufnahmetechnischer und meteorologischer Hinsicht sowie die vorteilhafte Ökonomie des Verfahrens (Kraftstoff!) und - als komplizierter zu beherrschendes Problem - die Bildflugnavigation hervorgehoben. Letztere spielt jedoch bei den hier interessierenden Aufgabenstellungen der Ableitung quantitativer Abbildungsbeziehungen eine weniger bedeutende Rolle. Dagegen sollte für diese Aufgaben der Flugapparat eine möglichst geringe Fluggeschwindigkeit und eine stabile Fluglage gewährleisten. Die zu verwendende Aufnahmekamera sollte insbesondere ein geringes Eigengewicht, eine Einrichtung zur Fernauslösung des Verschlusses, einen Motorantrieb für den Filmtransport und nach Möglichkeit einen Zentralverschluß sowie eine automatische Belichtungsregelung besitzen. Ein Bildformat von  $6 \times 6 \text{ cm}^2$  ist meist ausreichend. Wie die o. g. Erfahrungen zeigen, ist die Gewinnung von Schwarzweiß- bzw. Coloraufnahmen wenig problematisch, die Multispektralphotographie ist naturgemäß mit größeren technischen Komplikationen verbunden.

Am Geographischen Institut Brno der ČSAV wurde in den vergangenen Jahren eine für die genannte Aufgabenstellung praktikable Gerätekonfiguration entwickelt, welche die Gewinnung von Multispektralaufnahmen der Erdoberfläche aus geringen Flughöhen erlaubt. Mit diesem Gerätekomplex wurden in der ČSSR in den vergangenen Jahren bereits eine Reihe praktischer Erfahrungen gesammelt. Die Eigenschaften und technischen Daten des dabei verwendeten Motorseglers ROGALLO mit der Multispektralkamera FLEXARET M6 (Bild 1) zeigt Tab. 1.

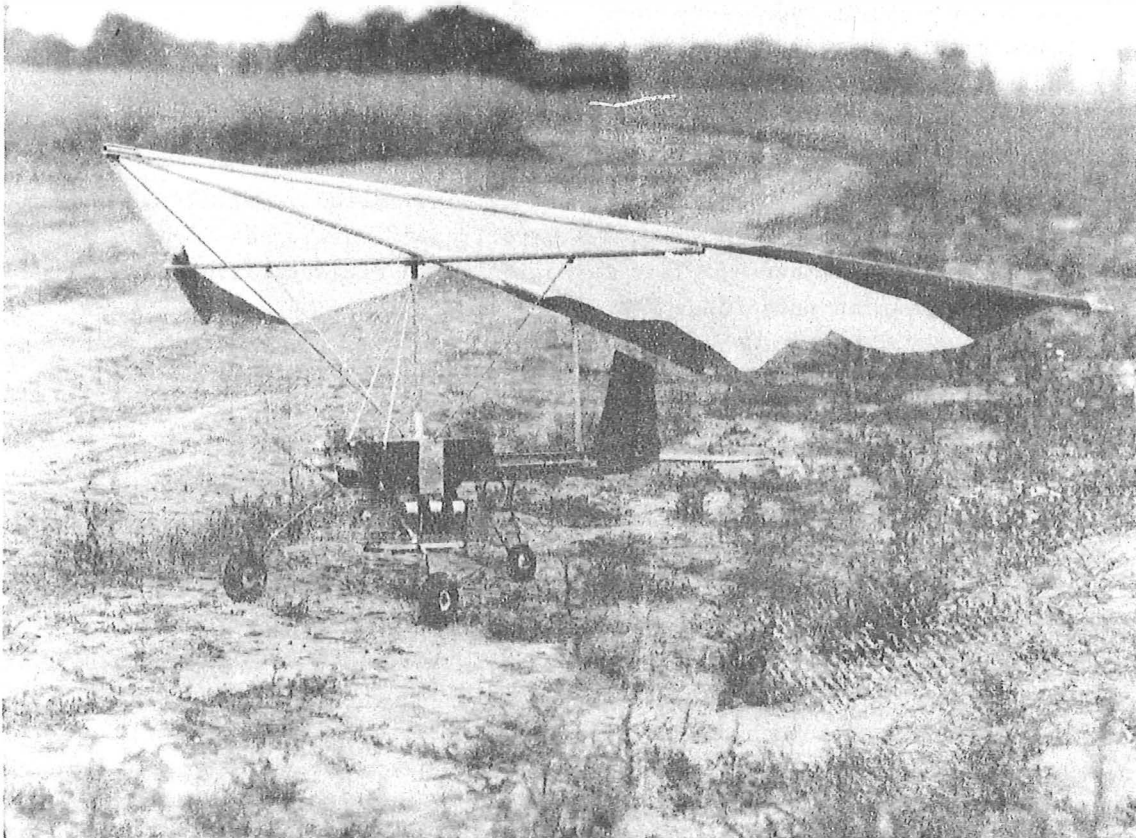


Bild 1 - Motorsegler ROGALLO mit Multispektralkamera FLEXARET M6

Tabelle 1

Technische Daten der Bildflugeinrichtung des Geographischen Instituts Brno (ČSAV)

Motorsegler ROGALLO

Flugeigenschaften	geringe Fluggeschwindigkeit, extrem kurze Landebahn, relativ stabile Fluglage
Tragfähigkeit	3 kg/m <sup>2</sup> Segelfläche
Spannweite	2800 mm
Segelfläche	3,24 m <sup>2</sup>
Masse	8 kg
Motor	15cm <sup>3</sup> , 2500 - 11 500 U/min.
Flughöhe	max. 300 m

Multispektralkamera FLEXARET M6

Kamerakörper	6 Apparate FLEXARET, synchron gesteuert
Objektiv	Belar 3,5/80
Bildformat	60 x 60 mm <sup>2</sup>
Spektralbereiche u. Bandbreiten (nm)	500 (22), 534 (20), 571 (13), 612 (20), 703 (32), 816 (30)
Verschluss	Zentralverschluss, 1...1/400 sec.

Bei dem vom MdZ Fernerkundung des ZIPE im Juli 1981 gemeinsam mit den Spezialisten der ČSSR auf speziell ausgewählten Testgebieten der DDR durchgeführten Komplexexperiment wurden in den verschiedenen Arbeitshöhen über der Erdoberfläche synchrone Messungen objekt- und fernerkundungsspezifischer Merkmale mit folgender Gerätekombination ausgeführt:

Aufnahmehöhe $h_g$	Sensorplattform	Gerätekomplex
3000 m	AN 2 (INTERFLUG)	MKF-6 (multispektral)
50 - 100 m	ROGALLO	FLEXARET M6 (multispektral sowie auf ORWO NP 15, NP 20, NP 27, NC 19)
0 - 5 m	Bodenmeßkomplex BMK (ZIPE)	Spektrometer (400-1100 nm) u.a.

Im Rahmen dieses Experiments sollten erste technologisch-methodische Erfahrungen beim Synchroneneinsatz der verschiedenen Aufnahmetechniken in den verschiedenen Höhen bzw. Generalisierungsstufen gewonnen und die Eignung der gemessenen Daten für die eingangs erwähnte Zielstellung sowie für spezielle thematische Interpretationen eingeschätzt werden. Die Auswahl der Testgebiete einschl. stationärer Testfelder war so erfolgt, daß umfangreiche Bodenmeßdaten verfügbar waren.

### 3. Erste Einschätzung der Ergebnisse

Im Ergebnis dieses Experiments wurden sowohl methodische Erkenntnisse zur rationellen Durchführung von Subsatellitenmessungen mit der Gerätekonfiguration RC-Bildflugzeug - Bodenmeßkomplex als auch thematisch-interpretatorische Aussagen zu dem aufgenommen geologischen und landwirtschaftlichen Testflächen gewonnen. Obwohl bei diesem technologischen Experiment noch keine für Bildanalysen optimale Kameravariante eingesetzt wurde, ließen sich bereits folgende quantitative Aussagen ableiten:

- a) Die radiometrische Genauigkeit der Aufnahmen gestattet die Ableitung quantitativer Übersichtsinformationen über das gesamte Bildfeld. Bild 2 zeigt die durch Randabfall des Objektivs, Luftlichteinfluß, Objektindikator u. a. Phänomene gebildete asymmetrische Störfunktion in 2 zueinander senkrechten Bilddurchmessern. Bei Beschränkung auf Bildmitte (Bildradius  $r \lesssim 1$  cm, d. h. Geländefläche  $< 20 \times 20$  m<sup>2</sup>) kann man auf eine radiometrische Korrektur weitgehend verzichten. Die Aufnahmen gestatten die Synthetisierung multispektraler Aufnahmen mit dem Projektor MSP-4 zur Durchführung visueller Interpretationen sowie die Ableitung von Multispektralfiles zur digitalen Bildauswertung mit guter Qualität. Bei der Aufnahme homogener Objekte (Wiesen- oder Getreideflächen o. ä.) ist in der Praxis darauf zu achten, daß die Aufnahmen eine ausreichende Anzahl von Objektkonturen als Bezugs- bzw. Justierhilfen für die analoge bzw. digitale Bildsynthese enthalten.

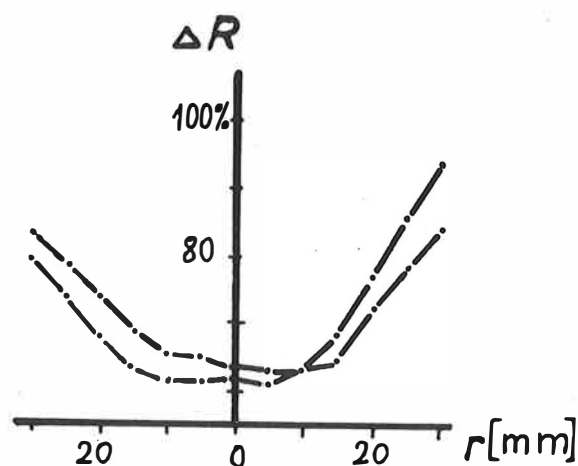


Bild 2

Relativer Randabfall auf einer mit FLEXARET M6  
gewonnenen Multispektralaufnahmen (Kanal 4)

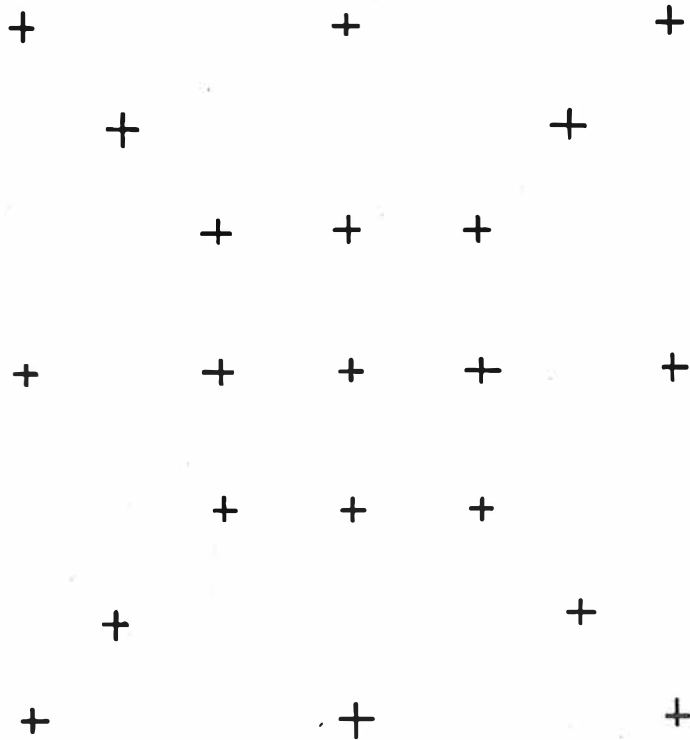
b) Bei der Beurteilung der geometrischen Genauigkeit der Aufnahmen ist vom Charakter des Aufnahmegerätes als nichtmetrische Kamera auszugehen, wobei für die vorliegende Aufgabenstellung die Ungenauigkeiten in der mechanischen Stabilität von Kamera und Optik sowie die Abbildung auf eine geometrisch undefinierte Filmfläche anstelle der Bildebene toleriert und die innere Orientierung (Hauptpunktlage, Kammerkonstante, Bezugspunkt der Radialverzerrung) als konstant angesehen werden können. Bei präziseren photogrammetrischen Aufgabenstellungen ist zur Definition eines exakten Bildkoordinatensystems und zur Kontrolle der Abbildungsleistung eine Aufnahme bzw. Kalibrierung mit Reseau erforderlich.

Die beim o. g. ersten experimentellen Einsatz erreichte geometrische Genauigkeit wurde mit Hilfe einer Aufnahme eines speziell angelegten Testfeldes (Bild 3), das aus 21 Paßpunkten und 2 Auflösungstests bestand, abgeschätzt. Dabei ergaben sich:

- eine nahezu bildfeldunabhängige Geländeauflösung, die sich innerhalb des praktizierten Flughöhenbereiches  $50 \text{ m} < h_g < 75 \text{ m}$  mit einer mittleren Unsicherheit von  $\pm 0,5 \text{ cm}$  durch den Ausdruck

$$AV = 4,1 + 0,13 (h_g - 50) \quad (\text{in cm})$$

(Bild 4) beschreiben läßt. Diese Auflösung, die einem Wert von ca. 10 L/mm entspricht, ist erheblich durch vibrations- bzw. windbedingte Bewegungsunschärfen beeinflusst.



**Bild 3**

Anordnung des Testfeldes zur Abschätzung der metrischen Genauigkeit der Aufnahmen

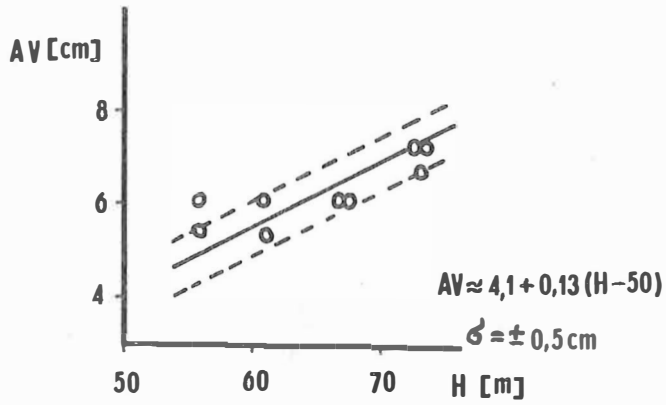


Bild 4

Ergebnisse der Bestimmung des Auflösungsvermögens AV bei verschiedenen Flughöhen  $h_g$

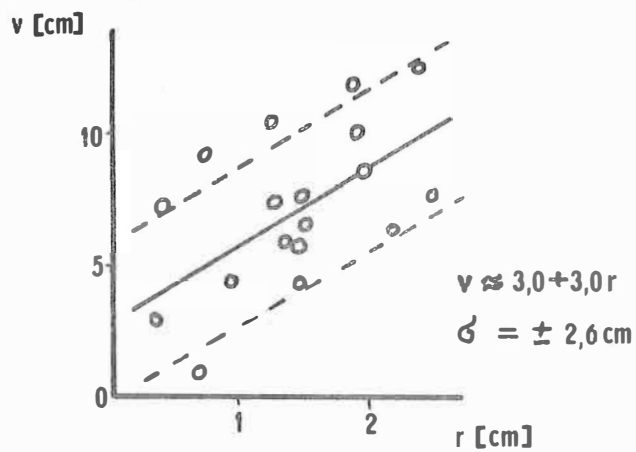


Bild 5

Restklaffungen  $v$  nach linearer Bildtransformation



- die in Tab. 2 angegebenen Restklaffungen aus einer Transformation zwischen Gelände- und Bildkoordinaten, die nach verschiedenen Ansätzen abgeleitet wurden.

Bild 5 zeigt als Beispiel die Restklaffungen nach linearer Bildtransformation.

Tabelle 2

Restklaffungen  $v$  nach Ausgleichung (in cm)

	affin	linear	kubisch
Mittel $v_0$ über nutzbares Feld	7,0	7,2	1,0
Bildfeldabhängigkeit	$v = 5,4 + 1,1 r$	$v = 3,0 + 3,0 r$	-
Mittl. Streuung $\sigma'$	$\pm 3,4$	$\pm 2,6$	$\pm 1,1$

(Radialabstand  $r$  in cm)

Diese Abschätzungen zur radiometrischen und geometrischen Genauigkeit der erhaltenen Aufnahmen bestätigen die Zweckmäßigkeit der eingesetzten Gerätekonfiguration für die Lösung der eingangs genannten Aufgabenstellung. Die Ergebnisse dieses ersten Experimentes bilden die Grundlage für weiterführende Arbeiten auf diesem Gebiet.

#### Literatur

- /1/ Lubowski, G.: Ballonphotogrammetrie. Österr. Zeitschr. f. Verm. wesen 68 (1980) 1
- /2/ Przybilla, H. J.; Wester-Ebbinghaus, W.: Bildflug mit ferngelenktem Kleinflugzeug. Bildmess. u. Luftbildwesen 47 (1970) 5
- /3/ Wester-Ebbinghaus, W.: Aerial Photography by Radio Controlled Model Helicopter, Photogrammetric Record 10 (55), April 1980

Nutzung von Fernerkundungsdaten im Mikrowellenbereich zur  
thematischen Kartierung

von  
S. RÖSER <sup>1)</sup>

1. Einleitung

Der vorliegende Beitrag soll in kurzer Form eine Übersicht über Leistungsfähigkeit und mögliche Einsatzbereiche des Verfahrens mit Mikrowellen-Sensoren für Aufgaben der Geofernerkundung liefern.

Die außerordentliche Vielfalt der Nutzungsmöglichkeiten erlaubt weder Vollständigkeit der Aufzählung noch ausführliche Darstellung der einzelnen Beispiele. Das wesentliche Anliegen des Vortrages soll vor allem darin bestehen, Anregungen für entsprechende Experimente zu geben und Mikrowellenverfahren auch für weiterreichende Überlegungen hinsichtlich der weiteren Entwicklung der Geofernerkundung in der DDR ins Gespräch zu bringen.

2. Grundlagen

Mikrowellen (auch HERTZsche Wellen genannt) sind elektromagnetische Wellen mit Wellenlängen in der Größenordnung von Millimetern bis zu einigen Metern (Radar). In Abhängigkeit vom Regime des Systems (aktiv oder passiv) dient entweder die Eigenstrahlung der Objekte oder der reflektierte und gestreute Anteil der von einem Sender emittierten Strahlung als Informationsträger. Da nach dem KIRCHHOFFschen Satz das Verhältnis von Emissionsvermögen und Absorptionsvermögen eine Funktion der absoluten Temperatur und der Frequenz ist, läßt sich eine Beziehung zwischen Strahlungshelligkeit der Objekte und Antennentemperatur des Radiometers herstellen.

Die effektivste Methode der Messung von Strahlungshelligkeiten von Fernerkundungsobjekten besteht deshalb im ständigen Vergleich des Antennenoutputs mit einem entsprechenden Etalon. Im Normalfall ist das Signal am Radiometer (Antennentemperaturdifferenz  $T_A$ ) proportional der Differenz der Strahlungshelligkeiten von Objekt und Hintergrund:

$$\Delta T_A \sim T_O - T_H. \quad (1)$$

$T_A$  wird im wesentlichen von folgenden drei Einflußgrößen bestimmt:

1. der tatsächlichen Temperaturdifferenz zwischen Objekt und Hintergrund,
2. dem relativen Emissions- und Reflexionsvermögen,
3. der atmosphärischen Absorption.

Für terrestrische Objekte ist nur in wenigen Fällen eine deutliche Temperaturdifferenz zwischen Objekt und Hintergrund zu beobachten (z. B. flüssige Lava, Raketenflammen, Abluft von Hochöfen). Bei allen übrigen natürlichen und anthropogenen Objekten überwiegen die Anteile aus 2. und 3. In der folgenden Tabelle 1 ist für einige ausgewählte Materialien das Emissionsvermögen für Mikrowellen zusammengestellt (nach /1/ ).

<sup>1)</sup> Dipl.-Phys. S. RÖSER, Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Physik der Erde, Potsdam

Tabelle 1: Emissionsvermögen von Mikrowellen

<u>Material</u>	<u>30°</u>	<u>45°</u>
Wasser	0,41	0,34
Beton	0,88	0,80
Asphalt	0,89	0,82
Kurzes Gras	0,94	0,94
Sojabohnen	0,96	0,96

Einen Überblick über den Einfluß der atmosphärischen Bedingungen liefert Tabelle 2, in der für ein 95-GHz-Radiometer einige typische Strahlungshelligkeiten für klare Sichtverhältnisse und für mittlere Regenintensität erfaßt sind (nach /2/ ).

Tabelle 2: Material klare Sicht (°K) mittlerer Regen (°K)

<u>Material</u>	<u>klare Sicht (°K)</u>	<u>mittlerer Regen (°K)</u>	
Strahlungshelligkeiten für 95 GHz und verschiedenen atmosphärischen Bedingungen	hohes Gras	250	250
	kleines Gras	240	240
	arider Boden	220	230
	Eis	210	220
	Beton	200	210
	Kies	200	210
	Wasserfläche	190	200

Bei aktiven Systemen, vor allem bei abbildenden Radareinrichtungen, beeinflussen neben den schon erwähnten Materialgrößen auch makro- und mikrogeometrische Merkmale der Objekte wesentlich das Signal, Für aktive Systeme wird als Objekt-Kenngröße häufig der Rückstreuoeffizient verwendet, der die Streueigenschaften des Objektes in Richtung der Strahlungsquelle beschreibt. Im Rückstreuoeffizienten sind dielektrische und geometrische Eigenschaften des Targets vereinigt.

### 3. Anwendungsbeispiele

Zu den inzwischen schon "klassisch" zu nennenden Anwendungsgebieten von aktiven und passiven Mikrowellensystemen gehören Hydrologie und Meteorologie. Wie aus Abschnitt 2. ersichtlich, beeinflusst der Gehalt an Wasser das Emissions- und Reflexionsvermögen im Mikrowellenbereich nachhaltig. Abb. 1 zeigt die Abhängigkeit der Dielektrizitätskonstanten von der Bodenfeuchte (in Gewichtsprozent). Diese starke Abhängigkeit bietet die Möglichkeit, Wasser in den verschiedenen Aggregatzuständen zu untersuchen und Aussagen über Bodenfeuchte, Oberflächenwassergebiete, Schneedicke, Eisgrenze, Eisalter usw. zu untersuchen. Über rein qualitative Aussagen (Dicke des Eises, Alter, Schollengröße) hinaus sind auch Aussagen über Driftrichtung, Schmelzwasserergiebigkeit usw. möglich (/4/ ). Für Untersuchungen in schneebedeckten Gebieten ist die Fragestellung nach Schnee, der Dicke bzw. dem entsprechenden Wasseräquivalent von Interesse. Dies gilt vor allem für die Vorhersage von Schmelzwassermengen sowohl zur Katastrophenverhütung als auch zur Abschätzung zu erwartender landwirtschaftlich nutzbarer Wasser-

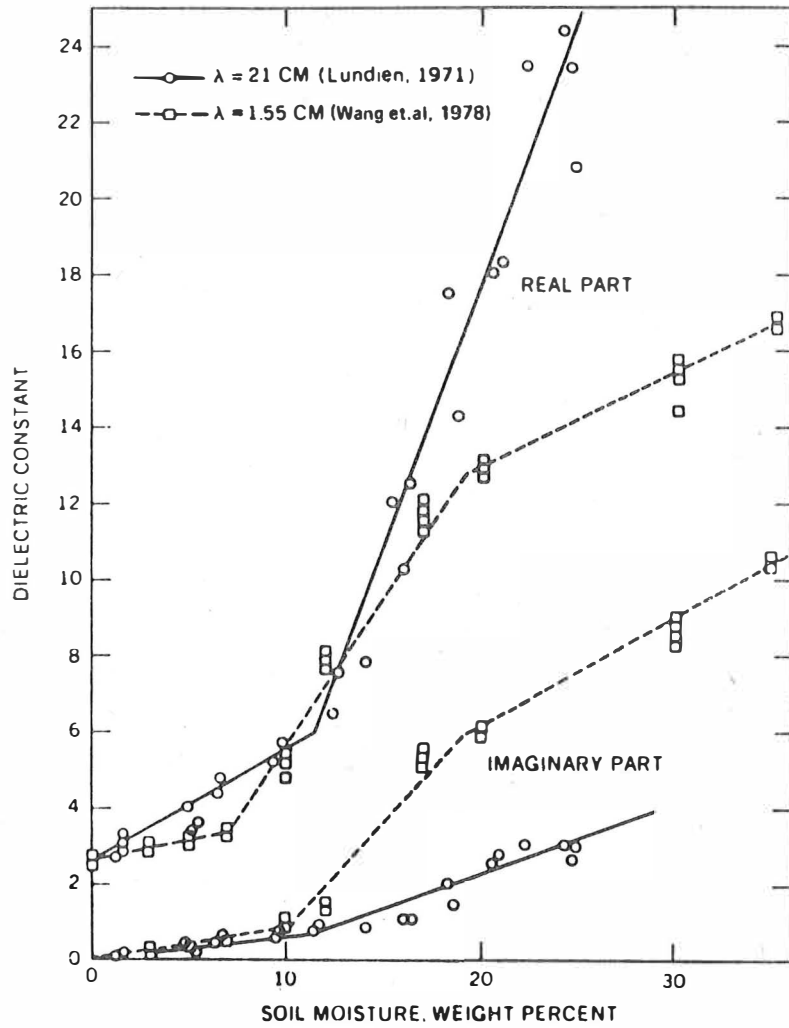


Abb. 1 Abhängigkeit der Dielektrizitätskonstanten von der Bodenfeuchte bei verschiedenen Wellenlängen (aus / 3 /).

ressourcen. In Abbildung 2 ist die Helligkeitstemperatur bzw. der Rückstreukoeffizient für verschiedene Schneedicken dargestellt.

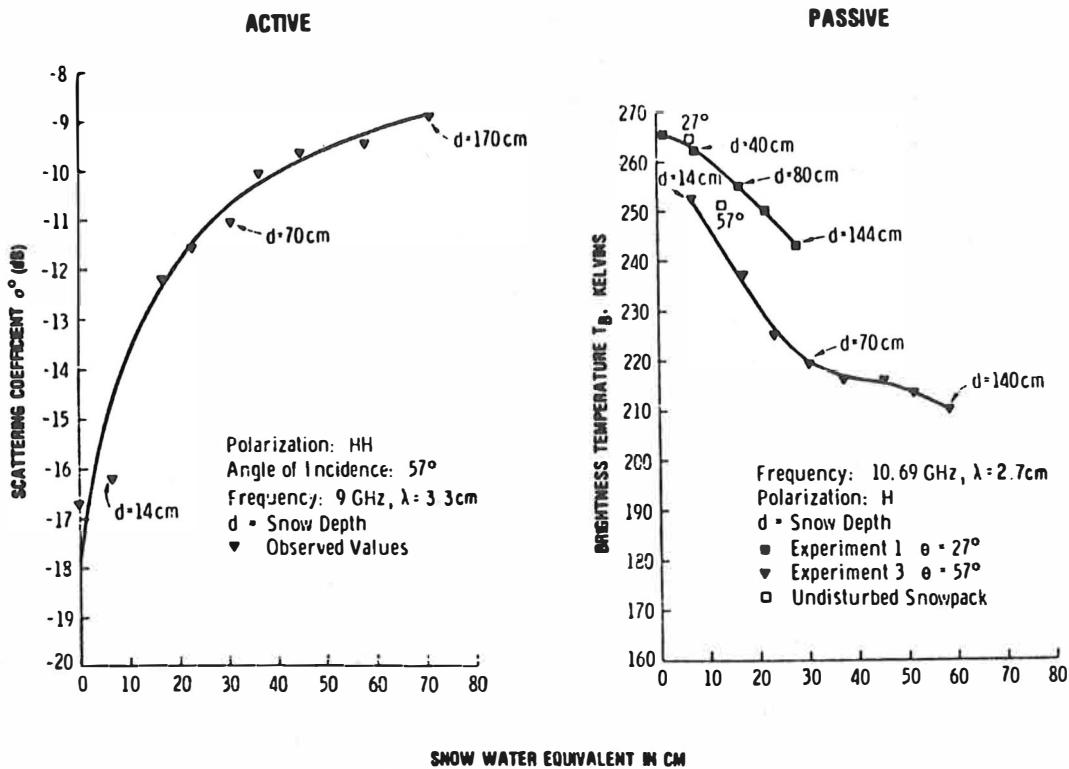
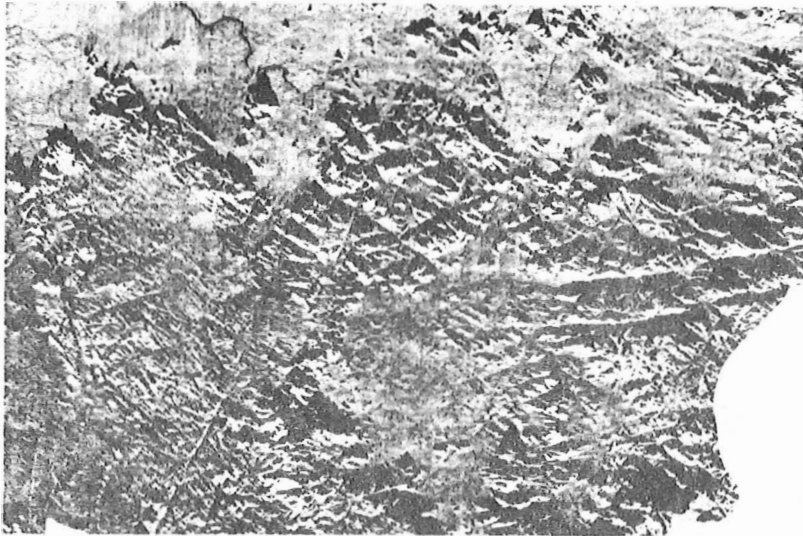


Abb. 2 Rückstreukoeffizient bzw. Strahlungshelligkeit als Funktion der Schneedicke (nach /3/).

Es ist ersichtlich, daß prinzipielle Aussagen der gewünschten Art möglich sind, Alter und Konsistenz der Schneedecke jedoch deutlichen Einfluß auf das Ergebnis haben. Für den Einsatz von Mikrowellenverfahren zur Grundwassererkundung ist das Zusammenführen geologischer und hydrologischer Informationen erforderlich. GEHNETT und GARDNER /5/ veröffentlichen den Einsatz eines Seitensichtradarsystems zur Grundwassererkundung in Nigeria. Das untersuchte Gebiet umfaßt ca. 3000 km<sup>2</sup>.

Abb. 3 zeigt Radaraufnahmen des Gebietes in zwei verschiedenen Blickrichtungen (Nord und Süd). Die im Untersuchungsgebiet liegenden Städte und Siedlungen leiden unter saisonalem Wassermangel. Die vorliegenden Radarabbildungen wurden zur Lokalisierung potentieller Grundwasserreservoirs herangezogen.

## NIGERIA



(NORTH LOOK)

## NIGERIA

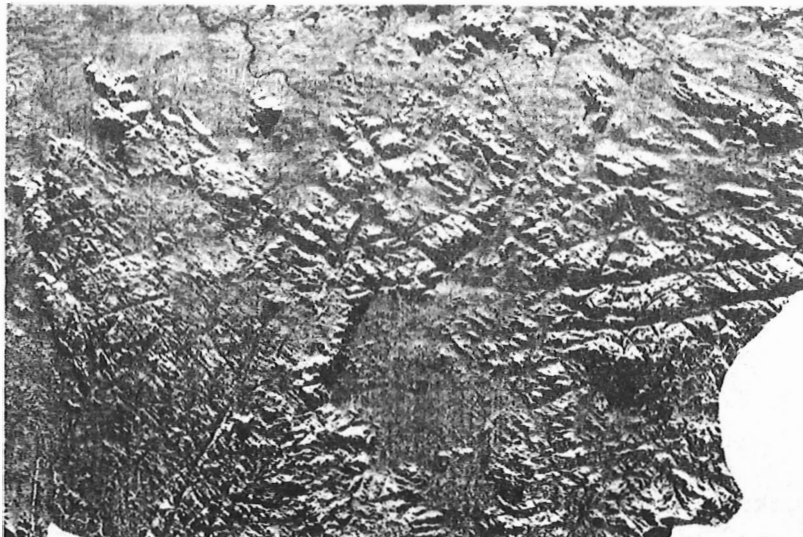


Abb. 3 Radarabbildung von Nigeria (Blickrichtung Nord und Süd) (nach /5/).

Die Darstellung des Inventars an Lineationen ist in Abb. 4 zu sehen.  
 Die angewendete statistische Auswertung der Lineamente führte zu Aussagen über grundwasserhöfliche Gebiete. An den ermittelten Stellen wurden insgesamt 26 Bohrungen mit Tiefen von 48 m bis maximal 210 m niedergebracht; 24 dieser Bohrungen waren fündig.

Die strenge Korrelation vom Wassergehalt des Objektes bzw. der Atmosphäre und der jeweiligen Systemantwort führte schon frühzeitig zum Einsatz der Mikrowellensysteme in der Meteorologie. Das Wetterradar z. B. ist eine aus der heutigen Praxis der Wetterprognose und Flugwetterüberwachung nicht mehr wegzudenkende Methode. Der Einsatz von Satelliten mit Mikrowellenradiometern für meteorologische Zielstellungen ist allerdings bisher speziellen Untersuchungen vorbehalten gewesen.

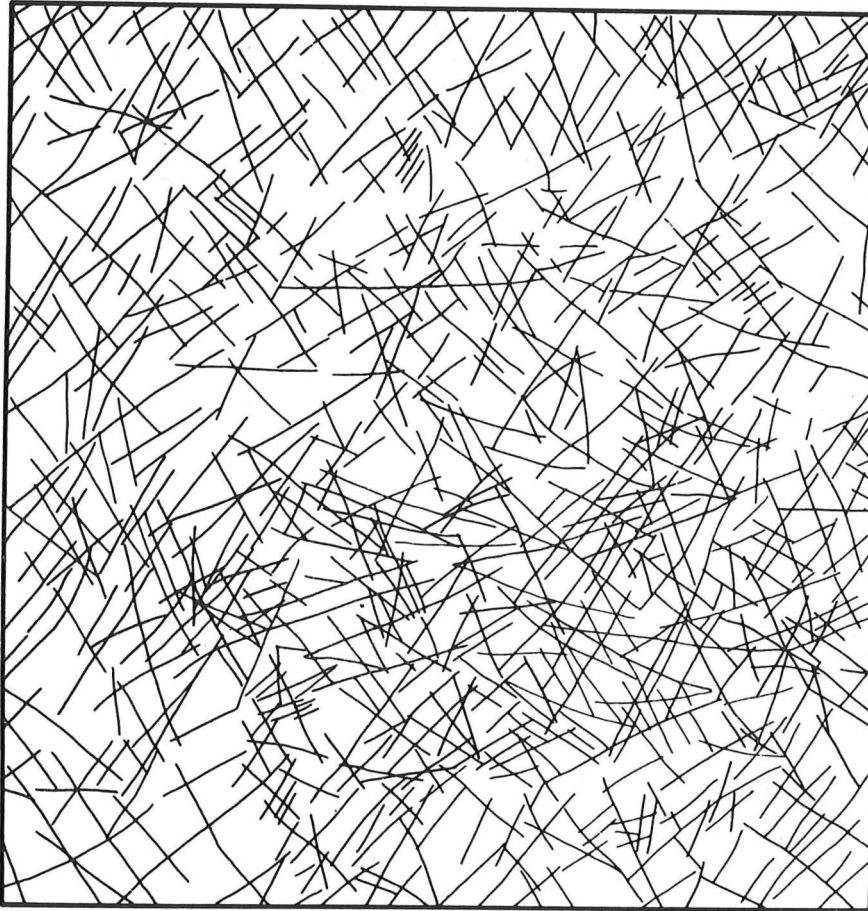


Abb. 4 Zusammenstellung des geologischen Inventars (Interpretation von Abb. 3), (nach /5/ ).

Abb. 5 zeigt eine Karte der Strahlungshelligkeit des Territoriums der USA (/6/ ). Diese Karte beruht auf den Messungen eines scannenden Mikrowellenradiometers mit einer Wellenlänge von 1,55 cm. Als Beobachtungsplattform diente der Satellit NIMBUS 5. In dieser Karte sind zwei Gebiete mit niedrigerer Strahlungshelligkeit erkennbar.

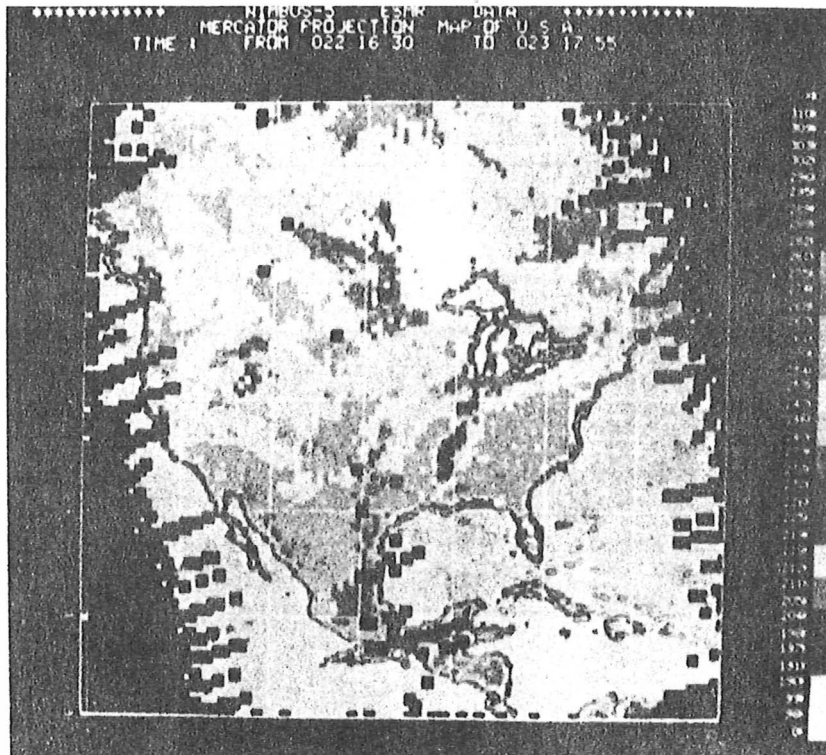


Abb. 5 Karte der Strahlungshelligkeit des USA-Territoriums aus Mikrowellen-Radiometermessungen ( /6/ ).

Eines daraus ist in Abb. 6 im Detail wiedergegeben. In die topographische Karte sind die Isolinien der Strahlungshelligkeit eingetragen. Der Linienabstand beträgt  $1^{\circ}\text{K}$ . Die Differenzen im Bild sind auf stellenweise heftige Regenfälle und damit ein Absinken der Oberflächentemperatur zurückzuführen.

Ebenso häufig wie erfolgreich sind bisher Kartierungen für geologische Aufgabstellungen nach Radarabbildungen bzw. Radiometeruntersuchungen erfolgt. Es sei an dieser Stelle auf den Vortrag von BANKWITZ u. a. /7/ verwiesen, der eine ergänzende und zum Teil neue Kartierung aus dem Südtteil der DDR vorstellt. Grundlage dieser Arbeit waren Radarabbildungen aus dem Jahre 1979 mit dem System TOROS I. In Abb. 7 nach(/8/ ) ist die Radarabbildung eines Teils von Alaska dargestellt. Gleichzeitig sind bekannte Faltungen und die aus der Radarabbildung interpretierten Lineamente eingetragen. Auf diesem Wege war es möglich, den Verlauf der Pipeline in



seismisch wenig gefährdete Gebiete zu legen (s. Abb. 7).

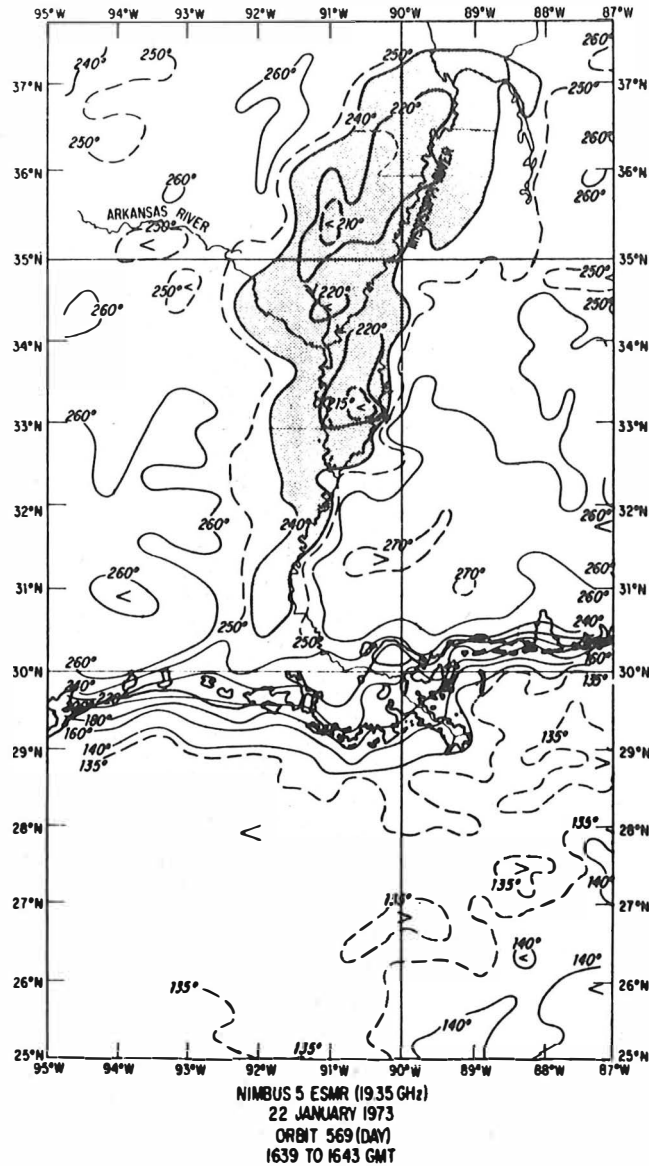


Abb. 6 Auszug aus Abb. 5 mit Isolinien­darstellung der Strahlungshelligkeit und damit der Oberflächentemperatur des Mississippi-Gebietes ( / 6 / ).

Die Verwendung von Aufnahmen aus dem Mikrowellenbereich zur Landnutzungskartierung hat vor allem im Falle von meteorologisch ungünstigen Gebieten Erfolge aufzuweisen. So ist die erste komplexe thematische Kartierung von Panama nur mit Hilfe eines

Seitensichtradar möglich gewesen (19). Neben der Aufnahme des Netzes der Oberflächengewässer und des geologischen Inventars sind auch die Bodennutzungsarten erfaßt worden.

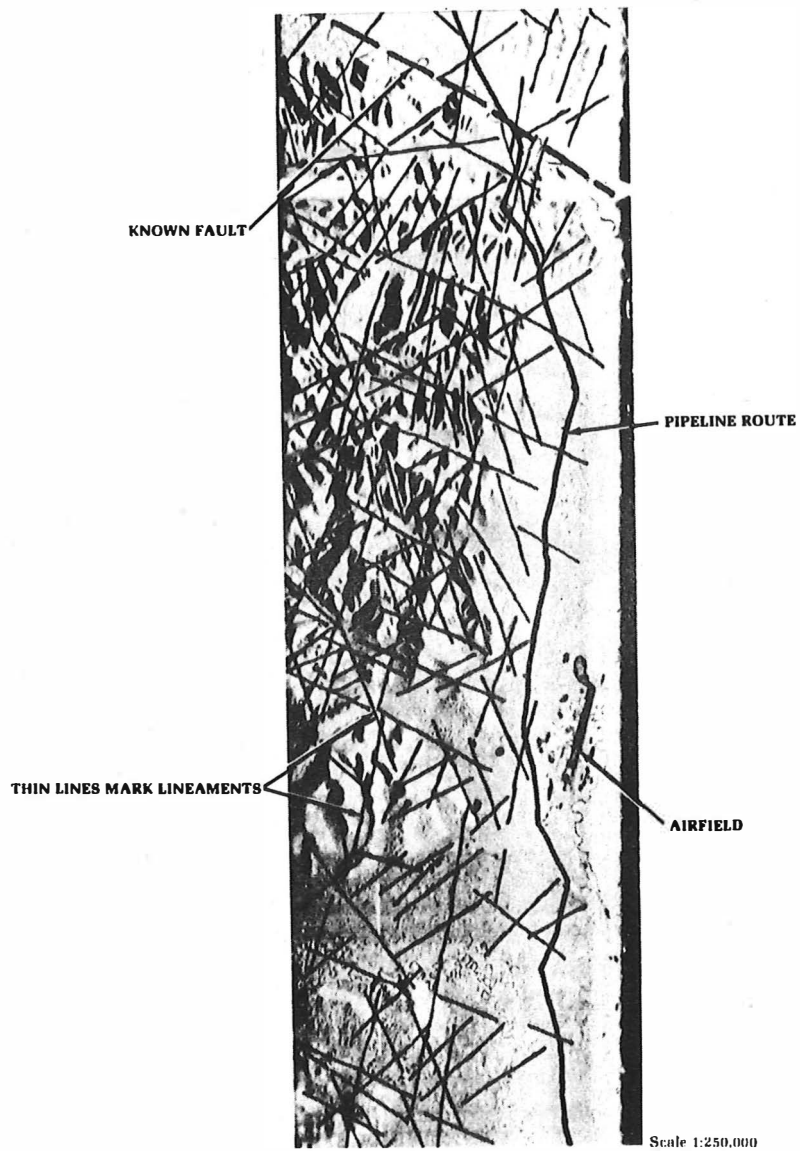


Abb. 7 Radarszene eines Teiles von Alaska mit eingezeichneten bekannten Faltungen und zusätzlich interpretierten Lineationen sowie markiertem Pipeline-Verlauf (nach /8/).

Von Teilen des Territoriums der DDR existieren bekanntlich ebenfalls Radaraufnahmen. Abb. 8 zeigt einen Ausschnitt aus einem Radarstreifen vom Havelgebiet. Deutlich erkennbar sind die Überhöhungen von Böschungsbewuchsstreifen und geringfügigen Feldkanten.



Abb. 8 Radarabbildung eines Gebietes im Havelland (DDR) (LFB-Nr. 41/81).

Abb. 9 schließlich zeigt eine Parallelepiped-Klassifizierung mit anschließender Medianfilterung. Diese Bearbeitung in Gegenüberstellung mit dem Original belegt deutlich die Vorteile der Radaraufnahme, aber auch ihre Nachteile, die einen erheblichen Bearbeitungsaufwand erfordern.

Abb. 9 Parallelepiped-Klassifizierung des Gebietes aus Abb. 8 (unüberwachte Klassifizierung)



#### 4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Im vorliegenden Beitrag sind einige markante Beispiele der thematischen Kartierung auf der Basis von Radaraufnahmen bzw. Radiometermessungen kurz zusammengestellt worden. Insgesamt sollte es daraus möglich sein, die Brauchbarkeit von Mikrowellensystemen für die ganze Vielfalt der thematischen Kartierung zu erkennen. Diese Kartierung wird durch vorliegende topographische Karten erleichtert.

Die gegenwärtige internationale Entwicklung der Auswertung vor allem von Radarabbildungen führte zur Herausbildung eines neuen Wissenschaftszweiges, der Radargrammetrie (in Analogie zur Fotogrammetrie) (10). Um topographische Genauigkeiten zu erreichen, ist allerdings der Einsatz von Radarsystemen mit synthetischer Apertur erforderlich. Die anschließende digitale Bearbeitung ist gegenwärtig noch extrem aufwendig (Rechenzeit pro Szene auf Hochleistungscomputern im Mittel etwa 15 Stunden).

Abschließend sei die in der Einleitung getroffene Feststellung noch einmal unterstrichen, in Überlegungen für den Ausbau künftiger Fernerkundungssysteme auch Mikrowelleneinrichtungen einzubeziehen.

5. Literatur

- /1/ SKOLNIK; Radar Handbook, McGraw-Hill, Inc., 1970
- /2/ SCHUCHARDT, J.M.: et al.  
Microwave Journal, June 1981, S. 45 ff
- /3/ SCHMUGGE, T.J.:  
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 46, No. 4, April 1980,  
S. 495-507
- /4/ LOSHCHILOV, V.S.; VOYEVODIN, V.A.:  
Problemy Arktiki i Antarktiki, 40 (1972, S. 23-30)
- /5/ GEHNETT, R.H.; GARDNER, J.V.:  
Thirteenth International Symposium on Remote Sensing of Environment, AnnArbor,
- /6/ ULABY, F.T. et al.:  
Proceedings of the NASA Earth Resources. Survey Symposium, Houston/Texas,  
June 1975, Vol. 1-D, S. 2207-2232
- /7/ Bankwitz, P., et al., 1. Konferenz Fernerkundung, Karl-Marx-Stadt 1981
  
- /8/ An Application of Side-Looking Airborne Radar for Surveying Geology and Natural  
Resorces Potential, pres. by MOTOROLA Aerial Remote Sensing, Inc., August 1976
  
- /9/ VIKSNE, A. et. al.: Photogrammetric Engineering, 36 (1969), S. 253-259
  
- /10/ Radiolokazionnaja Fotogramtria, Moskau, "Nedra" 1979

## 4. METHODISCHE PROBLEME DER INTERPRETATION

Erkennungskonzepte für die Ableitung thematischer Informationen  
aus Fernerkundungsdaten

von

R. SÖLLNER, K. SCHMIDT und H. WEICHELT<sup>1)</sup>Einleitung

Automatisierte Verfahren zur Erkennung von Objekten und Erscheinungen der Umwelt mit Hilfe der Fernerkundung sind überall dort von Bedeutung, wo sich Erkennungsprozesse formalisieren und mit Algorithmen beschreiben lassen. Dabei ist die Formalisierung der Auswertung die Voraussetzung dafür, daß die routinemäßige Nutzung von Fernerkundungsdaten in der volkswirtschaftlichen Praxis standardisiert werden kann und nicht mehr unmittelbar vom Vorhandensein entsprechender spezialisierter Fachexperten abhängig ist.

Bereits mehr als 10 Jahre liegen die ersten Versuche zurück, Fernerkundungsdaten mit Hilfe von mathematischen Algorithmen zu klassifizieren und thematische Informationen insbesondere in Form von Flächennutzungskarten mehr oder weniger automatisiert abzuleiten.

Eine umfassende Darstellung des bisher erreichten Standes findet man z. B. in /1/, /2/ und /3/.

In der Regel benutzten die bisher praktizierten Klassifizierungsverfahren als Ausgangsdaten die einzelnen quantitativen radiometrischen Punktmeßdaten einer Bildmatrix bzw. Texturmerkmale, die aus einer zusammenhängenden Menge von Punktmeßdaten abgeleitet werden.

Die gebräuchlichen Klassifizierungsalgorithmen (Bayesklassifikator, Maximum-Likelihood-Klassifikator, Parallelepiped-Klassifikator) bestimmen dann für jeden Meßpunkt die statistisch gesicherte Zugehörigkeit des quantitativen Meßwertes zu einer der vorher festgelegten Musterklassen. Da hierbei die Klassifizierungsgüte sehr wesentlich durch die Genauigkeit der quantitativen Messungen an den einzelnen Bildpunkten sowie durch die vorher festgelegten Musterklassen bestimmt wird, wurden auch bereits andere spezielle Algorithmen (z. B. Cluster- und Zellenwachstumsverfahren /4/) entwickelt, die letztendlich die Klassifizierung einer Menge von Punkten ausführen. Dadurch werden bei der Bewertung von Flächenobjekten statistische Schwankungen der Einzelmeßpunkte besser ausgeglichen. Insgesamt konnten jedoch i. a. keine ausreichend stabilen Klassifizierungsgenauigkeiten erreicht werden. Die Werte schwanken zwischen 60 und 95 %. Mit den bisher angewandten Verfahren scheint diese Genauigkeitsschranke auch kaum zu durchbrechen sein.

In diesem Zusammenhang soll im folgenden eine Möglichkeit diskutiert werden, die es gestattet, den formalisierten Vorgang der Objekterkennung in Fernerkundungsdaten in ähnlicher Weise zu gestalten, wie er im weitesten Sinne bei der visuellen Interpretation im Komplex Auge-Gehirn abläuft.

---

Dr. rer. nat. R. Söllner, Dr. rer. nat. K. Schmidt, Dipl.-Phys. H. Weichelt  
Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Physik der Erde Potsdam

## 2. Zur Stabilität und Invarianz von fernerkundungsspezifischen Merkmalen für die Klassifizierung

Wie bereits erwähnt, werden bei der numerischen Klassifizierung von Fernerkundungsdaten i. a. quantitativ meßbare Merkmale benutzt, die skalierbar sind und gewisse Metrikbedingungen erfüllen. Diese Merkmale sind in der Regel radiometrische Punktmeßdaten bzw. Texturmerkmale über einem Gebiet von Punktmeßdaten.

Aufgrund der komplizierten Struktur und komplexen Zusammensetzung natürlicher Objekte sind aber oftmals solche quantitativen Merkmale sehr instabil gegen verschiedenartigste Einflußfaktoren und können innerhalb einer Objektklasse sehr stark variieren. Bei den Varianzen der radiometrischen Ausgangsdaten kann man Varianzanteile unterscheiden, die durch das Objekt selbst, durch die geometrischen Meßbedingungen, durch den Übertragungskanal (Atmosphäre) und durch die Aufnahmeapparatur verursacht werden. Die Bilder 1 bis 3 geben Beispiele für die Änderungen bzw. Varianz des spektralen Remissionskoeffizienten bei Getreide an, bei unterschiedlichen Sonnenhöhen, Meßrichtungen und Größen des Auflösungselements /aus 5/.

Daraus ist ersichtlich, daß bereits durch das Objekt selbst Varianzen des Meßsignals verursacht werden, die eine bedingungslose quantitative Auswertung von einzelnen Meßpunkten kaum sinnvoll erscheinen lassen.

Darüber hinaus wirken noch die weiteren varianzerzeugenden Faktoren. Ähnliche Stabilitätsbetrachtungen gelten auch für Texturmerkmale. Hieraus entsteht für die numerische Klassifizierung die Forderung, entweder solche quantitativ meßbaren Merkmale zu finden, die gegen varianzerzeugende Faktoren invariant sind, oder einen Klassifikator zu verwenden, der nicht nur die Bildpunkte einzeln analysiert (klassifiziert), sondern für eine Entscheidung mehrere komplexe Gültigkeitsbedingungen prüft und dabei nach Möglichkeit noch kontextmäßige Zusammenhänge im Bild berücksichtigt. Eine solche Herangehensweise, bei der die qualitativen Aspekte der aus dem Bild entnehmbaren Merkmale im Vordergrund stehen, entspricht auch vielmehr dem Interpretationsvorgang, wie er bei der visuellen Interpretation im Komplex Auge-Gehirn abläuft /6/.

Bei der visuellen Interpretation werden i. a. keine quantitativen radiometrischen Merkmale herangezogen, sondern eher die entsprechenden Grauwerte mit ihrer Umgebung verglichen und weitere komplexe Merkmale auf ihre Gültigkeit geprüft. Aufgrund der Kompliziertheit natürlicher Objekte spielt dabei die verbal beschreibende Form von Sachverhalten und Merkmalen gegenüber mehr oder weniger numerischen Herangehensweisen eine dominierende Rolle. Während beispielsweise eine hinreichende mathematische Erfassung der varianzerzeugenden Faktoren des Remissionskoeffizienten i. a. nicht möglich ist, können mit Hilfe von verbalen Formulierungen entsprechende Gesetzmäßigkeiten besser ausgedrückt werden. Bei der Klassifizierung mit Hilfe von Rechenanlagen setzt das allerdings voraus, daß sowohl nichtnumerische als auch numerische Informationen verarbeitet werden können und für jedes Objekt entsprechende komplexe Merkmalskataloge aufzustellen sind.

### 3. Aufstellung von Merkmalskatalogen für die automatisierte Auswertung von Fernerkundungsdaten

Bei den bisher üblichen Klassifizierungsverfahren bestehen die Merkmalskataloge in der Regel in der Angabe des Objektnamens und der zugehörigen empirischen Verteilungsfunktion der numerischen Klassifizierungsmerkmale.

Bei einer komplexeren Herangehensweise müßte jedoch im Merkmalskatalog beispielsweise auch berücksichtigt werden, daß ein Objekt aus mehreren Bestandteilen zusammengesetzt sein kann, die ihrerseits wieder Remissions- und Texturmerkmale sowie auch andere Merkmale besitzen können. Außerdem sollten auch qualitative Merkmale sowie beschreibende, also nichtnumerische Regeln einbezogen sein. Für die Merkmale sind entsprechende Hierarchien zu realisieren. Der Aufbau solcher Merkmalskataloge mit dem Ziel der Bearbeitung auf Rechenanlagen ist mit Hilfe gewöhnlicher Programmiersprachen nicht möglich. Es existieren jedoch spezielle Programmiersprachen für die Rechnerverarbeitung von nichtnumerischen Informationen. In diesem Zusammenhang bietet die Programmiersprache LISP sehr gute Möglichkeiten für die Realisierung von Merkmalskatalogen in komplexer Form /7/, /8/. Mit Hilfe von sogenannten P-Listen (Eigenschaftslisten) können verschiedenste nichtnumerische und numerische Merkmale in effektiver Form systematisch gespeichert werden.

Bild 4 gibt ein einfaches Beispiel für den Aufbau eines Merkmalskatalogs des Objektes "Wald" mit Hilfe dieser P-Listen. Dabei werden zunächst in einer Merkmalsliste alle in Frage kommenden Merkmale hierarchisch geordnet erfaßt. Anschließend wird eine Listenstruktur aufgebaut, in der zu den Einzelmerkmalen auch die entsprechenden Werte enthalten sind.

### 4. Rechnerverarbeitung mit Hilfe von nichtnumerischen Interpretationsschlüsseln

Interpretationsschlüssel stellen gewisse Standards bzw. Richtlinien für die visuelle Interpretation dar. Sie sind letztendlich das in nichtnumerischer, beschreibender Form vorliegende Ergebnis der Formalisierung des visuellen Interpretationsvorganges.

In Tabelle 1 ist ein Beispiel eines einfachen Gabelschlüssels aus /9/ dargestellt.

Mit den Methoden der nichtnumerischen Informationsverarbeitung können nun solche Interpretationsschlüssel als Grundlage für Klassifikatoren bei einer automatisierten rechnergestützten Auswertung dienen. Dazu ist jedoch eine systematische Zerlegung der vorkommenden Begriffe (Objekte, Objektbestandteile, Relationen, Eigenschaften usw.) erforderlich. Es sind alle vorkommenden Objektnamen und Merkmale unter Berücksichtigung der einzelnen Hierarchieebenen des Interpretationsschlüssels zu sortieren (Tabelle 2). Die untersten Hierarchieebenen bilden die sogenannten terminalen Objekte, die im Rahmen des Interpretationsschlüssels nicht weiter zerlegbar sind.

Dabei können für die Objekte jeder Hierarchieebene des Interpretationsschlüssels Merkmalskataloge aufgestellt werden. Die terminalen Objekte und Merkmale sind dann diejenigen, die aus den Fernerkundungsdaten bzw. Referenzdaten zu bestimmen sind. Dazu sind entsprechende mathematische Maße zu definieren, die numerisch



ableitbar sind. In diesem Zusammenhang sind für die terminalen Objekte des Interpretationsschlüssels ebenfalls entsprechende Merkmalskataloge, die weitere terminale Eigenschaften enthalten, aufzustellen. Ein Beispiel dazu gibt Abb. 5. Bei der Abarbeitung der terminalen Begriffe ist darum i. a. nicht der quantitative Wert des Merkmals von Interesse, sondern die qualitative Aussage, ob ein Begriff erfüllt ist, oder nicht. Bei komplizierten Begriffen, die mathematisch nicht beschreibbar sind, könnte diese Entscheidung bei einer interaktiven Auswertung auch vom Interpreten übernommen werden.

Um letztendlich die gesuchten Objekte einer höheren Hierarchiestufe zu erhalten, sind die im Interpretationsschlüssel formulierten Abstraktionsschritte durch den Klassifikator zu vollziehen. Bei der Rechnerverarbeitung erfolgt das wiederum mit Hilfe von Listenstrukturen. Zweckmäßigerweise sollte ein entsprechender Klassifikator so aufgebaut sein, daß er zunächst das a-priori am häufigsten vorkommende terminale Merkmal auf seine Gültigkeit prüft und alle diejenigen Terminalobjekte ermittelt, bei denen dieses Merkmal vorkommt.

Dieses Merkmal könnte beispielsweise die spektrale Remission sein, die durchzuführende Prüfung entspräche dann der bisher üblichen numerischen Klassifikation von Spektraldaten. Da im Merkmalskatalog der Terminalobjekte auch angegeben ist, von welchen Objekten einer höheren Abstraktionsstufe sie Bestandteile sind, können im nächsten Schritt die aufgrund des ersten geprüften Merkmals in Frage kommenden (assoziierten) Objekte der höheren Hierarchiestufe bestimmt werden.

Beginnend von dem am häufigsten assoziierten Objekt der höchsten Hierarchiestufe wird dann die Abarbeitung der restlichen Merkmalslisten gesteuert.

Abbildung 6 gibt dazu ein erstes Beispiel.

Letztendlich können bei einer solchen Verarbeitungsweise auch in Form von Listenstrukturen numerische und nichtnumerische Referenzdaten einbezogen werden.

## 5. Schlußfolgerungen

Mit Hilfe des vorgestellten Klassifizierungskonzepts besteht die Möglichkeit, die rechnergestützte Auswertung von Fernerkundungsdaten im weitesten Sinne dem visuellen Interpretationsvorgang anzupassen. Allerdings steigt dabei der Rechenaufwand gegenüber dem herkömmlichen Klassifizierungsverfahren sehr wesentlich. Deshalb sind für eine Anwendung in der Praxis weitaus höhere Anforderungen an die Rechentechnik zu stellen, als sie von vorhandenen Bildverarbeitungsanlagen erfüllt werden.

Gleichzeitig sind für den Klassifikator Bedingungen zur Aufwandsminimierung und zum vorzeitigen Abbruch der vollständigen Abarbeitung der Merkmalslisten nach Erreichen einer bestimmten Klassifizierungssicherheit anzugeben. Der Vorteil des vorgestellten Klassifikationskonzeptes besteht u. a. auch darin, daß es für eine interaktive Datenauswertung geeignet ist und die Kommunikation zwischen dem Rechner und dem Interpreten mit nichtnumerischen, dem Interpreten geläufigen Begriffen geführt werden kann.

Tabelle 1: Einfacher Gabelschlüssel zur Interpretation von Luftaufnahmen für die Ableitung von Aussagen zur Flächennutzung.

Beispiel eines Gabelschlüssels	
1. Gebiet eingenommen von nacktem Fels, Sanddünen, Wasser oder künstlichen Bauten . . . . .	<i>Ödland</i>
1. Gebiet eingenommen von Vegetation oder nacktem Boden . . . . .	vgl. 2
2. Feldbaumuster fehlt; Feldbegrenzung fehlt oder unregelmäßig dargestellt . . . . .	vgl. 3
2. Feldbaumuster vorhanden; Feldbegrenzung regelmäßig dargestellt . . . . .	vgl. 5
3. Bäume vorhanden; sie bedecken fast oder ganz die Oberfläche; Bäume sind durch dunkle Tönung, rel. körnige Textur u. entsprechende top. Lage zu identifizieren . . . . .	<i>Waldgebiete</i>
3. Bäume fehlen oder weit verstreut; Untergrund nur durch niedrigen Pflanzenwuchs bedeckt . . . . .	vgl. 4
4. Dunkle Tönung, Textur klar erkennbar; Gebiet zeigt für gewöhnlich ein geflecktes Aussehen wegen der unterschiedlichen Vegetationsdichte . . . . .	<i>Buschland</i>
4. Helle Tönung, Textur zu fein, um unterschieden zu werden; Gebiet erscheint selten gefleckt . . . . .	<i>Grasland</i>
5. Feldfruchtanbau fehlt, Gebiet gewöhnlich hell getönt . . . . .	<i>Brachland</i>
5. Feldfruchtanbau vorhanden, Gebiet dunkel getönt außer in der Erntezeit . . . . .	<i>Dauerackerland</i>

Tabelle 2: Sortierte Merkmale und Objekte des Interpretationsschlüssels nach  
Tabelle 1.

Objekt	Terminalobjekte	Struktur- merkmal	Textur- merkmal
Waldgebiete	nackter Fels	Feldbaumuster	klar erkenn- bar
Buschland	Sand	fehlt/vorhanden	
Grasland	Wasser	Bäume dicht	gefleckt
Ödland	Künstl. Material	keine Bäume	sehr fein
Daueracker- land	Vegetation		nicht gefleckt
	nackter Boden		kein Feld- fruchtanbau
	Bäume		Feldfruchtan- bau
	niedrige Pflanzen		körnig

Abbildung 1: Veränderung des spektralen Remissionskoeffizienten von Getreide bei unterschiedlichen Sonnenhöhen /5/.

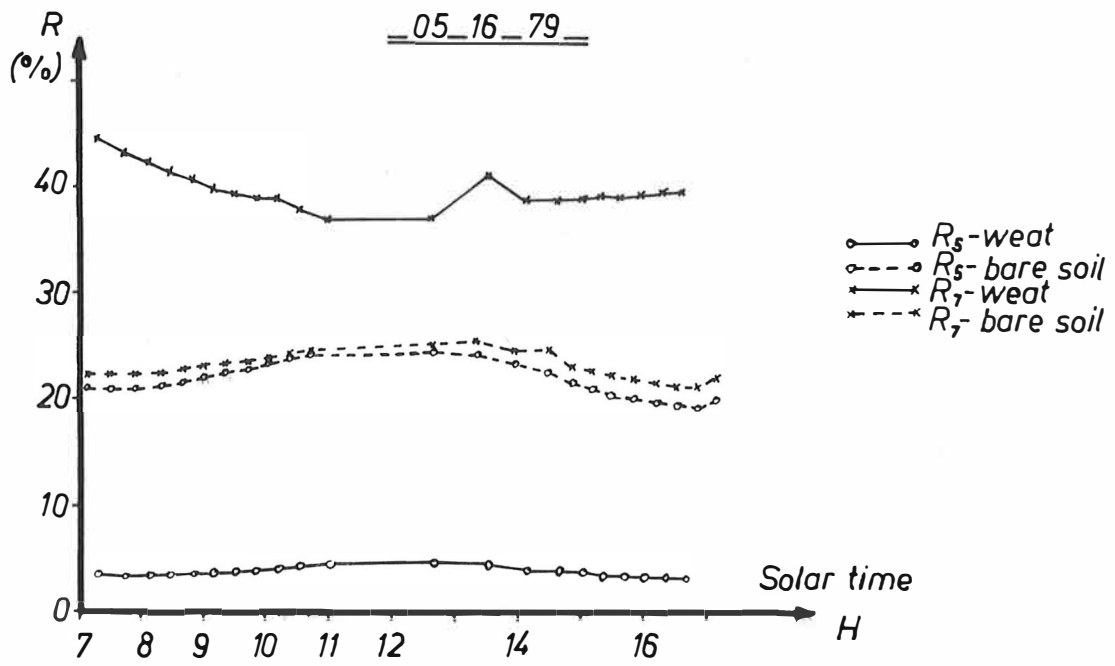
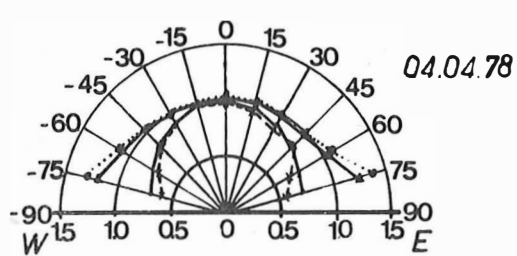
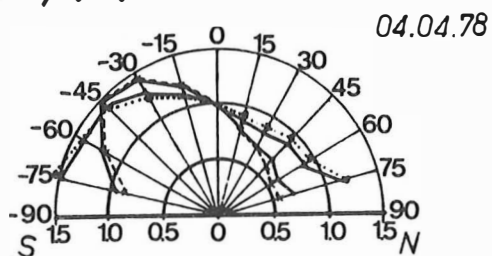


Abbildung 2: Indikatriceigenschaft des spektralen Remissionskoeffizienten /5/.

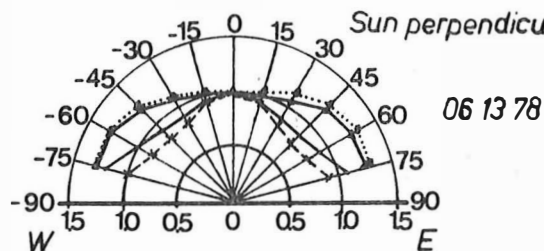
West TALENT rows E.W

- Channel 4 —
- " 5 —
- " 6 —
- " 7 —



Sun in plane

Sun perpendicular to the plane



Sun perpendicular to the plane

Abbildung 3: Abhängigkeit des Variationskoeffizienten des spektralen Remissionskoeffizienten von der Größe des Auflösungselements

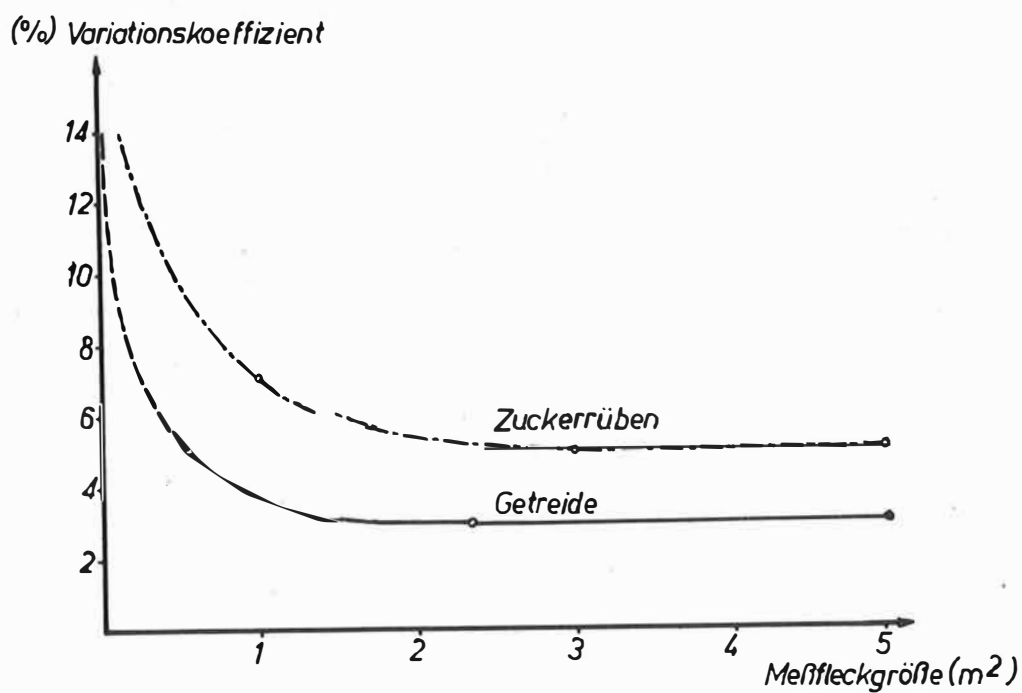


Abbildung 4: Beispiel für den Aufbau eines Merkmalskatalogs des Objektes "Wald" mit Hilfe von P-Listen der Programmiersprache LISP (Merkmale aus Tabelle 1 und 2 entnommen).

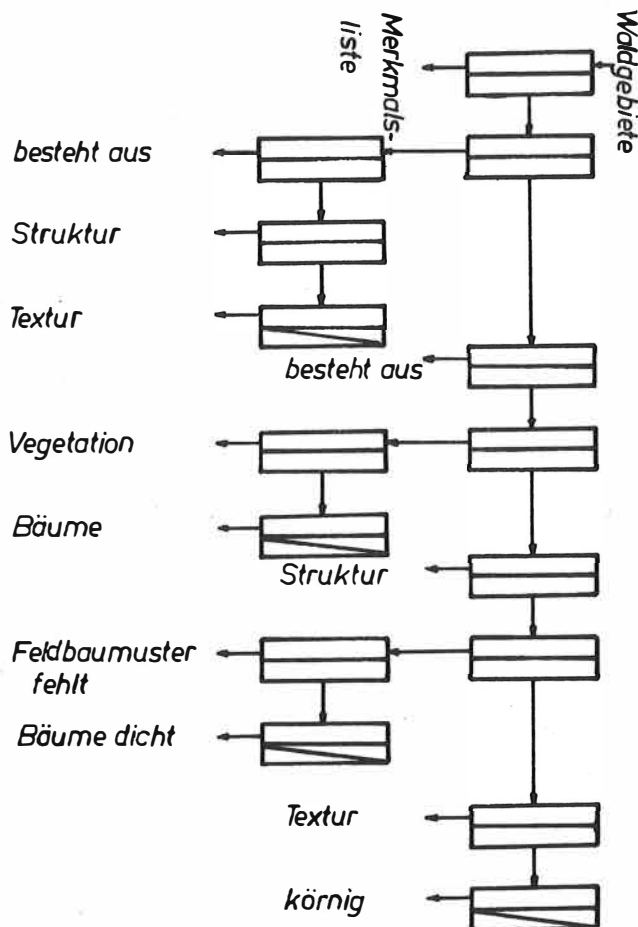


Abbildung 5: Einfacher Merkmalskatalog des Terminalobjektes "Baum" nach dem Interpretationsschlüssel aus Tabelle 1

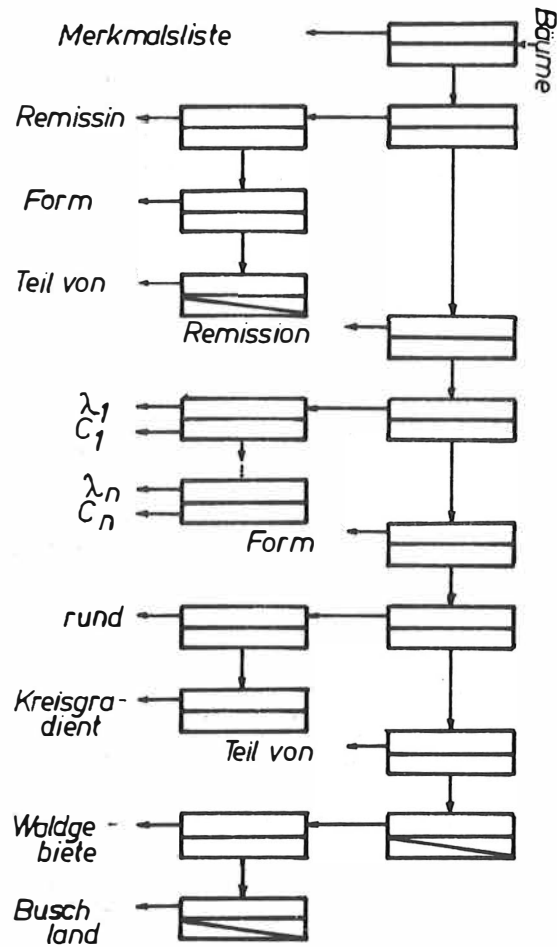
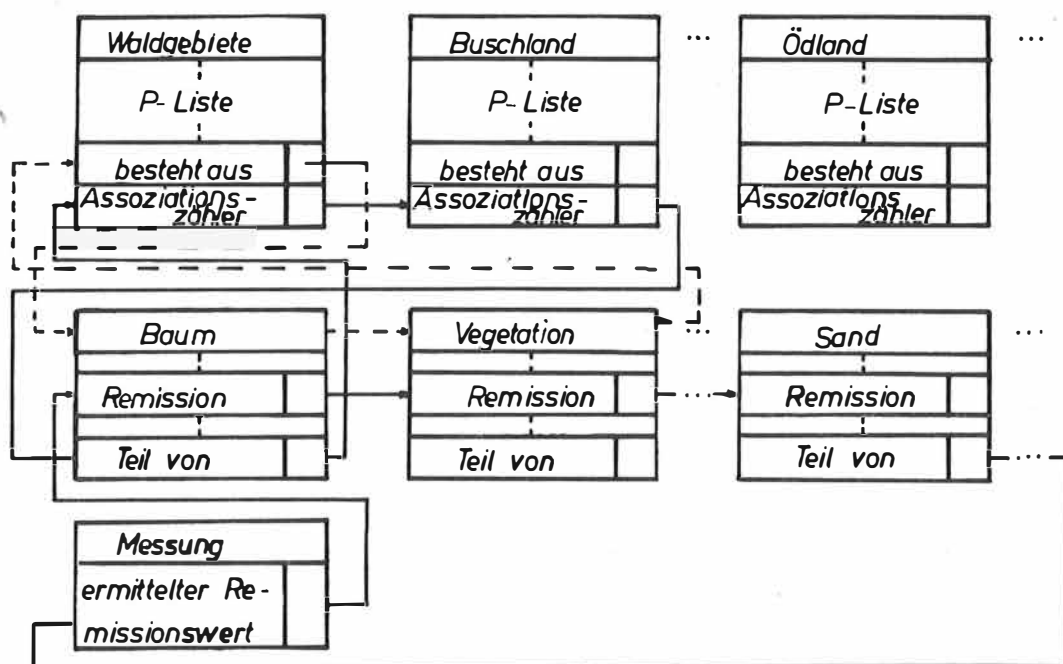




Abbildung 6: Ausschnitt aus dem Klassifikationsvorgang nach dem Interpretationsschlüssel aus Tabelle 1



Literaturverzeichnis

- /1/ SÖLLNER, R.; MAREK, K.-H.; WEICHELT, H.; WIRTH, H.:  
Zur Formalisierung von Erkennungsprozessen in der Fernerkundung.  
Vermessungstechnik, 30 (1982) 3, S. 81 - 84
- /2/ HABERÄCKER, P.: Untersuchungen zur Eignung verschiedener Klassifikationen für die  
Verarbeitung von Bilddaten aus der Fernerkundung. Proceedings of the International  
Symposium, ISP-Commission VII, Freiberg, 1978, S. 287 - 320
- /3/ WIRTH, M.; SCHILBACH, G.; WEICHELT, H.: Rechnergestützte Analyse von MKF-6-Auf-  
nahmen durch überwachte Klassifizierung.  
Vermessungstechnik, 28 (1980) 6, S. 194 - 197
- /4/ SPÄTH, M.: Cluster-Analyse-Algorithmen zur Objektklassifizierung und Datenreduktion.  
München/Wien: Oldenbourg Verlag 1977
- /5/ GUYOT, G.: Analysis of Factors Acting on the Variability of Spectral Signatures of  
Natural Surfaces. Proceedings of the 14. ISP-Kongress, Hamburg 1980, Commission 7,  
S. 382 - 393
- /6/ P. SWAIN: Pattern Recognition for Remote Sensing. Proceedings of the 14. - ISP -  
Kongress, Hamburg 1980, Commission 3, S. 716 - 725
- /7/ H. STOYAN: LISP-Programmierhandbuch. Akademie-Verlag Berlin 1978
- /8/ C. HAMANN: Die Programmiersprache LISP - eine einführende Übersicht. Elektronik  
(1982) 1, 2, S. 99 - 102, S. 60 - 64
- /9/ S. SCHNEIDER: Luftbild und Luftbildinterpretation. Walter Grayler Berlin -  
New York 1974

Entwicklung der Luftbildanwendung in der Forstwirtschaft der DDR

von

BIEBERSTEIN, SCHRÖDER und RIEDEL <sup>1)</sup>

Die Nutzung der Luftbilder für die praktische Forsteinrichtung begann 1956. Seit dieser Zeit hat sich die Arbeit mit dem Luftbild stürmisch entwickelt. Es lassen sich drei Hauptanwendungsrichtungen herausarbeiten.

Die erste Hauptrichtung wird seit 1958 charakterisiert durch die immer bessere und vollständige Nutzung des Luftbildes für die Waldvermessung, Kartenneuherstellung und -ergänzung. Im Zuge der Einarbeitung gelang es immer besser, die umfangreichen örtlichen Arbeiten zur Einmessung der topographischen Details, von Bestandesgrenzen und veränderten Wald-Feld-Grenzen auf ein Minimum zu reduzieren. Genutzt wurden für die Zwecke der Vermessung und Kartenergänzung vorwiegend Schwarz-Weiß-Bilder im Maßstab 1 : 13 000, die für die topographischen Aufgaben geflogen worden waren. Die Ergänzung des Kartengrundrisses erfolgte in der Hauptsache mit dem SEG I und dem Luftbildumzeichner.

Seit 15 Jahren benutzen wir für ebenes Gelände auf den mittleren Bildmaßstab 1 : 5 000 vergrößerte Kopien der Originalbilder, von denen die in die Karten nachzutragenden Elemente direkt hochgezeichnet werden. Mit der immer breiteren Durchsetzung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts und der noch besseren Ausnutzung der Luftbilder wurde die technische Ausrüstung durch Topocart und Topoflex modernisiert. Damit ist es uns nun auch möglich, mittels Topoflex im Mittelgebirge und Hügelland die Kartenergänzung aus dem Luftbild vorzunehmen.

Die zweite Hauptrichtung umfaßt die Luftbildinterpretation für die Waldzustandsinventur und Planung der Waldfondsentwicklung. Während von 1958 bis 1970 die Interpretation fast ausschließlich auf die Einteilung des Waldes und auf das Erkennen der unterschiedlichen Baumarten und Bestandesalter ausgerichtet war, rückte in den siebziger Jahren, besonders mit dem Übergang vom Taschen- und Spiegelstereoskop zum Interpretoskop, die Interpretation von Details über den Waldzustand in den Mittelpunkt. Im Luftbild werden innerhalb der Teilflächen kleine Anteilflächen andersgearteter Bestockung abgegrenzt, Mischungsformen und Mischungsanteile der Baumarten und Wuchsklassen ermittelt und auch die Bestandesdichte über den Kronenschlußgrad beurteilt. Besonders wertvoll ist das Luftbild für die Planung des Waldaufbaues, da sich im Bild viel besser als auf Karten die Lagerung der unterschiedlichen Waldbestände erkennen läßt. Die Planung ist besonders gerichtet auf die Sicherung des Waldes gegen Sturmschäden und Waldbrände. Im Rahmen der Interpretation ist es gleichzeitig gut möglich, die entsprechenden Schutzsysteme zu projektieren oder Nutzungskonzentrationen mit Nachfolgeschäden zu vermeiden. Auch für die Projektierung des Wald- und Bestandesaufschlusses mit Abfuhr- und Rückewegen hat das Luftbild als Hilfsmittel zur Arbeitsvorbereitung Bedeutung. Die Interpretation wird zunehmend objektiviert und unterstützt durch Messungen im Luftbild (PERLWITZ 1970). So werden mittels Topocart unter ebenen Geländebedingungen über die Waldflächen Baumhöhenprofile abgefahren und auf dem Zeichentisch aufgetragen. Aus den Profilen wird die mittlere Höhe der Waldbestände als eine wichtige Größe für die Ermittlung des Holz-

<sup>1)</sup> Dr. BIEBERSTEIN, Dr. SCHRÖDER, Ing. RIEDEL; VEB Forstprojektierung Potsdam

vorrates abgeleitet. Gegenwärtig wird daran gearbeitet, durch partielle Messung der Baumhöhenprofile die Ermittlung der mittleren Baumhöhe zu rationalisieren und zu objektivieren. Für diese Arbeiten müßten allerdings einfachere Geräte zur Verfügung stehen als das teure Topocart. Mit der Ermittlung der Baumzahlen aus dem Luftbild (FROMHOLD 1973) für die Holzvolumenermittlung konnte in der Praxis kein Durchbruch erreicht werden. Das Auszählen der Bäume ist zu monoton. Es muß nach rationelleren Lösungen gesucht werden.

Um die Interpretation durchgängig anzuwenden, wurde 1982 mit allen Interpreten ein Interpretationstraining durchgeführt. Die wichtigsten Merkmale sind in einem Interpretationsschlüssel gefaßt.

Die dritte Hauptrichtung ist die Ermittlung von Vegetationsschäden.

Insbesondere geht es um die Inventur von Schäden an Fichten und Kiefern durch Schadstoffimmissionen. Die Arbeiten gehen auf WOLF (1968) und PELTZ (1970) zurück. Durch diese wurde gemeinsam mit den Spezialisten unseres Betriebes ein geeigneter Interpretationsschlüssel erarbeitet und vervollständigt. Die Falschfarbaufnahmen mit dem sowjetischen Spektrazonalfilm SN-6M ermöglichen bei Aufnahmen im Maßstab 1 : 5 000 ... 1 : 8 000 eine den Forderungen der Praxis entsprechende Interpretation der Schäden. Die Remissionsunterschiede und die damit verbundene unterschiedliche Farbwiedergabe in Spektrazonalluftbildern gestatten z. B. die Unterscheidung von gesunden, geschwächten und toten Fichtenkronen. Je nach den geschädigten Anteilen von Bäumen am Bestand werden die Flächen bestimmten Schadstufen zugeordnet. Diese bilden die kleinste Einheit in der Erfassung der geschädigten Flächen. Innerhalb der Schadstufen wird die Behandlung des Waldes nach einer Richtlinie geregelt. Die Überwachung der Schadgebiete anhand der Spektrazonalfilme erfolgt in fünfjährigen Abständen. Durch Vergleich der Bilder ist die Veränderung gut nachweisbar.

Darüber hinaus wurden auch Versuche durchgeführt, um andere Schäden im Luftbild zu erkennen. Zu diesem Zweck wurden 1980 in den großen Schneebruchgebieten des Erzgebirges Befliegungen durchgeführt. Im Ergebnis konnte durch SCHRÖDER (1981) festgestellt werden, daß für eine Grobeinschätzung des Schadens das Luftbild geeignet ist.

Durch eine Verbindung des im Luftbild angesprochenen Schadprozentes und einer Kopplung mit dem im elektronischen Datenspeicher Waldfonds gespeicherten Einzelflächendaten ist eine Quantifizierung des Schadumfangs gegeben. Leider sind für solche Aufgabenstellungen die Zeiten für die Bildbereitstellung zu lang.

Neben den genannten Hauptrichtungen gewinnen Luftbilder für die Beurteilung von Naturräumen im Rahmen der forstlichen Standortserkundung und für Zwecke der Flurholzinventur und -planung zunehmend an Bedeutung.

Im Suchen nach neuen Wegen in der Nutzung von Daten der Fernerkundung und der Nutzung von Auswerteanlagen des Interkosmosprogramms erhoffen wir uns in den achtziger Jahren wesentliche Fortschritte in der Objektivierung und Automatisierung der Bildauswertung. Im Rahmen der Forschungskoooperation sind wir daran interessiert, Möglichkeiten der rechnergestützten Auswertung von Luftbildern und andere wissenschaftliche Forschungsergebnisse der Fernerkundung für unsere Inventur- und Projektierungsarbeiten erschließen und übernehmen zu können mit der Zielstellung, unsere Arbeitsergebnisse qualitativ zu verbessern und rationeller herzustellen.

Prüfung qualitativer Zustandsmerkmale geschädigter Fichtenbestände aus  
spektrozonalen Luftbildern mit Hilfe mehrdimensionaler Varianzanalysen

von

E. PELZ und U. POFAHL<sup>1)</sup>

1. Problemstellung

Die Einwirkung zahlreicher exogener Schädigungsfaktoren auf die Benadlung der Fichte verursacht Störungen der physiologischen Vorgänge, die nach Überschreiten einer bestimmten Schwelle als morphologische Veränderungen der Kronen auch äußerlich sichtbar werden. Als primäre Folge der Schädigung treten Nadelverluste auf, die gewöhnlich von der älteren zur jüngeren Benadlung voranschreiten und dem Beobachter vom Boden als Auflichtung der Krone bis zum Absterben einzelner Äste oder der gesamten Krone sichtbar werden. Die Ursachen einer solcherart ablaufenden Schädigung können unterschiedlich sein und müssen durch spezifische Diagnosemethoden bestimmt werden. Nach Diagnose der Ursachen können die Symptome der Entnadelung benutzt werden, um bei großflächigem Auftreten den Umfang und die Intensität der Schädigung abzugrenzen.

Die dazu zur Verfügung stehenden terrestrischen Aufnahmemethoden sind aufwendig und von begrenzter Zuverlässigkeit. In einer Reihe von Beispielen wurden Methoden der Fernerkundung (infrarot sensibilisierte Farbfilme) effektiv zur Abgrenzung von Schädigungen in den Waldbeständen benutzt. Die Beziehungen zwischen Vegetationsschädigung und Remission wurden von MURTHA (3) (4) zu einer Theorie zum Nachweis und zur Einschätzung von Vegetationsschädigungen zusammengefaßt.

Nach den vorliegenden Erfahrungen in der DDR (PELZ, PERLWITZ, HABERMANN (5)) wird bei Ermittlungen des Zustandes geschädigter Fichtenbestände die Krone des Einzelbaumes als Interpretationseinheit genutzt, wobei die visuell interpretierte Farbe einer der 4 Klassen (gesund, leicht geschädigt, stark geschädigt, tot) eines empirisch abgeleiteten Interpretationsschlüssels zugeordnet wird. Der prozentuale Anteil stark geschädigter und toter Kronen im Gesamtbestand ist dann die Grundlage einer Zuordnung in eine der Schadstufen. Das Verfahren wird z. Z. in einfacher Form als Methode der Luftbild-Taxation des mittleren Anteils stark geschädigter Kronen in den betroffenen Teilflächen aus Papierkopien spektrozonaler (falschfarbiger) Luftbilder in Maßstäben zwischen 1 : 3 000 bis 1 : 6 000 angewendet. Es ist sehr einfach und kann bei geringem Training des Interpreten mindestens den gleichen Grad an Objektivität wie das vorher angewendete terrestrische Aufnahmeverfahren bei erheblich geringerem Aufwand an Interpretationszeit erreichen. Andererseits setzt der fehlende Vergleich mit dem terrestrischen Zustand jedoch Grenzen für die Genauigkeit. Während die durch Interpretation erkannte relative Abstufung der Schädigungsintensität für einen engen flächenmäßigen Bereich ausreicht, ist diese Aussage ohne terrestrische Zustandsdaten mit zunehmender Flächengröße schwieriger zu beweisen. Die Zuverlässigkeit des empirisch gebildeten Interpretationsschlüssels war daher durch terrestrische Messungen zu überprüfen und nachzuweisen, ob und in welcher Weise die gebildeten Kronenschädigungsklassen nachweisbare relevante Merkmale einer Schädigung der Fichten repräsentieren. In dieser Arbeit soll speziell über den angewendeten mathematischen Lösungsweg berichtet werden.

<sup>1)</sup> E. PELZ, Technische Universität Dresden, Sektion Geodäsie und Kartographie  
U. POFAHL, Institut für Forstwirtschaften Eberswalde

## 2. Versuchsgrundlagen

Die Auswertung der Versuche bestand darin, von Einzelbäumen ausgewählter Modellbestände sowohl nach dem Luftbild (Film SN-6 M,  $m_b$  1 : 2 500 bis 1 : 10 000) als auch nach terrestrischen Beobachtungen eine Einordnung nach Merkmalen des gesamten Schädigungszustandes der Baumkronen in die 4 Schädigungsklassen des vorliegenden, empirisch begründeten Interpretationsschlüssels zu erhalten. Der Durchmesser ( $d_{1,3}$ ) der ausgewählten Probestämme lag unmittelbar in der Nähe des arithmetischen Mittels der Baumdurchmesser im Bestand. Der Schädigungszustand der Baumkronen wurde mehrfach terrestrisch angesprochen und mit den Ergebnissen der Interpretation an verschiedenen Luftaufnahmen der Bestände verglichen. Nachdem die Probestämme gefällt waren, wurden die in Kapitel 3 aufgezählten Merkmale gemessen, welche zugleich die Merkmalsmenge für die mehrdimensionalen Varianzanalysen darstellten. Bei der mathematischen Bearbeitung wurde davon ausgegangen, daß von diesen Bäumen, die zu verschiedenen Schädigungsklassen gehörten, je Baum ein Merkmalsvektor erfaßt wurde. Mit Hilfe der MANOVA waren folgende Fragen zu klären:

- Lassen sich die Schädigungsmerkmale aufgrund von Merkmalsvektoren, die an den Bäumen im Bestand ermittelt wurden, in Klassen einteilen?
- Bestehen zwischen diesen Klassen statistisch gesicherte Unterschiede?
- Welche Merkmale sind für die Einhaltung der Klassen relevant?
- Bestätigen die geschätzten Diskriminanzfunktionen und die danach durchgeführte Klassifizierung die visuell (nach Luftbildern und nach terrestrischer Schätzung) vorgenommene Eingruppierung in Schädigungsklassen des Einzelbaumes?

Um obige Fragestellung anhand konkreter Objekte zu beantworten, wurden mehrere mehrdimensionale Varianzanalysen mit anschließender Diskriminanzanalyse und Klassifikation durchgeführt. Für die Rechnungen stand das Programm STEVD 6 auf der EDVA EC 1040 vom Zentralinstitut für Mathematik und Mechanik der AdW Berlin zur Verfügung.

### 2.1. Versuchsanlage

Im Jahre 1978 wurden auf einer Modellfläche (Modellbestand 1) aus den Klassen "stark geschädigt" (III), "leicht geschädigt" (II) und "nicht geschädigt" (I) jeweils 5 Bäume gefällt. Der Merkmalsvektor bestand aus 11 Komponenten:

1. Anzahl der Nadeljahrgänge in der Oberkrone (Stück)
2. Nadelzweigmasse je m grüner Krone (kg)
3. Nadelzweigmasse absolut (kg)
4. Durchschnittliche Jahrringbreiten ( $\text{mm} \cdot 10^{-2}$ ) 1978 - 1974
5. " " " 1973 - 1969
6. " " " 1968 - 1964
7. " " " 1978 - 1969
8. relativer Jahreszuwachs (%) 1978 - 1974
9. " " " 1973 - 1969
10. " " " 1968 - 1964
11. " " " 1978 - 1969

Im Jahre 1979 wurde eine weitere Modellfläche (Modellbestand 2) mit starken Schädigungen in den Versuch einbezogen. Die Versuchsanlage war etwas verändert. Es zeigte sich nach Auswertung des Versuches Modellbestand 1, daß die Ansprache der Klasse "leicht geschädigt" mit dem angewandten Verfahren nicht möglich ist. Von der Klasse "nicht geschädigt" wurden 10 Bäume ausgesucht, von der Klasse "stark geschädigt" wurden 11 Bäume ausgesucht, gefällt und vermessen. Der Merkmalsvektor bestand aus 17 Komponenten:

1. Baumlänge (m)
2. Kronenlänge (m)
3. maximaler Kronendurchmesser (m)
4. Anzahl der Nadeljahrgänge (Stück) in der mittleren Krone
5. Anzahl der Nadeljahrgänge (Stück) in der oberen Krone
6. Frischmasse aller Zweige (kg)
7. Frischmasse aller Zweige je Meter grüne Krone (kg)
8. Durchmesser  $d_{1,3}$  (cm)
9. Mittlere Nadellänge (mm)
10. Nadelmasse / lufttrocken (g)
11. Anteil der Nadeln an der Gesamtzweigmasse (%)
12. Frischmasse der Nadeln an den Zweigen (kg)
13. Frischmasse der Nadeln je Meter grüne Krone (kg)
14. Durchschnittliche Jahrringbreiten ( $\text{mm} \cdot 10^{-2}$ ) 1978 - 1974
15. " " " 1973 - 1969
16. " " " 1968 - 1964
17. " " " 1978 - 1969

## 2.2. Theoretische Grundlagen der mehrdimensionalen Varianzanalyse

Im folgenden soll kurz das mathematische Modell beschrieben werden. Umfangreiche Ausführungen und Beweise dazu sind bei AHRENS/LÄUTER/ 1/ oder POFAHL u. a. /2/ zu finden.

Es wird von folgender Modellgleichung ausgegangen, welche als p-dimensionale Form des allgemeinen linearen Modells in der Statistik aufgefaßt werden kann:

$$\underline{Y}^T = \underline{XB} + \underline{E}$$

Dabei ist  $\underline{Y}$  die Meßwertmatrix der Meßwertvektoren  $\underline{y}_j$ , welche jeweils aus p Komponenten bestehen. Diese Meßwertvektoren  $\underline{y}_j$  mögen aus einer p-dimensionalen Grundgesamtheit  $N(\underline{\mu}_j, \underline{\Sigma})$  stammen. Getestet wird dann folgende Hypothese:

$$H_0 : \underline{KB} = \underline{0} \text{ gegen } H_A : \underline{KB} \neq \underline{0}$$

Als Teststatistik wurde  $T^2$  gewählt. Aus der Stichprobe wird nun die Teststatistik  $\tilde{F}$  berechnet und mit einem  $F_{g1, g2; \alpha}$  verglichen, welcher  $T^2$  approximiert und bei AHRENS/LÄUTER / 1 / vertafelt ist. Die Hypothese  $H_0$  wird abgelehnt, wenn  $\tilde{F} > F_{g1, g2; \alpha}$ .

Für den Fall, daß mehr als zwei Klassen vorhanden sind, werden paarweise alle Nullhypothesen getestet. Anschließend werden Diskriminanzfunktionen berechnet. Dieses Vorhaben soll am Beispiel von 3 Klassen erläutert werden. Die Matrix der

Mittelwertsvektoren sei  $\underline{M} = (\underline{y}_1 \dots, \underline{y}_2 \dots, \underline{y}_3 \dots)$ .

Dann ergeben sich die Koeffizienten der Diskriminanzfunktion zu

$$(a_{kj}) = \underline{M}^T \underline{S}^{-1} \quad (k = 1, 2, 3; \quad j = 1(1)p) \quad (3)$$

$\underline{S}$  ist eine Schätzung der Kovarianzmatrix  $\underline{\Sigma}$ . Nun wird

$$d_k(y_1, y_2, \dots, y_p) = \underline{a}_k^T \underline{y}_j - 1/2 a_{k0} \quad (k = 1, 2, 3) \quad (4)$$

mit  $a_{k0} = \underline{M}^T \underline{S}^{-1} \underline{y}_k$  berechnet. Das Objekt wird der Klasse  $k$  zugeordnet, wenn  $d_k$  maximal ist. Analog wird verfahren, wenn nur 2 Klassen vorhanden sind. Die in den Beispielen angegebenen Trennmaße wurden, wie bei AHRENS/LÄUTER beschrieben, berechnet.

### 3. Ergebnisse

Die wesentlichen Ergebnisse des Versuches Modellbestand 1 zeigt Tabelle 1.

Es wurde davon abgesehen, Parameter anzugeben, da wegen des geringen Umfangs der Stichproben (5 Varianten mit je 5 Proben) die Ergebnisse des Versuches Modellbestand 1 eine eingeschränkte Aussagekraft haben.

Bei den durchgeführten statistischen Tests betrug die Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  stets 0,05. In Tabelle 1 bedeutet " + ": die Nullhypothese wird nicht abgelehnt, " - ": die Nullhypothese wird abgelehnt, " 0 " bedeutet, diese Hypothese wurde nicht getestet.

Beim Versuch Modellbestand 2 standen 21 Probebäume zur Verfügung. Es wurden nur zwei Klassen gebildet. Das gab Voraussetzungen, auch Parameter anzugeben.

Für die Mittelwertsvektoren ergaben sich folgende Schätzungen:

$$\underline{y}_1^T = \begin{pmatrix} 18,47 & 8,06 & 5,97 & 3,80 & 3,38 & 79,64 & 9,68 & 27,0 \\ 14,16 & 0,468 & 29,80 & 23,68 & 2,9 & 30,54 & 69,7 & 93,72 \\ 50,12 \end{pmatrix}$$

$$\underline{y}_2^T = \begin{pmatrix} 19,59 & 7,35 & 5,92 & 1,41 & 0,30 & 29,6 & 3,86 & 26,55 \\ 16,54 & 0,458 & 17,39 & 5,58 & 0,71 & 6,25 & 36,56 & 68,73 \\ 21,41 \end{pmatrix}$$

In den angegebenen Beispielen wurden nur Komponenten dieser Mittelwertvektoren verglichen. Welche Ergebnisse im einzelnen erzielt wurden, ist der Tabelle 2 zu entnehmen. In den Tabellen 3 bis 7 sind von einigen Varianzanalysen die Korrelations- und Trennmaßmatrizen dargestellt. Da sowohl die Korrelations- als auch die Trennmaßmatrizen symmetrisch sind, ist jeweils von der Korrelationsmatrix und von der Trennmaßmatrix nur die obere bzw. untere Hälfte dargestellt. Die jeweils größten Trennmaße sind eingerahmt, das größte Trennmaß eines Merkmalspaares ist fett gedruckt. Bei der Interpretation der Trennmaße ist darauf zu achten, daß nicht in jedem Fall ein hohes Trennmaß erwünscht ist. Bei den Merkmalen Baumlänge und Kronendurchmesser z. B. spiegelt sich die Auswahlstrategie wider, gleich lange Schäfte zu benutzen.



#### 4. Auswertung

Die Ergebnisse zeigen, daß es über den gewählten mathematischen Lösungsweg möglich war, die Schädigungsmerkmale der Kronen anhand der an den Bäumen ermittelten Merkmalsvektoren in Klassen einzuteilen und statistisch zu belegen. Dabei zeigte sich im Versuchsmaterial Modellbestand 1, daß die Ausscheidung der Klassen "leicht geschädigt" nicht zu empfehlen ist, da speziell in dieser Klasse eine Häufung von Fehlklassifikationen auftrat (Tab. 1). Die in Tab. 2 zusammengefaßten Ergebnisse zeigen, daß die Reduzierung auf 2 Klassen im Versuch Modellbestand 2 (Tab. 2) die Fehlklassifikationen auf einen minimalen Anteil in der Klasse "gesund bis leicht geschädigt" einschränkte. Dabei konzentrieren sich die Fehlklassifikationen auf die Schädigungsklasse, die im Modellbestand nur gering vertreten war und in der bereits bei Auswahl der Prohebäume nach zusammenfassenden Schädigungsmerkmalen der Krone Kompromisse gemacht werden mußten.

Gleichzeitig wird sichtbar, daß die Fehlklassifikationen auf Merkmalskombinationen mit dem Zuwachs konzentriert sind. In Übereinstimmung damit zeigen die Ergebnisse, daß nicht alle terrestrisch gemessenen Einzelmerkmale bezüglich ihrer Zuordnung in die Klassen die gleiche Relevanz haben. Eine eindeutige Klassifikation mit hohen Trennmaßen konnte besonders mit den Merkmalen erreicht werden, die auf das Schädigungsmerkmal Benadlungszustand der Krone als Ausdruck für den Schädigungsgrad maßgeblich Einfluß haben. So hatten die Merkmale "Anzahl der Nadeljahrgänge in der Oberkrone", "Anzahl der Nadeljahrgänge in der Mittelkrone" und "Nadelzweigmasse je Meter grüner Krone" bemerkenswert hohe Trennmaße. Das besttrennende Merkmalspaar ist "Anzahl der Nadeljahrgänge in der Oberkrone" und "Nadelzweigmasse je Meter grüner Krone", welches das größte Trennmaß aufweist, während der Korrelationskoeffizient praktisch gleich 0 ist (Tab. 6). Das bedeutet, daß diese zwei voneinander unabhängigen Merkmale, gemeinsam gemessen, in der Lage sind, den darzustellenden Unterschied zu charakterisieren. Die Aussage dieser Merkmale für sich allein hat nur eingeschränkte Bedeutung. Die genannten Merkmale bestätigen damit einerseits die Richtigkeit der Klassifizierung nach dem empirisch gebildeten Schlüssel für die Luftbildinterpretation. Sie repräsentieren den wesentlichen Teil der visuell erkennbaren Kronenschädigung. Andererseits sind sie die Ansatzpunkte für Gegenkontrollen zur Luftbildinterpretation in einer terrestrischen Phase, um die relativen visuellen Ergebnisse der Interpretation durch absolute terrestrische Meßwerte zu stützen bzw. zu korrigieren.

Die Relevanz des Merkmals Radialzuwachs muß gegenüber den vorstehend genannten Merkmalen zurückstehen, da es sich dabei um eine indirekte Auswirkung der Schädigung handelt, die zwar vom äußerlich sichtbaren Schädigungsgrad der Kronen ausgelöst wird, jedoch außerdem noch durch zahlreiche andere Faktoren beeinflusst wird. Bei niedrigeren Trennmaßnahmen gegenüber den oben genannten Merkmalen des Benadlungszustandes zeigt sich das größte Trennmaß der Radialzuwachswerte bei den Jahrringbreiten der letzten 5 Jahre vor der Untersuchung (1978 - 1974).

**Tabelle 1:**

Ergebnisse der MANOVA

Versuch: Modellbestand 1

Nr.	Merkmale	getestete Hypothesen				best-trennende Merkmale	Bemerkungen
		$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$	$\mu_1 = \mu_3$	$\mu_2 = \mu_3$	$\mu_1 = \mu_2$		
1	1,2,3	-	+	-	-	1	Fehlklassifikationen sind aufgetreten, dabei keine von I nach III
2	2,3,4	+	+	+	-	4	Fehlklassifikationen sind aufgetreten, dabei keine von I nach III und umgekehrt.
3	2,3,5	+	+	+	+	2	Fehlklassifikationen sind aufgetreten, dabei keine von I nach III und umgekehrt; kl. Trennmaße bei Merkmalen
4	2,3,6	+	+	+	+	2	Fehlerklassifikationen sind aufgetreten, dabei keine von I nach III und umgekehrt; kl. Trennmaß bei Merkmalen
5	3,4,5	+	+	+	+	4	Fehlklassifikationen sind aufgetreten, dabei keine von I nach III und umgekehrt
6	5,6	0	0	0	-	-	zwei Fehlklassifikationen, kleine Trennmaße
7	1,2,4,5	0	0	0	-	1,4	keine Fehlklassifikation
8	5,6,7	0	0	0	-	7	ein Baum aus Kl. I wurde in Kl. III eingeordnet
9	4,5,6	0	0	0	-	4	ein Baum aus Kl. I wurde in Kl. III eingeordnet
10	2,3,8	+	+	+	+	2,8	Fehlklassifikationen sind aufgetreten, dabei keine von I nach III und umgekehrt, kleine Trennmaße
11	2,3,9	+	+	+	+	2	Fehlklassifikationen sind aufgetreten, dabei keine von I nach III und umgekehrt, kleine Trennmaße
12	2,3,10	+	+	+	+	2	Fehlklassifikationen sind aufgetreten, dabei keine von I nach III und umgekehrt, kleine Trennmaße
13.	3,8,9	+	+	+	+	8	Fehlklassifikationen sind aufgetreten, dabei keine von I nach III und umgekehrt, kleine Trennmaße
14	9,10	0	0	0	+	-	zwei Fehlklassifikationen von I nach III, kl. Trennm.
15	1,2,8,9	0	0	0	-	1,2	keine Fehlklassifikation
16	9,10,11	0	0	0	+	-	zwei Fehlklassifikationen von I nach III, kl. Trennm.
17	8,9,10	0	0	0	+	-	zwei Fehlklassifikationen von I nach III, kl. Trennm.

Tabelle 2:  
Ergebnisse der MANOVA

Versuch: Modellbestand 2

Nr.	Merkmale	$\tilde{F}$	Tafelwert	Relative Häufigkeit der Fehlklassifikationen	
				Klasse I	Klasse II
1	1,2,3,4,5	21,03	2,90	0	0
2	2,3,4,5,6,7	48,75	2,85	0	0
3	4,5,7,8,9,10	18,69	2,85	0	0
4	4,5,11,12,13	26,58	2,90	0	0
5	14,15,16	4,86	3,20	0,2	0
6	12,13,14,15	10,79	3,01	0,1	0
7	4,5,14,15	20,75	3,01	0	0
8	5,13,14,15	29,09	3,01	0	0
9	4,5,12,13,17	26,77	2,90	0	0

Tabelle 3:  
Korrelations- und Trennmaßmatrix

Merkm.	1	2	3	4	5
1 Baumlänge	0,283	0,625	0,430	0,128	-0,208
2 Kronenlänge	0,699	0,029	0,473	-0,037	-0,179
3 Kronendurchmesser	0,368	0,032	0,001	0,047	-0,018
4 Nadeljg. mittlere Krone	1,949	1,515	1,469	1,469	0,452
5 Nadeljg., obere Krone	6,301	6,698	6,307	6,309	6,301

Tabelle 4:  
Korrelations- und Trennmaßmatrix

Merkm.	2	3	4	5	6	7
2 Kronenlänge	0,029	0,473	-0,037	-0,179	0,860	0,347
3 Kronendurchmesser	0,032	0,001	0,047	-0,017	0,664	0,584
4 Nadeljg. mittlere Krone	1,469	1,469	1,469	0,425	0,005	0,302
5 Nadeljg. obere Krone	6,698	6,307	6,309	6,301	-0,209	0,112
6 Frischmasse aller Zweige	2,516	1,529	2,360	8,580	0,903	0,728
7 Frischmasse je Metr. gr. Kr.	2,285	3,191	2,804	7,726	2,185	2,155

Tabelle 5:

Korrelations- und Trennmatrix

Merkmal	4	5	7	8	9	10
4 Nadeljg. mittlere Krone	1,469	0,452	0,302	0,001	-0,364	0,199
5 Nadeljg. obere Krone	6,309	6,301	0,112	-0,169	-0,407	0,206
7 Frischmasse je Metr. gr. Kr.	2,804	7,726	2,155	0,507	-0,057	0,211
8 d <sub>1,3</sub>	1,481	6,594	3,020	0,012	-0,007	0,026
9 mittlere Nadellänge	1,511	6,482	2,458	0,411	0,400	0,688
10 Nadelmasse	1,552	6,628	2,231	0,013	0,832	0,002

Tabelle 6:

Korrelations- und Trennmaßmatrix

Merkmal	4	5	11	12	13
4 Nadeljg. mittlere Krone	1,469	0,452	0,584	0,058	0,397
5 Nadeljg. obere Krone	6,309	6,301	0,391	-0,119	0,338
11 Nadelmasse %	1,855	6,364	1,470	0,313	0,657
12 Frischmasse Nadeln	2,714	8,528	2,188	1,402	0,681
13 Nadelmasse je Metr. gr. Kr.	2,951	6,936	2,602	2,572	2,555

Tabelle 7:

Korrelations- und Trennmaßmatrix

Merkmal:		Durchschnittsbreite der Jahrringe		
		14	15	16
14	1978 - 1974	0,565	0,889	0,876
15	1973 - 1969	0,594	0,347	0,944
16	1968 - 1964	0,786	0,490	0,186

Das weist auf die Beziehungen zum aktuellen Benadlungszustand, der ebenso wie der Zuwachsverlauf einem dynamischen Wechsel unterliegt, an dem nur chronologisch gleichlaufende Abschnitte verglichen werden können. Die Ergebnisse zeigen, daß bei kombinierter Verwendung von Merkmalen der Benadlung und des Radialzuwachses zur Auswertung aktueller Fernerkundungsdaten die letzte 5-Jahresperiode der Jahrringbreiten verwendet werden sollten. Damit wird auf die Notwendigkeit verwiesen, aktuelle Zustandsdaten aus Luftbildern als Ausschnitte aus dynamischen Prozessen zu betrachten, bei deren Auswertung nicht nur auf lokale, sondern auch temporäre Übereinstimmung der zu vergleichenden Datengruppen zu achten ist.

#### Zusammenfassung

Der mathematische Lösungsweg eines Klassifizierungsproblems bei der visuellen Photointerpretation des Schädigungszustandes von Fichtenkronen wird beschrieben. Es waren terrestrisch gemessene Einzelmerkmale der Schädigung in die zur Interpretation genutzten Klassen des komplexen Schädigungszustandes der Krone einzuordnen. Als mathematischer Lösungsweg wurden mehrdimensionale Varianzanalysen mit anschließender Diskriminanzanalyse und Klassifikation verwendet. Im Ergebnis konnte die Berechtigung zur Benutzung der empirisch abgeleiteten Kronenschädigungsklassen durch die terrestrischen Meßwerte bestätigt werden. Aus den Trennmaßen wurde die Relevanz der terrestrischen Meßwerte für die Kontrollinventur bei 2-Phasen-Stichprobenahmen eingeschätzt.

#### Literatur

- /1/ AHRENS, H.; LÄUTER, J.: Mehrdimensionale Varianzanalyse. Akademie-Verlag, Berlin 1974
- /2/ POFAHL, U.; LOCKOW, K.-H.; LÄUTER, H.: Zur Lösung von Klassifizierungsproblemen mit Hilfe der mehrdimensionalen Varianzanalyse  
Beiträge f. d. Forstwirtschaft, Heft 2/1979
- /3/ MURTHA, P.A.: A Guide to Air Photo Interpretation of Forest Damage in Canada. 1972; Canadian Forestry Service. Publication No. 1292, Ottawa
- /4/ MURTHA, P.A.: Remote Sensing and Vegetation Damage; A Theory for Detection and Assessment. 1978  
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Vol. 44, No. 9, P. 1147 - 1158
- /5/ PELZ, E.; PERLWITZ, W.; HABERMANN, R.: Rationelle Intensivinventuren des Schädigungszustandes rauchgeschädigter Fichtenbestände mit falschfarbigen Luftbildern.  
Beiträge f. d. Forstwirtschaft, Heft 1/1977

Die Nutzung von Archivbildmaterial in Kombination  
mit Bildern aus der Spezialbefliegung für die  
retrospektivische Beurteilung von Obstanlagen

von

STORCK, H.-J.; OPEL, S.; KRAMER, S.<sup>1)</sup>

Durch die sozialistische Intensivierung in der Obstproduktion haben sich in den letzten Jahren durch Spezialisierung und Kooperation Obstanbaugebiete in den Bezirken Potsdam, Halle, Leipzig, Dresden und Erfurt in Größenordnungen zwischen 4000 ... 10.000 ha herausgebildet, wobei die betriebliche Konzentration der Obstflächen 2.500 ha erreicht. Diese industriemäßige Obstproduktion ist nicht mehr nach herkömmlichen Methoden zu betreiben. Ein wesentlicher neuer Aspekt ist die Prozeßüberwachung als System von Maßnahmen, um die Höhe, Stabilität und Qualität der Erträge durch die Beurteilung der Obstbestände, der natürlichen Produktionsbedingungen sowie der Richtwerte und Normative der Produktion zu sichern (KRAMER 1977).

In diesem System kann die Fernerkundung eine sehr effektive Rolle spielen, da u. a. die wissenschaftlich-technischen Entwicklungen der Raumforschung dafür genutzt werden können. Der gesamte gerätetechnische Komplex für Luftaufnahmen und ihre Auswertung bis hin zu automatischen Bildinterpretationen hat dabei einen so großen Vorlauf, daß die Beläge der Obstproduktion die vorhandenen Möglichkeiten noch gar nicht ausschöpfen können. Die aus Luftaufnahmen zu gewinnenden Informationen sind nicht nur für die Projektierung und die Erfassung der Ertragsstruktur zu verwenden, sondern durch das Luftbild als Momentandokumentation zu verschiedenen Terminen während der Standzeit der Obstgehölze auch für Bestandsbeurteilungen bedeutsam. So ist es möglich, vorhandene Abweichungen von der Normative durch vergleichendes Bildmaterial auch retrospektiv zu beurteilen. Die intensiv erweiterte Reproduktion erfordert gerade auf dem Gebiet der Beurteilung von Vornutzungen der Obstanlagen mehr Information.

Material und Methode

Für die Untersuchungen wurden folgende Bildmaterialien genutzt:

Verwendet wurden panchromatische, Infrarot-, Echtfarb- und Falschfarb-Filmmaterial. Zu nennen sind dabei der Vermessungsfilm VF 35, der Infrarotfilm NI 750, der Negativcolorfilm NC 3, der UF 18 und der sowjetische Spektrozonalfilm SN - 6 M.

Vorrangig genutzt wurden:

- Kontaktkopien auf Film (Diapositiv) und Fotokarten im Maßstab ca. 1 : 12 000 und Luftbildvergrößerungen ca. 1 : 5000. (Luftbildaufnahmematerial war der VF 35)  
Hergestellt wurden die Luftaufnahmen in der Sommerperiode des Jahres 1960, Archivbildmaterial.
- Kontaktkopien auf Film (Diapositiv) und Fotokarton im Maßstab ca. 1 : 19 000 und Luftbildvergrößerungen ca. 1 : 5000. (Luftbildaufnahmematerial VF 35; Aufnahmejahr 1970, Archivbildmaterial)
- Kontaktkopien auf Film (Diapositiv) und Fotokarton im Maßstab ca. 1 : 19 000 und Luftbildvergrößerungen ca. 1 : 5000 (Luftbildaufnahmematerial VF 35; Aufnahmejahr 1975, Spezialbefliegung) und

<sup>1)</sup> Dipl.-Gartenbauing. H.-J. STORCK, Dipl.-Gartenbauing. S. OPEL, Prof. Dr. Dr. h. c. S. KRAMER, Sektion Gartenbau der Humboldt-Universität zu Berlin

- Kontaktkopien auf Film (Diapositiv) und Fotokarton im Maßstab 1 : 12 000 sowie Bildkarten im Maßstab 1 : 2500 und 1 : 10 000. (Luftbildaufnahmefilm VF 35 und SN - 6 M; Aufnahmejahr 1978 Spezialbefliegung)

Luftbildmaterialien der Maßstäbe 1 : 19 000, 1 : 12 000 und 1 : 5 000 wurden bis auf wenige Untersuchungen für die Lösung flächenmäßiger Interpretationsaufgaben genutzt. Für spezielle Meß- und Interpretationsaufgaben standen weiterhin Kontaktkopien und Bildskizzen im Maßstab  $\geq$  1 : 5 000 zur Verfügung.

Es stand damit eine Serie von Luftbildmaterialien zur Verfügung, die eine retro-perspektivische Vergleichbarkeit garantierte.

Die Luftaufnahmen der Jahrgänge 1960 und 1970 gestattete Auswertungen und Interpretationen vor der Pflanzung einer industriemäßigen Obstanlage. Mit den Luftaufnahmen ab 1975, einschließlich der Kontaktkopien und Bildskizzen in größeren Maßstäben, wurden Auswertungen und Interpretationen in der Standzeit der Obstgehölze durchgeführt.

Paßgerechte Deckfolien (Vornutzung 1960, Vornutzung 1970) der Bodenkarte und der Struktur der industriemäßigen Obstanlage erlaubte eine genaue Zuordnung der Meß- und Interpretationsergebnisse entsprechend den ausgewählten Einflußfaktoren.

Als Interpretationsgeräte wurden das Interpretoskop vom VEB Kombinat Carl Zeiss Jena und auch die Standleu Atlupe M 130 verwendet.

#### Ergebnisse

Die Interpretation und Auswertung der genannten Luftaufnahmen gestattet u. a. folgende Aussagen über:

- die Vornutzung differenziert nach landwirtschaftlicher (genossenschaftlich und privat) und obstbaulicher Nutzung. Die Interpretation landwirtschaftlicher Anbauarten ist möglich, wurde aber nicht als notwendig erachtet;
- die Flächenentwicklung (Parzellierung und Größe);
- die Lage der Wege innerhalb der Obstanlage;
- die Art und das eventuelle Alter der Baumobstvornutzung;
- die Lage und den flächenmäßigen Anteil der Baumobstvornutzung und deren Zuordnung zur Neupflanzung;
- die Lage und den flächenmäßigen Anteil der Bodenarten im Bereich der planmäßigen Neupflanzung;
- die Umgebung der planmäßigen Neupflanzung.

Möglich wurden somit Aussagen über die Wirkung der unterschiedlichsten Einflußfaktoren auf die Entwicklung eines Baumobstbestandes.

Zur Bestimmung des Ertrages in Abhängigkeit von der Vornutzung konnte auf der Grundlage der bekannten linearen Beziehung zwischen Kronenvolumen und Ertrag Archivmaterial von Luftbildern der Jahre 1960 und 1970 sowie eine Spezialbefliegung 1975 genutzt werden. Aus den Bildern der ersten beiden Jahre konnte der Charakter der Vornutzung interpretiert werden. Die Bilder von 1975 dienten der Messung der Kronenvolumina der Einzelgehölze und der die Zuverlässigkeit der Bestandseinheiten beschreibenden Korrekturfaktoren  $k$  (Kronenvolumenabweichung der Einzelgehölze vom Normativwert),  $l$  (Baumzahlabweichung, verursacht durch falsche Pflanzabstände) und  $m$  (Baumausfälle). (Tab. 1)

Tab. 1:

Vergleich der Relativwerte des Ertrages in Abhängigkeit von der Vornutzung (unter Berücksichtigung der Korrekturfaktoren) k = Kronenvolumenabweichung der Einzelgehölze; l = Baumzahlabweichung verursacht bei Pflanzung; m = Baumausfälle gemessen am Normativwert

Vornutzungstyp	k	l	m	Ertrag Rel.
Normativwert	1,00	1,00	1,00	1,00
landwirtschaftlich	0,62	0,92	0,99	0,56
obstbaulich	0,22	0,92	0,90	0,18

Entscheidend für die Leistungsfähigkeit der Obstanlage ist die Präzision der Bestandseinheit. Die Präzision der Bestandseinheit ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß das Verzweigungssystem der Krone zu einem bestimmten Zeitpunkt gleich dem durch die Pflanzabstände vorgegebenen Verzweigungsraum ist. Durch die Retrospektive mit Hilfe von Archivbildmaterial konnte dieses Merkmal für verschiedene Bestandseinheiten, Bodenarten und Vornutzungen beurteilt werden (Tab. 2).

Tabelle 2:

Bestimmung der Präzision P von Bestandseinheiten in Abhängigkeit von Sorte, Boden und Vornutzung durch Ermittlung der Werte der Kronenbreite längs ( $Kl_t$ ) aus Luftbildern Toleranzgrenzen 75 % und 50 % des Normativwertes der Kronenbreite längs (ermittelt als relative Häufigkeit)

Varianten			$P = W(Kl_t \geq 0,75 Kl)$	$P = W(Kl_t \geq 0,50 Kl)$	
Vornutzung	Boden	Sorte			
O b s t	S 4	Breuhahn	0,00	0,20	
		Gelber Köstlicher	0,00	0,53	
	Sl 4	Breuhahn	0,07	0,67	
		Gelber Köstlicher	0,03	0,60	
	genossen- schaftl. bewirtsch. Flächen	S 4	Breuhahn	1,00	1,00
			Gelber Köstlicher	0,87	0,93
Sl 4		Breuhahn	0,93	1,00	
		Gelber Köstlicher	0,97	1,00	
private Kleinpar- zellen	S 4	Breuhahn	0,83	0,97	
		Gelber Köstlicher	0,80	0,97	
	Sl 4	Breuhahn	0,73	1,00	
		Gelber Köstlicher	0,93	0,93	



Für die in den nächsten Jahren anstehende intensiv erweiterte Reproduktion sind die Luftbilder der jetzt stehenden Anlagen retrospektiv zu nutzen. Die Quartiergrenzen der Obstanlagen sind bei Neupflanzungen ebenfalls nach den Erkenntnissen des wissenschaftlich-technischen Fortschritts neu zu bestimmen. Daraus ergeben sich wieder unterschiedliche Vornutzungen. Aus der Erkenntnis des Einflusses der Vornutzung auf die Obstgehölze sind deshalb ganz spezifische Bodenvorbereitungsmaßnahmen den künftigen Neupflanzungen voranzustellen. Die Flächenabgrenzung für einzelne Behandlungen ist über die Luftbildinterpretation möglich. Dafür werden zwei Beispiele gegeben.

Die Abbildung 1 zeigt eine Obstanlage mit Wachsminderungen, bedingt durch unterschiedlichste Einflußfaktoren.

Vitalitätsminderungen zeigen sich hierbei durch einen erhöhten Anteil von Baumkronen  $\leq 25\%$  der Norm und im Bereich der Graseinsaat zwischen den Baumreihen. In den Einflußgebieten ist der Anteil an Baumkronen  $\leq 25\%$  relativ hoch aber die Baumausfälle relativ gering, was auf eine langjährige Nachpflanzung zurückzuführen ist.

Bei der Baumobstvornutzung handelt es sich hauptsächlich um Süßkirschen und Steinobstmischpflanzungen, die somit, da es sich um eine Apfelanlage handelt, die Wirksamkeit eines Fruchtfolgewechsels infrage stellen. Die Wachsminderungen im Bereich der ehemaligen Wege sind vermutlich auf vorliegende Bodenverdichtungen zurückzuführen.

Bild Nr. 1            100 ha Apfelanlage Göhlsdorf  
Aufnahmemaßstab 1 :  $\approx 12\ 000$  (VF 35)

- 1 Baumobst-Vornutzung
- 1 a Bodenbedingte Wachsminderung evtl. auch Waldeinfluß (S 5 D 20/18)
- 2 Ehemaliger Weg
- 3 Baumobst-Vornutzung
- 4 Ehemalige Lehmgrube
- 5 Baumobst-Vornutzung
- 6 Obstbaulich nicht genutzte Fläche (Klee-Grasgemisch)
- 7 Bodenbedingte Wachsminderung (S 5 D 19/17)
- 8 Ehemaliger Weg
- 9 Bodenbedingte Wachsminderung (S 5 D 12/17)
- V Versuchsfläche vom IfO ohne Graseinsaat in den Arbeitsgassen

Die Obstbäume treten überwiegend noch als Einzelbaum in Erscheinung (stereoskopische Betrachtung).

Eine Baumzählung ist teilweise noch durchführbar.

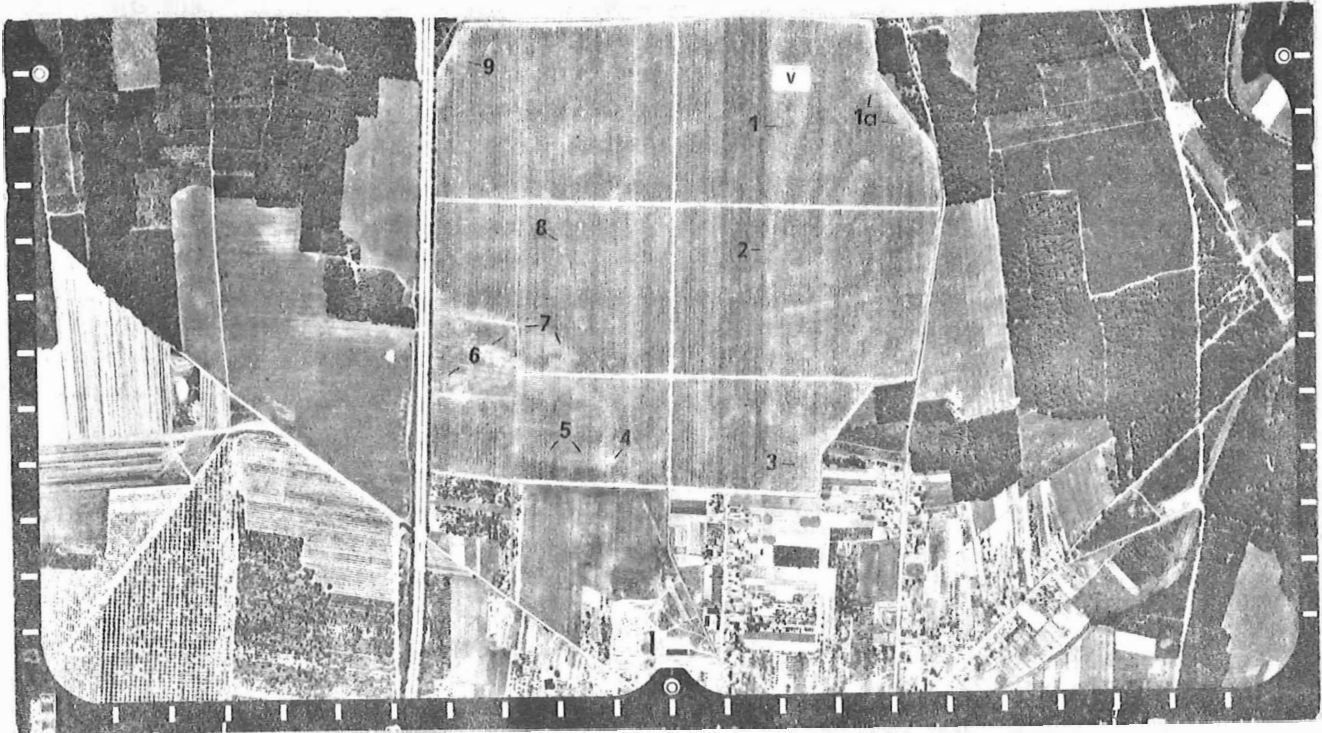


Bild 1: Apfelanlage Göhlsdorf  
(zur Veröffentlichung freigegeben mit LFB-Nr. 9/80)

Die Abbildung Nr. 2 zeigt einen Ausschnitt aus dem Havelländischen Obstanbaugebiet, Sollten im Zuge der Reproduktion in dem abgebildeten Gebiet 3 Obstanlagen entsprechender Größenordnung geschaffen werden, so ergibt sich u. a. folgende Problematik:

Der Anteil der obstbaulichen Vornutzung ist relativ hoch, denn das Bild wird durch eine Vielzahl von Obstanlagen unterschiedlicher Obstart und unterschiedlichem Alter geprägt. Nach den bisherigen Erfahrungen müßten ohne zielgerichtete bodenverbessernde Maßnahmen alle diese Vornutzungsflächen in den Neupflanzungen als mehr oder weniger starke flächenmäßige Wachsminderung in Erscheinung treten.

Da, wie interpretierbar, der Anteil der Vornutzungsflächen (Wachsminderungen mit geradlinigen Ausgrenzungen und höherer Transparenz) in den im Bild erfaßten Obstanlagen bereits relativ hoch ist, sind verstärkte Wachsminderungen und Baumausfälle im Bereich dieser Flächen zu erwarten.

Hauptsächlich handelt es sich hierbei um sichtbare Baumausfälle und Wachsminderungen von Obstanlagen mit Pflanzjahren vor 1960 und sogar vor 1945, wie aus topographischen Karten ersichtlich wurde. Hinzu kommt noch der Anteil schlecht obstbaulich nutzbarer Bodenarten und der Anteil der ehemaligen und im Bild erfaßten Wegesysteme, die dann im Bereich der Obstanlagen liegen.

Bild Nr. 2      Ausschnitt Obstanbaugebiet Aufnahmemaßstab 1 : 12 000 (VF-35)

1. Süßkirschenanlage mit Koröser Zwischenveredlung und Wachsminderungen durch einen ehemaligen Weg.
2. Sauerkirschanlage  
Wachsminderungen und erhöhte Baumausfälle durch einen Pfuhl mit Vernässungsursachen und Vornutzungseinfluß (Obstanl./Obstgärten).
3. Apfelanlage (Neupflanzung)  
evt. erst teilweise realisiert und deutlichen Bearbeitungsunterschieden.
4. Vorbereitung einer Apfelneupflanzung durch den Bau einer Beregnungsanlage.
5. Sauerkirschanlage mit deutlichen Wachsminderungen durch einen Vornutzungseinfluß sowie hohen flächenmäßigen Baumausfällen.
6. Apfelanlage mit flächenmäßigen Wuchsunterschieden durch unterschiedliche Pflanztermine und Sorten.
7. Erdbeeranlage mit relativ starken Vornutzungseinflüssen (Obstanlagen/Obstgärten).
8. Süßkirschenaltanlagen mit deutlich sichtbaren Einzelbaumausfällen.
9. Apfelanlage mit reihenmäßig unterbrochener Graseinsaat in den Arbeitsgassen.
10. Apfelanlage mit Graseinsaat in den Arbeitsgassen.
11. Zierpflanzenanbau
12. Pflaumenanlage mit boden- und evt. vornutzungsbedingten Wachsminderungen.
13. Altobstanlagen und indiv. genutzten landwirtschaftlichen Parzellen.
14. Apfelanlage mit linienartigen Vernässungen (quer zur Reihenrichtung).



Bild 2: Ausschnitt Obstanbaugbiet  
(zur Veröffentlichung freigegeben mit LFB-Nr. 531/82)

Zusammenfassung:

Am Beispiel industriemäßiger Obstanlagen im Havelobstbaugebiet wird demonstriert, daß Archivbildmaterial und Luftaufnahmen aus der Spezialbefliegung für eine retrospektive Beurteilung von Obstanlagen geeignet sind. Es können Ursachen für Wuchs- und Ertragsminderungen erkannt werden, die terrestrisch gar nicht oder kaum zu erkennen sind. Für die intensiv erweiterte Reproduktion in den nächsten Jahren lassen sich nach den vorgeschlagenen Verfahren die Flächen für eine gezielte und differenzale Bodenvorbereitung abgrenzen, bei denen nach vorhandenen Erkenntnissen mit Wuchsminderungen und erhöhten Baumausfällen bei Neupflanzungen zu rechnen ist.

Literatur

- /1/ KRAMER, S.: Allgemeine Grundlagen der Prozeßüberwachung in der industriemäßigen Obstproduktion.  
Wiss. Zeitschrift der Humboldt-Universität Berlin, Math.-Nat. R.  
XXVI (1977) 457 - 461

Stereofotogrammetrische Vermessung von  
Rauchfahnen aus kosmischen Bildern

---

von  
W. SPORBERT und R. HASELOFF<sup>1)</sup>

Das Untersuchungsziel ist im Rahmen der Mehrfachnutzung von Fernerkundungsdaten die Gewinnung von Informationen über die Ausbreitung von Luftverunreinigungen in Industrie- und Wohnballungsgebieten unter den verschiedensten meteorologischen Bedingungen, insbesondere bei Extremsituationen. Ausgangsmaterial dafür waren kosmische Bilder.

Durch die existierenden betrieblichen, lokalen und regionalen Umweltkontrollmeßnetze erfolgte über die Kopplung von Einzelmeßpunkten am Boden und entsprechender zeitlicher und räumlicher Interpolation auf der Grundlage der kontinuierlich oder diskontinuierlich gewonnenen Daten eine Analyse der Immissionsituation des betreffenden Territoriums für die untersuchten Verunreinigungs-komponenten.

Aus der Struktur und der Funktion dieser Meßnetze ergeben sich Informationslücken bezüglich der Erfassung des Zusammenhanges zwischen den mehr oder weniger aktuellen Immissionswerten und den diese verursachenden konkreten Emittenten bzw. Emissionen. Das gilt besonders für den Fall größerer Entfernungen von den Emittenten. Die bisherige Unmöglichkeit der Gewinnung direkter Aussagen über die Reichweiten des Schadstofftransportes in Abhängigkeit von speziellen meteorologischen Parametern bzw. der dreidimensionalen Schadstoffausbreitung insgesamt, vor allem auch im Hinblick auf die komplizierten Schadstoffmetabolismen, die bei der Durchmischung von Luftverunreinigungen verschiedener, teilweise weit voneinander entfernter Emittenten, auftreten können, erfordert die Erarbeitung geeigneter Verfahren, mit deren Hilfe die vorhandenen Datenlücken geschlossen werden können.

In Zusammenarbeit zwischen dem Zentrum für Umweltgestaltung und dem VEB Kombinat Geodäsie und Kartographie, Kartier- und Auswertezentrum Leipzig, wurden Lösungen zu Detailproblemen gesucht, die meßtechnisch nachweisbare Ergebnisse zur horizontalen Ausbreitung von Rauchabgasen aus Industrieschornsteinen ermöglichen. Es galt außerdem, Werte der relativen Höhe dieser Abgasfahnen über dem Gelände zu ermitteln. Da auf diesem Spezialgebiet der stereofotogrammetrischen Meßtechnik keine Erfahrungen vorhanden waren, wurden bekannte stereofotogrammetrische Auswertetechnologien zur Problemlösung herangezogen. Die Untersuchungen sollten mit kosmischen Multispektralbildern erfolgen. Da sowohl Bilder der Multispektralkamera MKF-6 im Maßstab 1 : 2,7 Mio aus 360 km Höhe, als auch Bilder des vierkanaligen KATE-Systems im Maßstab 1 : 1,1 Mio aus 200 km Höhe zur Verfügung standen, fiel die Wahl auf die KATE Bilder, deren günstigeres Basisverhältnis eine bessere Höhengenaugigkeit erwarten ließ.

Alle 4 Kanäle eines Bildsatzes wurden mit dem Interpretoskop des VEB Carl Zeiss JENA auf gute Rauchfahnen-erkennbarkeit durchmustert und dabei nach visueller Überprüfung der Kanal I als am geeignetsten erkannt. Der ausgewählte Kanal hat bei 500 nm seine größte spektrale Empfindlichkeit und erreicht bei etwa 650 nm sein Minimum.

<sup>1)</sup> W. SPORBERT VEB Kombinat Geodäsie und Kartographie, Kartier- und Auswertezentrum  
R. HASELOFF Zentrum für Umweltgestaltung

In dem KATE-System sind 4 Aufnahmekammern des Formates 18 cm x 18 cm mit parallel orientierten optischen Achsen gekoppelt. Ihre Belichtung wird synchron ausgelöst. Untersuchungsgegenstand sind im Rahmen der stereofotogrammetrischen Fernerkundung die in ausgewählten Spektralbereichen nachweisbaren Luftverschmutzungen.

Entscheidend sind demnach für die Nachweisbarkeit die Remissionseigenschaften der partikelförmigen Verunreinigungen, also der Aerosole und Stäube in einem bestimmten optisch wirksamen Konzentrationsbereich, sowie das geometrische, radiometrische und spektrale Auflösungsvermögen des Fernerkundungssensors. Der kritische untere Konzentrationswert, der noch fotografisch erfaßbar ist, kann derzeit jedoch nur für die jeweiligen Bedingungen größenordnungsmäßig abgeschätzt werden, da ein leistungsfähiges Strahlungstransportmodell zur Lösung dieses Problems nicht zu Verfügung steht. Der fotografisch nachweisbare Parameter der auftretenden partikelförmigen Luftverunreinigungen ist jedoch korreliert mit dem Auftreten anderer gasförmiger Verunreinigungen - in Abhängigkeit von der spezifischen Zusammensetzung der Emissionen.

Durch die Auswertung geeigneten aerokosmischen Aufnahmematerials für ein breites Spectrum charakteristischer meteorologischer Situationen kann über die Bestimmung der Reichweite der Luftverunreinigungen und der Ausbreitungsschicht unter Einbeziehung statistischer meteorologischer bzw. klimatologischer Daten zur Häufigkeit von Wetterlagen, durchschnittlicher Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilungen sowie von Inversionsschichten der Zusammenhang zwischen den Großemittenten und der Immissionsituation von Großsiedlungsräumen weiter geklärt werden.

Die stereofotogrammetrische Ausmessung von Rauchfahnenhöhen auf aerokosmischen Aufnahmen liefert weiterhin Informationen über die effektiven Schornsteinhöhen, die bisher nur über Modellrechnungen ermittelt wurden und besonders bei Extremsituationen die realen Verhältnisse oft unzureichend widerspiegeln. Andererseits sind aber diese Daten Bestandteil von Entscheidungsvorlagen für die Standortplanung sowie für bautechnische Maßnahmen.

Bedingt durch das Auflösungsvermögen der kosmischen Fernerkundungssensoren bleibt die Anwendung dieses Nachweisverfahrens auf die Untersuchung der großen Industrie- und Wohnballungsgebiete der DDR beschränkt.

Die stereofotogrammetrische Messung der Rauchfahnen aus kosmischen Bildern nach Lage und Höhe erfolgte am Auswertegerät Stereometrograph vom VEB Carl Zeiss JENA. Der Auswertung ging eine Genauigkeitsbetrachtung voraus. Erfahrungswerte der stereoskopischen Aerofotogrammetrie lassen einen mittleren Höhenfehler von

$$m_H \leq \pm 0,2\%$$

der Flughöhe erwarten, der bezogen auf die verwendeten kosmischen Bilder mit 200 km Flughöhe einen mittleren Höhenfehler von

$$m_H \leq \pm 40 \text{ m}$$

ergibt.

Dieser Wert setzt sich aus mehreren Fehlerkomponenten zusammen und bezieht sich auf absolute Höhen im orientierten Stereomodell. Da relative Höhen gefordert waren und diese Werte aus eng benachbarten Vergleichspunkten gewonnen wurden, eliminierten sich einige Fehlerkomponenten, wie z. B.

Refraktion,  
 Erdkrümmung,  
 Objektivverzeichnung,  
 unregelmäßige Filmdeformation

und ergeben einen geringeren als den erwarteten Höhenfehler.

Testmeßreihen aus jeweils 11 Einstellungen, bezogen auf die Geländeebene, zeigten einen relativen Höhenfehler von

$$m_H \leq \pm 4,2 \text{ m.}$$

Auf der diffusen Rauchoberfläche kann verständlicherweise die Meßmarke nicht mit der gleichen Sicherheit, wie auf dem konturenreichen Gelände eingestellt werden. Der Höheneinstellfehler der Rauchfahnenoberfläche betrug

$$m_H \leq \pm 15,2 \text{ m.}$$

Nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz wird für die relative Höhe ein mittlerer Fehler von

$$m_H \leq \pm 16 \text{ m}$$

erwartet.

Für die praktische fotogrammetrische Auswertung erfolgte die Modellmaßstabsbestimmung über eine Karte 1 : 200 000 und einen auf den gleichen Maßstab vergrößerten Bildausschnitt der KATE-Aufnahme. Das Stereomodell wurde über Kartenhöhen genähert horizontalisiert. Am Rauchfahnenrand und unmittelbar daneben auf der Geländeoberfläche erfolgte die Höhenmessung zur Bestimmung der relativen Rauchfahnenhöhe. Es wurden so bei 4 Emittenten die Höhen bestimmt und entsprechend der Rauchfahnenbreite an beiden Rändern Meßpunkte ausgewählt. Während diese bis zu einer Entfernung von 10 km anmeßbar waren, ließ sich die optisch erkennbare horizontale Ausdehnung des Rauches in einem wesentlich größeren Gebiet lokalisieren.

Über das Rauchfahnenprofil war keine Aussage möglich.

Die vorliegende Untersuchung ist als erste Bearbeitungsetappe für die Anwendung fotogrammetrischer und damit eigentlich fernerkundlicher Verfahren in unmittelbarer Einheit mit Problemen des Umweltschutzes zu sehen. Sie weist aber auch auf die Erfordernisse zur interdisziplinären Arbeit hin.



Fotogeologische Kartierung als Grundlage und Ergänzung  
thematischer Kartendarstellungen der Antarktis

von

P. BANKWITZ, E. BANKWITZ, A. FRISCHBUTTER u. U. SCHÄFER<sup>1)</sup>

Zusammenfassung

Geologische Luftbildinterpretationen aus zwei Gebieten der Antarktis wurden zur Anfertigung thematischer Karten benutzt.

Die Kartendarstellung der im Gebiet der Neptune Range (Pensacola Mts., Westantarktis) durchgeführte Oberflächenkartierung konnte durch fotogeologische Auswertungen wesentlich ergänzt werden.

Für das Gebiet der Schirmacher Oase (Königin-Maud-Land, Ostantarktis) liegt bisher keine geologische Spezialkartierung vor.

Es konnte aus Luftbildaufnahmen eine fotogeologische Karte im Maßstab ca. 1 : 15 000 angefertigt werden. Mit Hilfe der im Bild beobachteten Gesteinstexturen und ihrer räumlichen Verbreitung wurde eine Grobgliederung in fünf unterschiedliche Serien vorgenommen.

Es bestehen einige Beziehungen zwischen den unterschiedenen Serien und den Ergebnissen einer geomagnetischen Vermessung in diesem Gebiet. Im Zentralteil ist die Serie 1 an das Auftreten positiver magnetischer Werte gebunden.

Die Auswertungen belegen, daß Aufnahmen i. M. 1 : 70 000 für Kartenergänzungen bis mindestens 1 : 50 000 zu nutzen sind.

Luftbildaufnahmen im Maßstab 1 : 12 000 eignen sich zur Anfertigung von Karten im Maßstab 1 : 10 000, können jedoch bis zu einem Kartenmaßstab 1 : 5000 wichtige Informationen liefern.

1. Vorbemerkung

Die Interpretation von Luftbildaufnahmen aus zwei Teilgebieten (Pensacola Mts. und Königin-Maud-Land) der Antarktis brachte zahlreiche neue geologische Informationen, die dadurch einen doppelten Wert besitzen, daß sie von einem Gebiet gewonnen wurden, in dem Untersuchungen am Boden nur eingeschränkt möglich sind durch die besondere Situation dieser Region.

Von beiden Gebieten lagen unterschiedlich detaillierte geologische Kenntnisse vor. In der Westantarktis konnte A. FRISCHBUTTER (ZIPE AdW) während der Saisonarbeiten der 24. Sowjetischen Antarktis-Expedition (SAE) 1978/79 eine geologische Oberflächenkartierung im Zentralteil des Washington-Escarpment der Neptune Range (Pensacola Mts., Transantarktisches Gebirge) durchführen, die nur längs bestimmter Traversen intensiver erfolgte.

1) Zentralinstitut für Physik der Erde, Akademie der Wissenschaften der DDR, Potsdam

Als Kartierungsunterlage standen sowjetische Luftbildaufnahmen im Maßstab 1 : 70 000 zur Verfügung. Die anschließend durchgeführte Luftbildinterpretation brachte wertvolle Ergänzungen für die geologische Kartierung, vor allem hinsichtlich der Verbindung der kleinräumigeren Flächen der Oberflächenkartierung. Das gilt in besonderem Maße für das Bruchnetz.

Im Gegensatz dazu wurde die Schirmacher Oase (Königin-Maud-Land, Ostantarktis) bisher nicht in gleicher Weise geologisch kartiert.

Es erfolgte hier eine geomagnetische Vermessung durch U. SCHÄFER (ZIPE AdW) während der Überwinterung der 25. SAE 1979/81 von der sowjetischen Station Nowolasarewskaja aus.

Die Luftbildinterpretation der Schirmacher Oase i. M. ca. 1 : 15 000 und ihre Auswertung für eine fotogeologische Karte erfolgte - unabhängig von den Antarktiseinsätzen - im Zentralinstitut für Physik der Erde (AdW) in Potsdam (P. u. E. BANKWITZ). Hilfreich für die Einschätzung einiger Bildmerkmale war der Informationsaustausch mit Dipl.-Phys. U. SCHÄFER, der Beobachtungen aus dem Gebiet der Schirmacher Oase beisteuerte und zusätzliches Fotomaterial zur Verfügung stellte, was die fotogeologische Darstellung in vielen Punkten absichern half.

Die Auswertung der Luftbildaufnahmen ermöglichte eine Ergänzung der geologischen Karte im Maßstab 1 : 70 000 vom Gebiet der Neptune Range (A. FRISCHBUTTER) und eine fotogeologische Kartierung der Schirmacher Oase im Maßstab 1 : 12 000 (E. u. P. BANKWITZ). Dabei konnten nicht nur tektonische Elemente kartenmäßig erfaßt werden (Bruchstörungen, Klüftungszonen, Gänge), sondern auch die Verteilung unterschiedlicher Gesteinseinheiten. Für die Schirmacher Oase wurde mit Hilfe der zu beobachtenden Gesteinstexturen und ihrer räumlichen Verbreitung eine Grobgliederung in fünf unterschiedliche Serien ausschließlich auf der Grundlage der Luftbilddarstellung vorgenommen.

In Verbindung mit ihrer Lagerung (Streichen, Einfallen, Faltung usw.) und ihrer Begrenzung konnte ein erstes Modell des Strukturbaus als wahrscheinlich abgeleitet werden.

## 2. Analyse der Bildmerkmale in Flugzeugaufnahmen als Voraussetzung für die Erarbeitung von thematischen Karten

---

Eine notwendige Vorarbeit für die Anfertigung einer thematischen geologischen Karte aus Luftaufnahmen ist die Überprüfung von Umfang und Typ der erkennbaren Merkmale mit geologischer Bedeutung.

Bevor mit der Auswahl geologisch relevanter Merkmale begonnen wird, die für eine Kartendarstellung geeignet sind bzw. die den Grundforderungen thematischer geologischer Karten gerecht werden, ist es zweckmäßig, sich über unterscheidbare ranggleiche Merkmale einen Überblick zu verschaffen und mit Hilfe einer vorläufigen Grobklassifizierung eine provisorische Legende aufzustellen. Diese bildet eine Grundlage für die Auswertungen, kann jedoch im Verlaufe der Interpretation erweitert, verfeinert oder korrigiert werden.

Bestimmend für die Auswertemethodik und für die endgültige Auswahl von Merkmalen aus den insgesamt im Bild enthaltenen geologischen Informationen sind die Kriterien einer geologischen Karte. Unabhängig davon, ob solche geologischen Karten aufgrund von Bodendaten erstellt oder aus aerokosmischen Aufnahmen gewonnen werden (bzw. auf beiden basieren), müssen sie bestimmten Anforderungen entsprechen und einige grundlegende Angaben enthalten. Dabei liegt bei tektonischen oder fototektonischen Karten der Schwerpunkt auf der Darstellung tektonischer Elemente, bei geologischen oder fotogeologischen Karten auf der Darstellung geologischer Einheiten bzw. geologischer Körper oder Strukturen.

### 2.1. Abbildbarkeit kartenrelevanter Daten

Neben den Kriterien einer geologischen Karte beeinflusst maßgeblich die Abbildbarkeit der gesuchten karten-relevanten Bildmerkmale die Auswahl der darzustellenden fotogeologischen Daten. Die Widerspiegelung geologischer Fakten im aerokosmischen Bild ist zum einen abhängig vom physikalischen Charakter der Gesteinseigenschaften (einschließlich der der Böden) und damit von ihrem Remissionsvermögen, zum anderen vom Grad der Deutlichkeit ihrer Ausbildung an der Erdoberfläche. Hinsichtlich der Remissionseigenschaften komplex aufgebauter geologischer Erscheinungen verfügt man zur Zeit noch über zu wenige Kenntnisse. Die Abbildbarkeit als Funktion einer mehr oder weniger prägnanten Ausbildung spezifischer geologischer Merkmale an der Erdoberfläche ist für den geologischen Interpretator jedoch ein kalkulierbarer Faktor.

Erfahrungsgemäß sind sekundär entstandene, d. h. im Verlaufe der Entwicklung später herausgebildete bzw. verdeutlichte Erscheinungsformen häufig müheloser im Gesteinsverband erkennbar als primäre Merkmale, vorausgesetzt vergleichbar gute Ausbildung. Der Grund dafür liegt in der Tatsache, daß jedes neu entstehende Gesteinsmerkmal die älteren überprägt und damit deren Deutlichkeit zerstört. Das gilt ebenso ~~so~~ sehr im großen für eine jüngere Bruchtektonik und die durch sie ausgelöste Anisotropisierung der Erosionsrichtungen, die die Zusammenhänge der primären Lagerung zerstört und undeutlich macht, wie auch im kleinen für Deformationsflächen, die bei intensiver Ausbildung z. B. die Erscheinungsform der Schichtung (Typ, Streichrichtung, Einfallen usw.) unkenntlich werden lassen kann.

Die Abbildbarkeit in aerokosmischen Aufnahmen nimmt in analoger Weise ab, wie die Erkennbarkeit am Boden.

Primäre Merkmale = Gesteinsgefüge

- Wechsel der Gesteins-/Bodeneigenschaften  
(markiert durch grob, fein, weich, zäh,  
dicht, bindig, nicht-bindig)
- Schichtungswechsel innerhalb der Serien  
(markiert durch Grautonunterschiede, Resistenz-  
unterschiede, Deformationsunterschiede, Durch-  
feuchtung)
- Sedimentationsgefüge im großen  
(markiert durch Streichen der Schichtlagerung,  
Faltenumbiegung, Steilstellung)

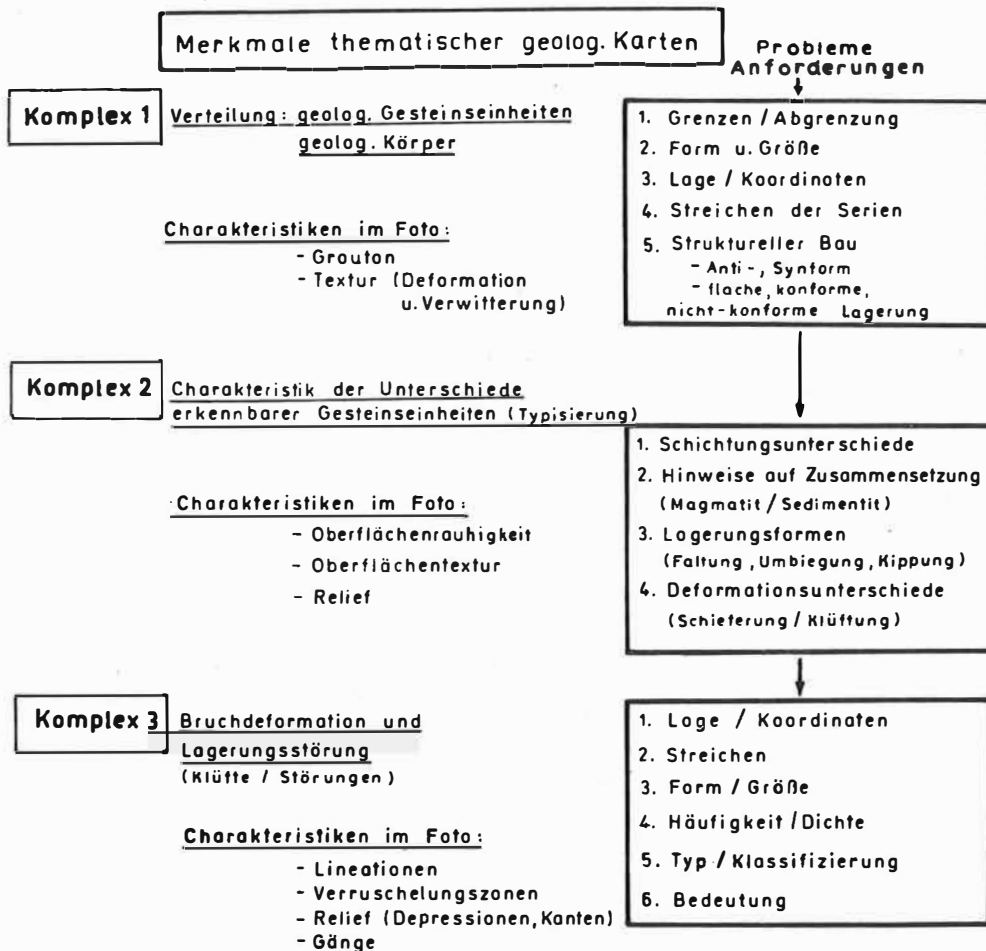
Sekundäre Merkmale = Deformationsformen

- Bruchstörungen (gelegentlich markiert durch komplexe  
Form, Relief oder Gesteinswechsel)
- Klüftzonen                    )
- Schieferungsflächen        )     (markiert durch Verwitterungs-  
                                          )     formen, Ausräumung, Durchfeuchtung  
                                          )     oder Austrocknung)
- Erosionsanschnitte der Schichtung  
(umlaufendes Streichen bei flachliegender Schichtung;  
typische Drainageformen bei morphologischer Heraus-  
präparierung von Sätteln und Mulden)
- Verwitterungsformen (Herausmodellierung härterer Serien bzw.  
Bänke oder weniger geschieferter oder geklüfteter Partien)

Da die sekundären Merkmale im wesentlichen tektonische Formen umfassen, sind kosmische Bilder in erster Linie für fototektonische Auswertungen geeignet. Gesteinsbezogene geologische Charakteristiken (Abb. 4 u. 6, Legende) können durch Detailauswertungen der Bilder und vergleichende Analyse der Merkmalsunterschiede gewonnen werden. Sie gehen überwiegend auf indirekte Bildinformationen zurück.

Abb. 1 Merkmale thematischer geologischer Karten (BANKWITZ)

Analyse der Bildmerkmale in Flugzeugaufnahmen zum Zwecke der Erarbeitung einer thematischen Karte 1:10000



## 2.2. Merkmale thematischer geologischer Karten

Analog zu konventionellen geologischen Karten sind bei der Erarbeitung einer fotogeologischen Karte drei Hauptkomplexe zu berücksichtigen (Abb. 1).

Komplex 1      Grobgliederung des darzustellenden Gebietes:  
Verteilung geologischer Gesteinseinheiten und  
Anordnung geologischer Körper bzw. Strukturen  
(Rayonierung des Gebietes: vorzugsweise Grenzen,  
Verbreitung)

Dabei muß eine (foto-)geologische Karte Anforderungen in fünf Punkten gerecht werden: sie soll die Abgrenzung der unterscheidbaren Einheiten möglichst lagegetreu wiedergeben (1) und damit deren Form und Größe (2). Der Anforderung einer kartenmäßigen Darstellung dieser Parameter entspricht die Fixierung ihrer Lage innerhalb der topographischen Koordinaten (3). Gleiches gilt für die Streichrichtung der Serien oder ihrer Grenzen (4). Ferner hat eine geologische Karte nach Möglichkeit die Lagerungsform der Serien zu enthalten, d. h. den tektonischen Bau der Einheiten zu dokumentieren (5). Dazu gehört etwa die Markierung erkannter Anti- oder Synklinalen mit Angabe der Streichrichtung ihrer Achsen.

Die diesen Kriterien entsprechenden Bildcharakteristiken werden in der Luftaufnahme vor allem durch flächige Grauton- und Texturunterschiede vertreten. Sie liefern die Anhaltspunkte für eine Gliederung des Gebietsausschnitts. Alternierende Grautonwechsel vom Typ einer Bänder- bis Zeilentextur geben Hinweise auf das Streichen sowie, begünstigt durch das Relief, mitunter auf das Einfallen der Gesteinsserien (flach, geneigt/gefaltet, steil) und damit indirekt auf Verbandsverhältnisse (primäres Merkmal).

Texturunterschiede können, vor allem in Verbindung mit gesteinsabhängigem Kleinrelief, ein primäres Merkmal (Verwitterungsresistenz als Ausdruck unterschiedlicher Zusammensetzung) oder ein sekundäres Merkmal anzeigen (Unterschiede der Deformationsform und -intensität).

Über die Zuordnung muß von Fall zu Fall durch Zuhilfenahme weiterer Bildmerkmale oder zusätzlicher geologischer Informationen entschieden werden.

Komplex 2      Charakterisierung der einzelnen Gesteins-  
einheiten oder Strukturen  
(Detailmerkmale: vorzugsweise Lithologie-  
relevante Merkmale bzw. solche des Ge-  
steinstyps)

Jede (foto-)geologische Karte fordert eine Charakterisierung der ausgliederbaren Gesteinseinheiten. Diese Fragestellung hat nach Möglichkeit mindestens vier Aspekte zu berücksichtigen. Als einfachstes Kriterium (1) kann der Schichtungstyp herangezogen werden. Er ermöglicht Rückschlüsse auf die Bildung der Serien (Trend der Abfolge).

In den Luftaufnahmen der Schirmacher Oase (Abb. 4 u. 5) war stellenweise relativ gut zwischen monotoner, rhythmisch gegliederter Abfolge und Wechsellagerungen zu unterscheiden. Sie werden einmal durch bandartige Texturen in Form von Grautonwechsellagerungen angezeigt, aber auch durch streifenförmig wechselnde Texturunterschiede als Ausdruck unterschiedlicher Deformation und damit unterschiedlicher Deformationseigenschaften.

Innerhalb der geologisch relevanten Oberflächentexturen sind flächige und lineare Texturtypen abzugrenzen (Abb. 6). Als Indikator für Schichtung sind im Gebiet der Schirmacher Oase vor allem zwei flächige Texturtypen einzustufen: Alternierung als weiche Grauton-Bändertextur und reliefbildende Resistenzunterschiede als heterogene Zeilen- bis Bändertextur. Zwei lineare Texturtypen sind vermutlich als Indikator für Deformationsarten (4) zu werten (z. B. Wechselwirkung Schieferung/Metamorphose): homogene körnige Zeilentextur mit Falten 1. und 2. Ordnung in km- und 100 m-Dimension (gefaltete Schieferung?; ein geologisch weit verbreitetes Phänomen) und eine homogene glatte Linientextur mit alternierenden hellen und dunklen, ausspitzenden Lamellen (Disken). Dieser Disken-Texturtyp tritt ohne sichtbare Faltung auf. Er könnte in Anlehnung an bekannte geologische Erscheinungen ein Hinweis auf stärker metamorphe Serien sein.

Die Oberflächenrauigkeit unterschiedlicher Intensität signalisiert ebenfalls Unterschiede der Gesteinseigenschaften und damit indirekt ihrer Zusammensetzung oder ihres Zustandes (fest/locker, zäh/spröde, Zerteilungsgrad durch Deformationsbeanspruchung usw.). Innerhalb einer bestimmten Serie waren bis mehrere 100 m mächtige, runde bis linsige Einlagerungen zu erkennen. Es handelt sich um stark remittierende, helle Körper mit splittartig glatter, widerstandsfähiger Oberfläche und spezieller Bruchform, die auf ein kompetentes Gestein schließen läßt (dichte, helle Gneise; ?Marmore, ?Granitoide).

Oberflächenrauigkeit, -textur und Mikrorelief in Verbindung mit Grauton ergeben gemeinsam Hinweise auf die übrigen Kriterien. Sie enthalten Hinweise auf die Gesteinsart (2) im Sinne einer Grobklassifizierung. Magmatite sind charakterisiert durch die Form ihrer Ausdehnung (runde oder fleckenartige Körper, lineare Gänge) und gelegentlich kontrastreiche Grautöne (mit Einschränkung: ?sauer/basisch!, Basaltgänge). Sedimentite weisen sich durch ihre Abfolgen und Lagerungsformen sowie ihre kausale Beziehung zur Morphologie aus. Weiche Gesteine, wie z. B. Schiefer oder Glimmerschiefer, bilden häufig streifenförmige Depressionen im Relief, da sie leichter verwittern und ausgeräumt werden. Quarzite, Grauwacken oder Gneise bleiben entsprechend ihrer Verwitterungsresistenz rippenartig anstehend erhalten, was im Bild eine Bänder- oder Streifentextur bewirkt.

Die Lagerungsformen (3) werden durch eben diese Schichtaustritte erkennbar. Sie treten jedoch nur dann in Erscheinung, wenn die primär flachliegende Schichtung tektonisch verstellt (oder durch Erosion angeschnitten) vorliegt, wofür Umbiegungen, Faltungen, Kippungen oder Versätze an Bruchstörungen (4) als Ursache in Frage kommen. Angaben darüber sollten in geologischen Karten enthalten sein.

Komplex 3            Bruchdeformation und Lagerungsstörung  
 (Charakterisierung der Bruchtektonik)

Dieser Komplex kann den Schwerpunkt einer eigenen thematischen (foto-) tektonischen Karte bilden. In einer (foto-)geologischen Karte bleibt die Wiedergabe der erfaßten Bruchtektonik auf übergeordnete Elemente beschränkt, da im Mittelpunkt die Verteilung der geologischen Einheiten und deren Charakterisierung stehen.

Ein wichtiges Kriterium ist jedoch die Darstellung großer, für den Bau der Einheiten bedeutsamer Bruchstörungen. In Entsprechung dazu wurden die zum Verständnis der Kartierung notwendigen, im Bild beobachteten Bruchstörungslineationen in die fotogeologischen Karten der Abb. 2 und 4 aufgenommen. Klüftung wurde nur so weit eingetragen, als sie zur Charakterisierung der Serien in den Kartendarstellungen dient.

Für die kartenmäßige Erfassung von Bruchstörungen bestehen ähnliche Anforderungen wie für Komplex 1; nach Möglichkeit zu ergänzen durch maßstabsgerechte Wiedergabe der Häufigkeit (Wiederholung bestimmter Richtungen). Bei Klüftung wäre unter Umständen der Aspekt der Dichte (Abstand und Häufigkeit/Oberflächeneinheit als Ausdruck der Deformationsintensität) zu berücksichtigen, der jedoch nur untergeordnet und dann schematisch darstellbar ist.

Wichtiger sind zusätzliche Angaben über den Typ der Bruchstörungen bzw. -lineation (Klassifizierung: Horizontalverschiebung, Weitung, Auf- oder Abschiebung, Gänge) und über eine Wichtung ihrer Bedeutung. Diese ergibt sich entweder aus ihrem Aufbau (Größe der Länge und Breite), aus dem Umfang der rekonstruierbaren Bewegung (erkennbare Versätze) sowie aus ihrem Rang als blockbegrenzendes, übergeordnetes Element oder blockzerteilendes, untergeordnetes Element. In der Regel wird dieser Klassifizierung eine abgestufte Symbolik unterlegt.

Generell umfassen geologische Bruchelemente die Mehrzahl der Lineationen im Satellitenbild; im Luftbild ist gelegentlich schwer zu entscheiden, ob es sich um engständige Klüfte oder Schieferungsflächen handelt. Bruchstörungen weisen häufig zusätzliche morphologische Kennzeichen auf (Depressionen, Steilkanten), in Form von Klufthäufigkeitszonen auch erhöhte Schuttbildung, Verruschelung oder Durchfeuchtung. In der Schirmacher Oase sind zwei bedeutsame Bruchstörungszonen von ca. 500 m Breite zu beobachten, in einem Fall sind die zur Bruchzone gehörenden Teilstörungen von Basitgängen besetzt.



3. Luftbilddauswertungen als Ergänzung der Kartendarstellung einer Bodenkartierung im Gebiet der Neptune Range (Pensacola Mts.)

Grundlage der fotogeologischen Auswertung waren sowjetische Luftbildaufnahmen (schwarz-weiß) mit etwa 30 %iger Überdeckung. Das Material lag im Maßstab 1 : 70 000 als Positivreproduktion vor, wodurch sich Grautonkontrast und Bildschärfe gegenüber den Ausgangsbildern verschlechterten.

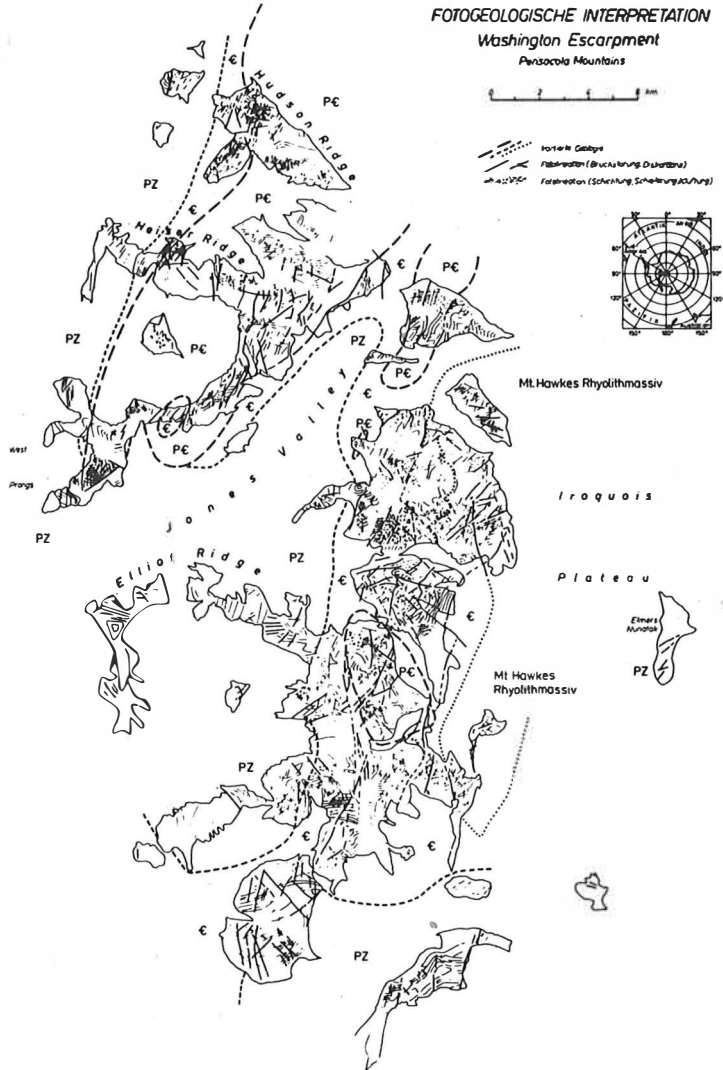


Abb. 2 Fotogeologische Interpretation der Neptune Range (Südteil) als Ergänzung der geologischen Oberflächenkartierung (FRISCHBUTTER)

Da bereits eine Bodenkartierung dieses Gebiets vorlag, konnten viele fotogeologische Bildinformationen von vornherein sinnvoll eingebunden werden, da sie an vom Boden her bekannten Punkten zu eichen waren. Es wurde dabei von solchen Phänomenen ausgegangen, die bei der Kartierung klar erkannt worden sind. Diese wurden schrittweise durch fotogeologische Daten ergänzt. Ausgangspunkt waren im Falle der Neptune Range die bereits unterschiedenen Gesteinsserien und deren tektonische Hauptmerkmale, z. B. ihr gebietsweise unterschiedlicher Faltenbau hinsichtlich Typ und Spannweite.

Die detaillierte Überprüfung der von der Bodenkartierung bekannten Erscheinungen im Bild ergibt auf Grund des größeren Überblicks zum Teil völlig neue Zusatzinformationen. So war z. B. durch die Bildinformationen eine quantitative Abschätzung der Faltenbreiten eines Gebietsausschnitts möglich, während am Boden auf Grund der Reliefbedingungen nur ihre charakteristische Form, die sich von angrenzenden Gebieten deutlich unterschied, erkannt werden konnten. Beide Informationen gekoppelt, gestatten eine gültige Aussage über den Strukturbau eines Teilabschnitts.

Da Grundkenntnisse in der Verbreitung (Lage und Erstreckung) der Schicht- und Schieferungsflächen vorliegen konnten in den Luftaufnahmen der Neptune Range entsprechende Lineationen diesen beiden Flächen, die den tektonischen Bau definieren, zugeordnet werden und waren andererseits von ähnlichen Erscheinungsformen der Bruchtektonik zu unterscheiden. Eine derartige Klassifizierung wäre anhand des zur Verfügung stehenden Bildmaterials i. M. 1 : 70 000 ohne geologische Bodenkenntnisse nicht möglich gewesen (Abb. 2).

Das bedeutet, es konnte über eine quantitative Verdichtung der bekannten Informationen hinaus eine qualitative Verbesserung der geologischen Karte durch die Gewinnung neuer direkter oder abgeleiteter geologischer Bildmerkmale erreicht werden. Möglich war diese jedoch nur durch die Verbindung mit geologisch bekannten Daten. Allein aus den Luftbildaufnahmen wäre eine konkrete Zuordnung vieler Details nicht möglich gewesen.

### 3.1. Regionalgeologische Einordnung und Ergebnisse der Oberflächenkartierung

Das Untersuchungsgebiet liegt im S-Teil der Neptune Range des Transantarktischen Gebirges ( $84^{\circ}$  s. Br. und  $54^{\circ}$  -  $56^{\circ}$  w. L.). Letzteres folgt als oberpräkambrisch-paläozoische Senkungszone dem Westrand der präkambrischen Ostantarktischen Tafel. Fazielle Entwicklung der Sedimentation und geotektonische Entwicklung werden von dieser Lage bestimmt. Das fotogeologisch interpretierte Gebiet ist Teil eines tafelrandparallel streichenden Antiklinoriums, dessen Kern aus oberpräkambrischen Phylliten und Metagrauwacken aufgebaut wird.

Die Schichtung dieser Serie ist mehrfach und isoklinal gefaltet; es treten mindestens zwei Schieferungen auf. Über einer überfalteten Diskordanz liegt eine altpaläozoische Serie von Kalken und sauren Vulkaniten, die in offene, sinusförmige Falten gelegt ist, wobei noch eine (Transversal-)Schieferung zur Ausbildung kam. Über einer nur bruchtektonisch deformierten Diskordanz folgt eine mittelpaläozoische, grobklastische molassoide Formation, die ebenfalls nur bruchtektonisch deformiert ist. Schieferung tritt dort lediglich in exponierten Lagen auf. Charakteristisch für den Untersuchungsraum ist damit das Übereinander von drei tektonischen Strukturetagen, die sich durch die Intensität ihrer Deformation und damit deutlich in ihrem kleintektonischen Inventar unterscheiden.

### 3.2. Fotogeologische Interpretation

Die fotogeologische Interpretation der Luftbildaufnahmen des Gebirges wird durch die nicht-flächendeckenden Gesteinsausstriche des Gebirges erschwert. Das Transantarktische Gebirge taucht im kartierten Gebiet als zweiseitiges Kammgebirge aus dem Antarktisch-Eis auf (Eisfläche bei 600 bis 800 m NN). Die schmalen Kämme sind bis dicht unter die Gipfelgrate mit einer lockeren Verwitterungsschuttdecke bedeckt, so daß eine sorgsame Unterscheidung von gravitativ und geologisch-endogen bedingten Fotolineationen Voraussetzung einer Auswertung ist. Die nahezu lückenlosen, exzellenten Aufschlüsse entlang der Gipfelgrate gestatten eine detaillierte petrographische und kleintektonische Aufnahme entlang von Profilarouten während der Oberflächenkartierung; dagegen war das regionale Bruchmuster weniger deutlich kartierbar.

Die Bildqualität erlaubte keine weitgehende Unterscheidung von Gesteinsarten mit Hilfe von Grautonunterschieden. Sie ließ sich im vorgelegten Beispiel aus technischen Gründen (Reproduktionsqualität des Bildmaterials) nicht interpretieren, obwohl das Untersuchungsgebiet hinsichtlich unterschiedlicher Gesteinsfärbung des geologischen Profils bestens, vor allem für multispektrale Aufnahmeverfahren geeignet ist. Der Umstand fehlenden freien Wassers schränkt diese Möglichkeiten vor allem im Schwarz-Weiß-Bereich etwas ein.

Mit Hilfe des Fotolineationsmusters ist jedoch auf der Grundlage der Kenntnis des strukturellen Stockwerkbaus im Untersuchungsgebiet, die durch Oberflächenkartierung gewonnen wurde, eine geologische Interpretation der Luftbilder möglich. Zu unterscheiden sind (Abb. 3):

- Isoklinalfaltung der Schichtung mit teilweise mehreren Schieferungsflächen = Stockwerk der engen Faltung (Oberpräkambrische Serien);
- weitspanniger Faltenbau der Schichtung mit einer Transversalschieferung = Stockwerk der offenen Faltung (Altpaläozoische Serien, vorwiegend Kambrium und ?Ordoviz)

- ungefaltete Schichtung, steilstehend oder flachliegend (konzentrische Fotolineationen), bruchtektonisch deformiert, ohne Schieferung = Bruchfaltungsstockwerk (Serien des mittleren Paläozoikum Molasse).

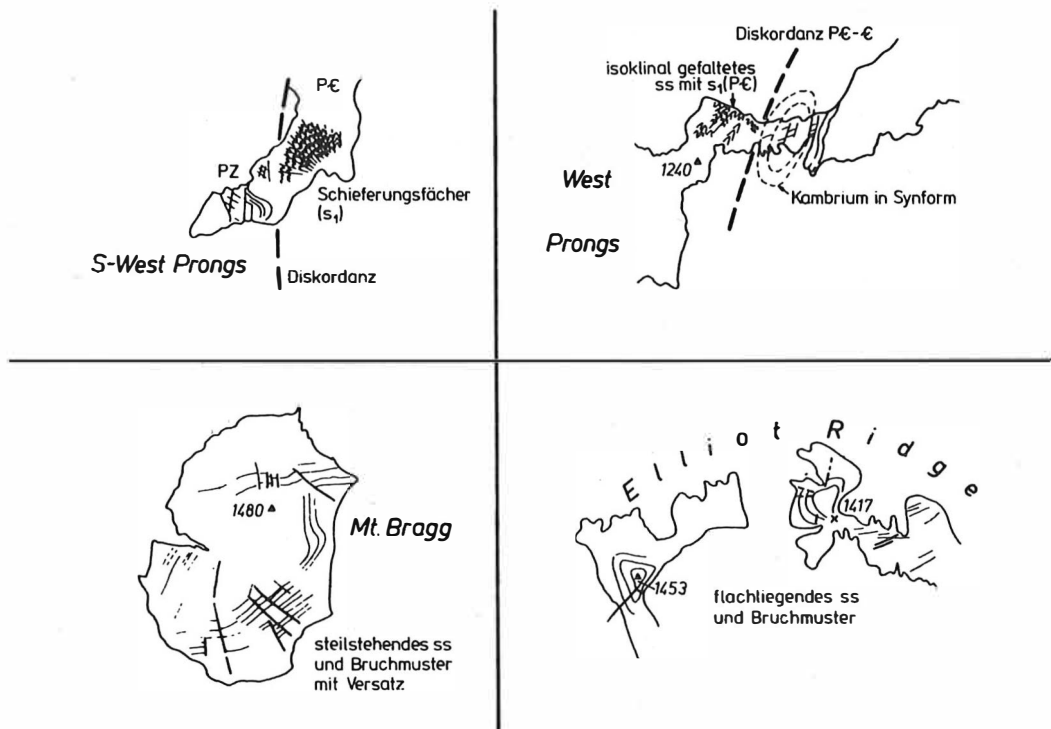


Abb. 3 Geologisch-tektonische Interpretationsbeispiele typischer Fotolineationsmuster aus dem Gebiet der Neptune Range (FRISCHBUTTER)

Das solcherart interpretierte Lineationsmuster der Bilder entsteht nur untergeordnet durch Grautonunterschiede (wie z. B. bei den klastischen Molasseformationen), zum überwiegenden Teil durch morphologisch in Erscheinung tretende Kanten im Zusammenhang mit Schichtung, Schieferung und Brüchen, gegebenenfalls unterstrichen durch verwehten Schnee bzw. Firn, sofern es sich um  $\pm$  steilstehende Flächen handelt.

Die durch die geologischen Feldarbeiten nachgewiesenen Diskordanzen, sind - da sie nicht als morphologisch wirksam werdende Flächen auftreten - nicht direkt als Fotolineation auf den Luftbildern nachzuweisen. Vielmehr ergeben sie sich in günstigen Fällen (entsprechend den Aufschlußverhältnissen) bei der Bildinterpretation als Grenzlinie zwischen Gebieten unterschiedlicher Lineationsmuster, die auf der Grundlage der Geländekenntnis strukturgeologisch deutbar sind. Dies trifft in erster Linie für die Diskordanz zwischen dem Stockwerk der engen und Stockwerk der offenen Faltung zu (Kambrium-Präkambrium), wobei als Unterscheidungskriterium das Aussetzen der spitzen (isoklinalen) Schichtungsfaltung benutzt werden kann. (Abb. 3)

Die Interpretation der Luftbilder im Maßstab etwa 1 : 70 000 bringt Vor- und Nachteile mit sich. Unbedingt als Vorteil ist die "Schrägaufnahme" der Kammhänge des Gebirges im unmittelbaren äußeren Randbereich der Bilder zu werten, sofern die Kämme quer zur Aufnahmeflugrichtung liegen. Diese Bildbereiche ermöglichen maximale Informationen über das Lineationsmuster auf den Hängen; sie liefern die Mehrzahl aller Lineationen, während im etwa unverzerrt projizierten Bildzentrum durch die Lineationsüberlagerung auf den Hängen die Identifizierung des Lineationsmusters nicht mehr vollständig möglich ist.

Ein Nachteil besteht in der Lageverzerrung der Lineationen im Bildrandbereich, vor allem dann, wenn hohe Lineationsdichte eine Kontrolle einzelner Fotolineationen über mehrere Bildfolgen (etwa 60 % Bildüberdeckung in Flugrichtung) nicht mehr gestattet oder einzelne Anteile des Flächenmusters auf Grund ungünstiger Lage zur Projektionsebene nicht mehr als Lineation auf der Aufnahme erscheinen können. Somit ist die vorgestellte Interpretation vor allem hinsichtlich der Lagegenauigkeit der Lineationen unzuverlässig; ihr Wert liegt in der regionalen Darstellung des Bruchmusters in ausführlicherer Form als dies durch die Gebirgsgratkartierung möglich ist, sowie in der Fortführung der strukturgeologischen Kartierung mit Hilfe von Luftbildern auf der Grundlage feldgeologisch gewonnener Erfahrungen.

### 3.3. Geologische Auswertung

Die geologischen Hauptergebnisse der Luftbildinterpretation betreffen strukturelle Aspekte.

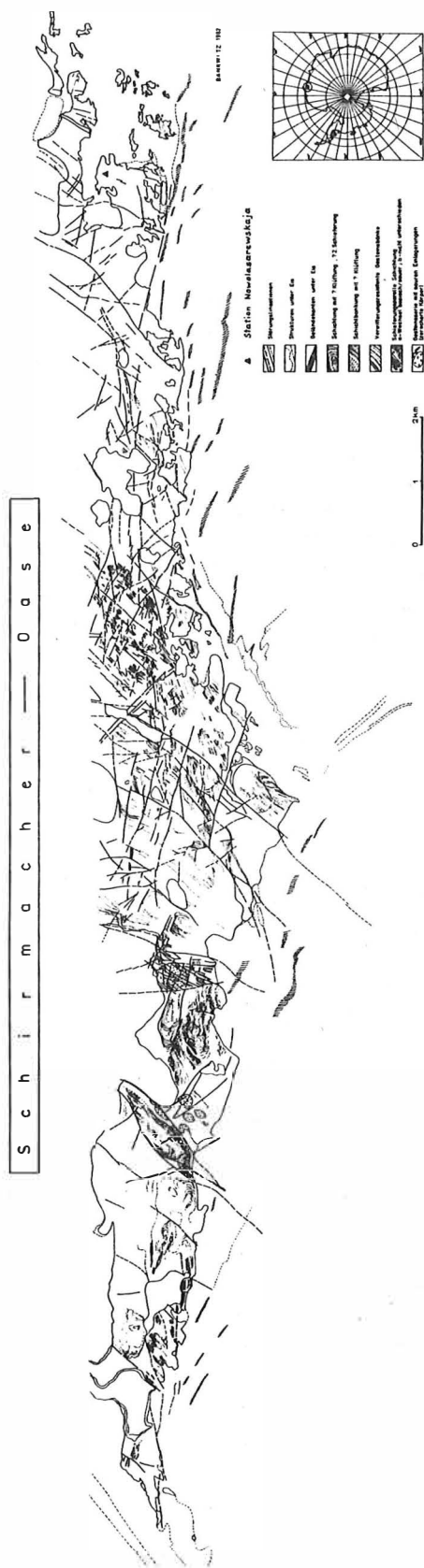
- Anhand des Lineationsverlaufs der Schichtung ist im bruchtektonisch deformierten Stockwerk die Unterscheidung von flachliegender und steil einfallender Schichtung möglich. Erstere bildet sich als "Ringstrukturen" ab.  
Infolge morphologischer Effekte ist nicht jedes Umbiegen der Schichtungs-  
fotolineation (vor allen Dingen im bruchtektonisch deformierten Stockwerk)  
tektonisch bedingt, sondern gelegentlich ein Erosionsergebnis.
- Unterschiedliche Dichte und Art der Muster von Lineationen in benachbarten Gebieten gestatten die indirekte Verfolgung von Diskordanzen, die selbst nicht als Lineation nachweisbar sind.
- Mit Hilfe von Lineationsmustern, die bei geologisch nachgewiesener isoklinaler Faltung der Schichtung im Luftbild als Schieferungsfächer ( $s_1$ ) gedeutet werden können, ist lokal der regionale Faltenwurf im Präkambrium mit Wellenlängen von ca. 4 km nachweisbar. Dieser Faltenwurf war feldgeologisch infolge fehlender Leithorizonte in der präkambrischen Flyschserie nicht kartierbar.
- Die Luftbildinterpretation gestattet eine wesentliche Verdichtung des bisher bekannten Bruchnetzes. Die Kartendarstellung ist hinsichtlich der Lagegenauigkeit der Lineationen allerdings mit Unsicherheiten belastet.

### 4., Erarbeitung einer fotogeologischen Karte aus einem Luftbildmosaik der Schirmacher Oase (Königin-Maud-Land, Ostantarktis) im Maßstab 1 : 12 000

Die für die Luftbilddaufnahmen günstigen meteorologischen Bedingungen der Antarktis, fehlende Vegetation und durchweg anstehendes Gestein ohne Eisbedeckung (wenn auch in den Tallagen und teilweise in den Hanglagen unter Verwitterungsschutt) begünstigten die Erarbeitung einer fotogeologischen Karte vom Gebiet der Schirmacher Oase (Abb. 4).

Zur Verfügung standen sowjetische Luftbilddaufnahmen (schwarz-weiß) mit ca. 60 %iger Überdeckung im Maßstab 1 : 12 000. Die Informationsdichte dieser Aufnahmen ist für eine Kartendarstellung im Maßstab 1 : 10 000 und darunter geeignet.

Da die Auswertung an Senkrecht- und Schrägaufnahmen durchgeführt werden konnte, war eine Einschätzung der Lagerungsform der Gesteine, d. h. ihres Einfallens, stellenweise möglich. Es ergaben sich dadurch quasi-dreidimensionale Ansichten der Anschnitte. Infolge der Schrägaufnahmen der Hänge wurde der Aufbau der Schichtserien zumindest teilweise sichtbar (Abfolge der Sedimente; Wechselagerungen usw.). Nicht nur aus diesem Grunde stellte das Relief eine gute Interpretationshilfe dar; die schichtungsabhängige Morphologie ist geeignet, kausale Beziehungen aufzuzeigen.



Das Untersuchungsgebiet umfaßt zusammenhängend aufgeschlossene Gesteinsserien auf 21 km<sup>2</sup> (70° s. Br. und 11° ö. L.); die Ausdehnung beträgt in E--W-Richtung 17,4 km, die Anschichtsbreite im zentralen Teil 3 km. Am östlichen Ende befindet sich die sowjetische Station Nowolassarskaja.

Abb. 4 Fotogeologische Karte der Schirmacher Oase (Königin-Maud-Land, Ostantarktis), erarbeitet im Maßstab ca. 1 : 12 000 (BANKWITZ)

#### 4.1. Kennzeichnung des Untersuchungsgebietes

Die Schirmacher Oase liegt an der Grenze zwischen Kontinental- und Schelfeis, d. h. ihre Gesteinseinheiten tauchen nach Norden unter das Schelfeis ab. Den Nordrand bildet weitestgehend eine Steilkante mit einer Sprunghöhe von ca. 100 m, die stellenweise 140 m erreichen kann.

Die Konturen der Schirmacher Oase deuten in ihren einzelnen Abschnitten auf tektonische Begrenzung durch NW--SE- und NE--SW-streichende Bruchstörungen hin, trotz genereller E--W-Erstreckung des Gesamtgebietes. Vermutlich stellt diese inselartige Hochlage des Grundgebirges einen tektonischen Horst dar; zumindest ist eine stufenartige Abtreppung nach Norden in Richtung auf den Schelfrand hin sicher.

Als Bestandteil der Ostantarktischen Tafel, d. h. eines präkambrisch konsolidierten Krustenabschnitts, sind im Untersuchungsgebiet sehr alte, deformierte bzw. metamorphe Gesteine zu erwarten, die möglicherweise mehrfachen Überprägungen ausgesetzt waren. Nach physikalischen Altersdatierungen sind die aufgeschlossenen Gesteine ins Archaikum bzw. Proterozoikum zu stellen. Punktförmige Auswertungen von Proben erbrachten den Nachweis einer mehr oder weniger starken Metamorphose (Gneise); die tektogenetische Deformation der Gesteine ist bereits aus den Luftbildern ersichtlich (Steilstellung, Faltung, Schieferung). Es liegt jedoch bisher keine geologische Spezialkartierung der Schirmacher Oase vor.

Die Morphologie des Gebietes ist Ausdruck einer kurz-kuppigen Landschaft mit nur geringen Höhenunterschieden, in der Regel zwischen 100 und 170 m, welche gelegentlich unter- bzw. überschritten werden (max. 228 m). Südlich der Schirmacher Oase steigt die Eisfläche von 200 m kontinuierlich nach Süden zu an; die Oberfläche des Schelfeises im Norden liegt dagegen zwischen 0 bis 60 m.

Bereits die Morphologie läßt eine regionale Felderung des Gebietes durch Bruchstörungszonen erkennen, die sie in hervorragender Weise vor allem durch Ausräumungszonen verdeutlicht. Auch in dieser Hinsicht erleichterten die morphologischen Bildelemente die fotogeologische Interpretation.

#### 4.2. Fotogeologische Interpretation

##### Bruchtektonik und Felderung

Entsprechend den Hauptkriterien einer thematischen geologischen Karte (Abb. 1) wurden zunächst die wichtigsten Bruchstörungslinierungen kartenmäßig erfaßt. Sie sind in den Luftaufnahmen als morphologische Depressionen mit deutlich unterschiedlichem Niveau der Flankenbereiche oder als Zonen mit spezifischer Bruchbildung bzw. Änderung des Gesteinsstreichens zu erkennen. Das sich daraus ergebende Bild zeigt eine Zerblockung des anstehenden Gesteins. In dem deutlich ausgeprägten Bruchnetz dominieren zwei Systeme (N-S/E-W und NE-SW/NW-SE). Morphologisch treten am stärksten die NE--SW-Richtung und die WNW--ESE- bis NW--SE-Richtung in Erscheinung (Abb. 4).



Zwei auffallende Bruchstörungenzonen (Abb. 5, A. u. B) von ca. 500 m Breite gliedern den Westteil der Schirmacher Oase im großen. Möglicherweise sind die bedeutenden Störungslinierungen im zentralen Teil (C-E) weniger komplex aufgebaut oder aber ihr Aufbau ist unter dem Talschutt nicht klar erkennbar. Im Falle der NE-streichenden Störungslinierungen handelt es sich mit großer Wahrscheinlichkeit um Verwerfungen infolge einer Weitung und Absenkung im Zwischenbereich. Sie begrenzen in der Regel Serien unterschiedlicher Ausbildung (Abb. 5, B-D).

Die große N--S-verlaufende Scherzonenlinieation bei  $11^{\circ} 35'$  E zeigt dagegen einen charakteristischen fiedrigen Aufbau und belegt eine rechtsdrehende Verschiebung (A). Weitungsfiedern innerhalb der Zone sind durch basische Gänge von 30 - 50 cm Breite (mündl. Mitteilung von Dipl.-Phys. U. SCHÄFER) besetzt. Diese Bruchzone verläuft im Bereich der Depression des Sees "SBROSOWOE" (Sbrosowoe-Bruch). Sie hat den Charakter einer Tiefenstörung. Eine zweite Scherzone scheint in der Doppellineation bei  $11^{\circ} 30'$  E vorzuliegen. Für beide deutet sich eine Verlängerung noch 4 km weiter südlich bzw. südwestlich in der Morphologie des Eises an.

Es ist zu bemerken, daß die gleiche Spannungsverteilung einer NE--SW-gerichteten Kompression und NW--SE-gerichteten Extension Ursache für die genannte N-S-Verschiebung wie auch für die NE-streichenden Abschiebungen gewesen sein kann.

Generell ist festzustellen, daß der zentrale Teil der Schirmacher Oase trotz der vielen Störungen regelmäßiger aufgebaut erscheint als der West- und Ostteil. Dieser Eindruck geht zum einen auf die strenger geordneten Elemente der Bruchtektonik im mittleren Abschnitt zurück, zum anderen auf das dort überwiegende NE-Streichen der Serien mit glattem Verlauf, scheinbar ohne bedeutende Faltenumbiegungen, im Gegensatz zum E-W-Streichen in den Randabschnitten. Vor allem im Westteil wird der Verlauf der Streichrichtungen durch Faltung modifiziert. Der Sbrosowoe-Bruch, welcher den gefalteten Westteil vom zentralen Teil mit überwiegend flachliegenden Serien trennt, stellt möglicherweise eine übergeordnete Feldergrenze dar (Abb. 5, A).

#### Gliederung der Gesteinseinheiten

Als zweiter Schritt erfolgte die kartenmäßige Darstellung der Verbreitung von unterscheidbaren Oberflächentexturen. Mit Hilfe ihrer differierenden Merkmale konnten fünf Haupttypen von Texturmustern ausgehalten werden (Abb. 6). Sie charakterisieren fünf unterschiedlich aufgebaute Gesteinsserien, die geologischen Einheiten entsprechen. In den Texturtypen kommt eine wechselnde Ausbildung bzw. Zusammensetzung zum Ausdruck, was sich in abweichender Resistenz der Gesteinsfolgen und unterschiedlichen Verwitterungsformen äußert (Abb. 4 u. 5). Es konnte also eine Grobgliederung der Gesteine in fünf unterschiedlich aufgebaute Serien durchgeführt werden.

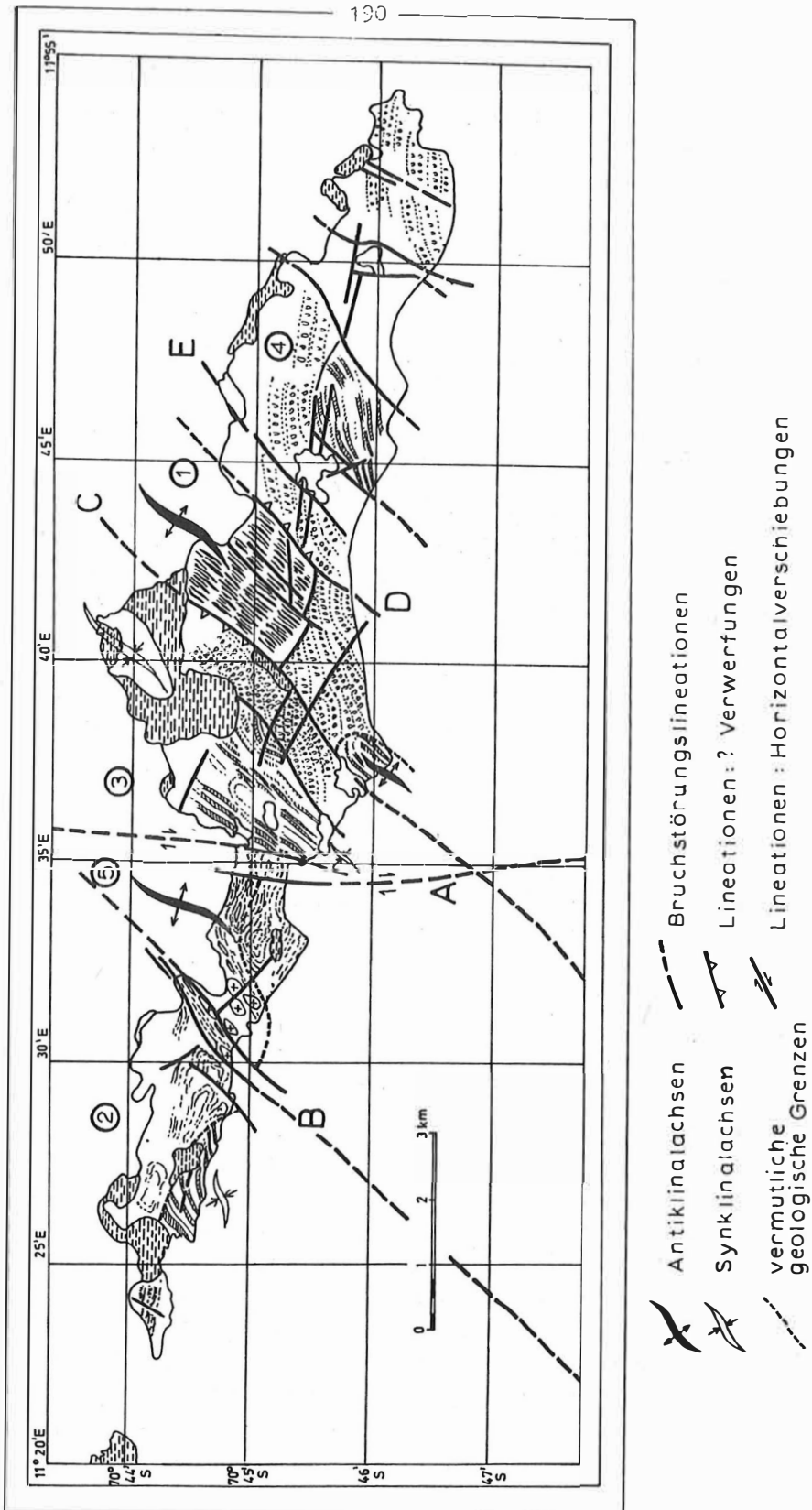


Abb. 5 Gliederung der Gesteine der Schirmacher Oase in fünf unterscheidbare Serien (geologische Einheiten) mit Hilfe der Texturunterschiede als Ausdruck einer unterschiedlichen Verwitterungsresistenz (BANKWITZ)

Abb. 5

So war an verschiedenen Stellen eine mehr oder weniger gut ausgebildete Wechsellagerung zu beobachten; vor allem in der flach nach Osten einfallenden Serie 3 im zentralen Teil tritt eine rhythmische Wechsellagerung auf. Die als schmale Bänder im Bild erkennbaren Horizonte zeigen Kontraste im Grauton (hell/dunkel), aber vor allem in der Verwitterungsart. Resistenterer, meist helle Horizonte bilden rippenartig Positivformen und sind durch engständige, steile Querklüftung gekennzeichnet, die wie eine Schieferungsklüftung erscheint. Die dunkleren, weicheren Horizonte sind stärker ausgeräumt. Querklüfte sind seltener zu erkennen und offenbar flacher angelegt.

Die sich gut unterscheidenden Texturmuster gehen in erster Linie zurück auf

1. Gesteinstyp: monoton oder wechselnd,
2. Intensität der Deformation:
  - ein oder zwei Systeme von Schieferungsflächen,
  - unterschiedlich intensive Klüftung,
3. stoffliche Zusammensetzung der Gesteine:
  - Resistenzunterschiede
  - Mikrorelief

Sämtliche Varianten dieser Texturen waren in den Luftbildern zu beobachten.

Serie 1: Das stratigraphisch Liegende, d. h. den vermutlich tiefsten Anschnitt zeigt Serie 1. Sie bildet offenbar den Kern einer Antiklinale mit NE-streichender Achse bei  $11^{\circ} 42' - 44' E$ .

Merkmal: zähe, relativ wenig geklüftete Gneise, bilden glatte gerundete Anschnitte, charakteristisch hell/dunkel-lamelliert parallel zur steilstehenden Schieferungstextur. Die Lagen schmitzen kurz aus, haben also im Bild die Form sehr langgezogener schmaler Disken. Serie durch Störungen begrenzt.

Serie 2: Wesentliches Merkmal: Gneise hier weniger resistent als in Serie 1; dominierend Schieferung, offenbar als Teilbarkeit; untergeordnet Materialwechsel erkennbar, überwiegend monoton ausgebildet; in Umbiegungen eine zweite Teilbarkeit zu beobachten (? 2. Schieferung;  $11^{\circ} 32' - 33' E$ ); im großen flache Lagerung und Faltung zwischen den Bruchstörungen A u. B; ?stärker gefaltet im Westteil; Umbiegungen (?Antiklinalen) mit E-W- bis WNW-streichenden Achsen.

Serie 3: Merkmal: teilweise gut sichtbare rhythmische Wechsellagerung; gekennzeichnet durch wechselnde Verwitterungsresistenz; im ganzen relativ stark überschuttet; stark ausgeprägte Klüftung; verbreitet Teilbarkeit quer zum Streichen mit wechselndem Winkel in den einzelnen Horizonten (? 2. Schieferung); offenbar stark ausgeprägte Bruchtektonik. Teilweise durch Störungen begrenzt.

Serie 4: Merkmal: weniger resistent als die Serie 1 (und 2), stärker schuttbildend; relativ monoton; gelegentlich Lagigkeit erkennbar, als Wechsellagerung angezeigt durch bänderartige Textur; Streichen der Serie jedoch immer erkennbar; Einfallen der Schichtung im Mittelteil der Oase flach nach Osten; deutliche Bruchtektonik; dominierende Querbrüche.

Serie 5: Hauptmerkmal: eingelagerte helle Linsen von 50 - 500 m Länge aus dichtem, splittrigen Material, vermutlich dichte helle Gneise (? Marmore, ?Granitoide). Sie sind unterschiedlich stark deformiert und deuten damit auf wechselnde tektonische Position im Streichen hin: schwache Längung in einer Umbiegung, stärkere Längung im Flankenbereich; in der angrenzenden Scherzone zu Disken zerschert; umlaufendes Streichen; vermutlich Synklinalstellung; offenbar durch Störungen begrenzt.

Die Gliederung der Gesteine der Schirmacher Oase beruht auf der Berücksichtigung mehrerer Kriterien, vorrangig jedoch auf den Unterschieden ihrer Erscheinungsform (Texturtypen) und ihrer Lagerungsform (Streichen, Einfallen, Faltung). Die Interpretation der in der Karte erfaßten Verteilung beider Kriterien führte in Verbindung mit der Bruchtektonik zu einer Modellvorstellung zum Strukturbau der Schirmacher Oase und damit zu einer eventuell möglichen stratigraphischen Abfolge der einzelnen Serien. Diese Vorstellung hat vorläufigen Charakter und ist durch weitere Auswertungen des Bildmaterials sowie durch Geländeuntersuchungen zu revidieren bzw. abzusichern.

Sämtliche hier erwähnten Merkmale wurden ausschließlich aus Luftbildern abgeleitet. Die Verteilung der 5 Hauptserien ist in Abb. 5 vereinfacht dargestellt, wobei der jeweils vorherrschende Texturtyp (Abb. 6) zur Kennzeichnung verwendet wurde; tektonische Achsen verweisen auf den zu vermutenden Großfaltenbau.

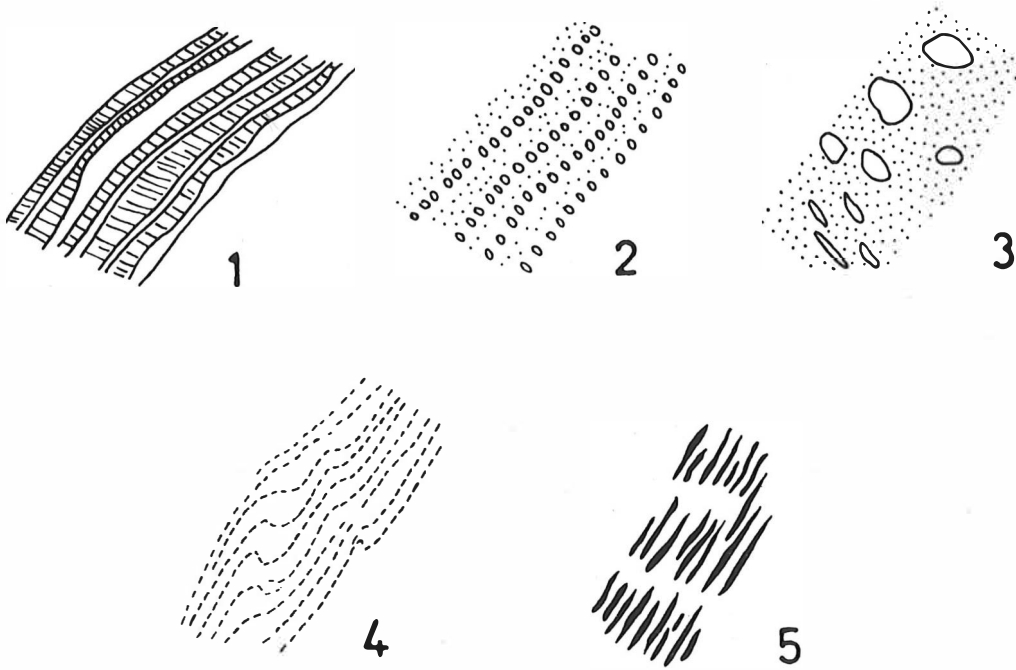


Abb. 6 Haupttexturmuster in den Luftbildern der Schirmacher Oase als Indikationen für Art und Verlauf von Schichtung bzw. Schieferung (BANKWITZ)

Flächige Texturtypen als möglicher Indikator für Schichtung

1 - alternierende weiche Bändertextur (wechselnde Abfolge).

2- heterogene Zeilen-Streifentextur (Stoff- bzw. Resistenzunterschiede),

3 - horizontbegrenzte Einlagerungen

Lineare Texturtypen als möglicher Indikator für Schieferung

4 - homogene körnige Zeilentextur (geschieferter Komplex mit Schieferungsfaltung und -teilbarkeit)

5 - homogene weiche Lamellentextur, alternierend (Schieferung in höher metamorphen Horizonten ohne Teilbarkeit)

#### 4.2. Vergleich von Ergebnissen der magnetischen Vermessung mit fotogeologischen Interpretationen

---

Von der Station Nowolasarewskaja aus wurde während der 25. SAE (1979/81) eine Gelände Vermessung der geomagnetischen Totalintensität an Festpunkten im Gebiet der Schirmacher Oase vorgenommen (U. SCHÄFER). Sie erfolgte mit einem tragbaren Protonenmagnetometer mit einem durchschnittlichen Meßpunkt Abstand von 1 km und einer Genauigkeit von  $\pm 1$  nT. Die Gelände Vermessungen wurden auf die magnetische Variationsstation Nowolasarewskaja bezogen. Die Ergebnisse verdeutlicht Abb. 7: der Isolinienabstand beträgt 25 nT; die Werte für  $\Delta T$  schwanken in den Grenzen von -290 nT bis +190 nT bei einem Gesamtfehler unter Berücksichtigung der Reduktion von  $\pm 10$  nT.

Geologisch bemerkenswert sind der Wechsel der Intensitäten und die Richtung des Isolinienverlaufs. Beide spiegeln im großen die durch fotogeologische Kartierung gewonnene Grobgliederung der Schirmacher Oase wider. Sehr deutlich hebt sich der zentrale Teil mit NE--SW-gerichtetem Isolinienverlauf als ein eigenständiger Abschnitt heraus. Er unterscheidet sich damit vom mehr E-W-gerichteten Isolinienverlauf des Ost- und Westteils und zeigt eine deutliche Beziehung zum Streichen der geologischen Einheiten.

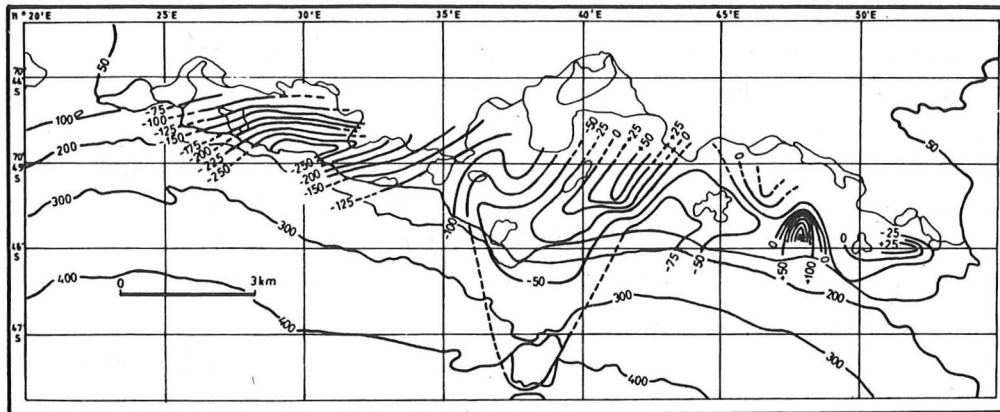
Dieser zentrale Teil weist jedoch noch eine weitere Übereinstimmung auf. Beide völlig unabhängig voneinander erarbeiteten Darstellungen der geomagnetischen Gelände Vermessung und der fotogeologischen Gliederung zeigen die lagegetreue Entsprechung einer schwach positiven Anomalie mit der Verbreitung der Serie 1, womit ein Hinweis auf die Beteiligung überwiegend basischer Gesteine am Aufbau dieser Serie gegeben ist. Ihre Flanken werden in der fotogeologischen Kartierung durch Störungen begrenzt (C, D; Abb. 5).

Die deutliche positive Anomalie im östlichen Teil besitzt einen lokalen und deutlich oberflächennahen Charakter und geht vermutlich auf eine jüngere Struktur zurück ( $11^{\circ} 48' E$ ). In ihrem Bereich ist die E--W-verlaufende doppelte Bruchstörungslineation in Abb. 5 nicht bzw. schlecht erkennbar.

Die auffallendste Erscheinung ist jedoch eine deutlich ausgeprägte negative Anomalie im Westteil. Ihre Hauptachse streicht NE und deckt sich mit der Scherzone B bei  $70^{\circ} 45' S$  und  $11^{\circ} 30' E$ . Möglicherweise geht der starke Abfall im Störungszonenbereich und auf der Westflanke auf Oxidierung zurück. Sollte er durch eine Intrusion bedingt sein, müßte eine inverse Polarisierung zur Zeit der Intrusion geherrscht haben.

Bemerkenswert ist, welche unterschiedlichen Erscheinungsbild die fotogeologisch kartierten Hauptbrüche (Abb. 5: A u. B) innerhalb des Feldverlaufs der geomagnetischen Gelände Vermessung haben. Die Bruchzone B ist durch eine negative Anomalie gekennzeichnet, der Sbrosowoe-Bruch (A) liegt im Bereich einer Grenze zwischen Gebieten mit sehr unterschiedlichem Isolinienverlauf. Das läßt die

Vermutung zu, daß die Zone B durch eine stoffliche geologische Anomalie gekennzeichnet ist, die Zone A dagegen durch eine strukturelle. Beides sind jedoch vorläufige geologische Annahmen, die einer näheren Untersuchung bedürfen.



#### Magnetische Vermessung der Schirmacher-Oase

Isodynamen der Totalintensitätsdifferenzen  $\Delta T_0$  bezogen auf die Station Nowolasarewskaja (in nT)

Abb. 7 Geomagnetische Geländevermessung der Schirmacher Oase

Isolinien der Totalintensitätsdifferenzen bezogen auf die Station Nowolasarewskaja /in nT/ (Schäfer 1981)

#### 4.4. Geologische Ergebnisse

Die geologische Interpretation brachte eine Reihe von neuen Ergebnissen zur Geologie der Schirmacher Oase.

- Mit Hilfe der Oberflächentexturen und der Lagerungsform war eine Gliederung der aufgeschlossenen Gesteine in 5 Serien mit unterschiedlichem Aufbau möglich.
- Durch den Verlauf der Schichtlineationen und der Bänder- und Zeilentexturen innerhalb des Reliefs war die Unterscheidung von flachliegender Schichtung mit starker bruchtektonischer Deformation, von gefalteter, vermutlich schichtparalleler Schieferung und von steilstehenden, höher metamorphen Schichten mit zurücktretender Teilbarkeit möglich. Infolge des Reliefs waren Hinweise auf das Einfallen der Schichten zu erlangen.
- Die Gliederung in 5 Serien erlaubt, in Verbindung mit der stellenweise zu beobachtenden Lagerungsform eine Modellvorstellung zum Strukturbau der Schirmacher Oase zu entwickeln. Es lassen sich drei Antiklinalen (eventuell vier) und zwei Synklinalen auf Grund der Gesteinslagerung, des wechselnden Streichens und der Ausbildung der Gesteinsserien vermuten. Diese Vorstellung muß durch weitere Auswertungen geprüft und revidiert werden.
- Eine gute Möglichkeit, die Interpretation mit Tiefenaussagen zu verknüpfen, bot der Vergleich der Fotointerpretation (Abb. 5) mit dem Ergebnis einer geomagnetischen Geländevermessung (Abb. 7). Der am Luftbildmaterial ablesbare Strukturbau der Gneise (Faltenbau, Verlauf des Streichens, Störungen) spiegelt sich bemerkenswert gut im Intensitätsbild und im Isolinienverlauf von  $\Delta T$  wider. Aus dieser Koinzidenz von Ergebnissen ergeben sich Hinweise auf eine Interpretationsebene, die mehrere Kilometer tiefer liegen können.
- Es war eine Rayonierung des Gebietes mit Hilfe der Bruchtektonik und der Verteilung der Gesteinseinheiten möglich.

#### 5. Schlußfolgerungen

Die Nützlichkeit von Fernerkundungsinterpretationen wird durch die vorliegenden Ergebnisse unterstrichen. Sie besitzen einen zweifachen Wert, da sie zum einen den methodischen Nachweis erbringen, daß Luftbildaufnahmen zur Herstellung thematischer Karten bis zu einem Maßstab von mindestens 1 : 10 000 geeignet sein können, zum anderen eine Fülle bisher unbekannter geologischer Daten liefern und damit Schlußfolgerungen auf tiefergreifende Zusammenhänge gestatten.

Es muß einschränkend gesagt werden, daß ähnliche Ergebnisse nicht ohne weiteres von Gebieten anderer Breiten erwartet werden dürfen, da der Aufschlußgrad des Geländes und die fehlende Vegetation geradezu ideale Interpretationsvoraussetzungen durch eine entsprechende Informationsdichte geschaffen haben.

Eine wünschenswerte und notwendige Kontrolle und Vertiefung stellt in jedem Falle der Vergleich von Fernerkundungsinterpretationen mit geophysikalischen Ergebnissen dar. Das Beispiel der Schirmacher Oase verdeutlicht den großen Nutzen,



den Fernerkundung, terrestrische Geophysik und geologische Untersuchungen am Boden wechselseitig füreinander erbringen können.

Literatur

BANKWITZ, P.: Problemorientierte geologische Interpretation von Satellitenaufnahmen.  
Gerl. Beiträge zur Geophysik, Jg. 1983 (im Druck)

