

**MITTEILUNGEN
DER FORSTLICHEN BUNDESVERSUCHSANSTALT
WIEN**

(früher „Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Österreichs“)

157. Heft

1986

ZWEITES ÖSTERREICHISCHES SYMPOSIUM FERNERKUNDUNG

ODC 585:587.6:971

Second Austrian Symposium on Remote Sensing

Deuxième Colloque Autrichien sur la Télédétection

**VERANSTALTET VON DER ARBEITSGRUPPE FERNERKUNDUNG DER
ÖSTERREICHISCHEN GESELLSCHAFT FÜR SONNENENERGIE UND
WELTRAUMFRAGEN GES.M.B.H., AUSTRIAN SOLAR AND SPACE
AGENCY (ASSA)**

2. - 4. OKTOBER 1985 IN WIEN

SCHRIFTFLEITUNG: E. MONDRE UND J. POLLANSCHÜTZ

**Herausgegeben
von der
Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Wien
Kommissionsverlag: Österreichischer Agrarverlag, 1141 Wien**

Copyright by
Forstliche Bundesversuchsanstalt
A - 1131 Wien

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

Printed in Austria

ISBN 3-7040-0852-4

Herstellung und Druck
Forstliche Bundesversuchsanstalt
A - 1131 Wien

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
VORWORT	5
LICHTENEGGER J.: Earthnet - Das operationelle Erdbeobachtungs- programm der ESA	7
BECKEL L.: Spot - Ein neuer Erdbeobachtungssatellit	13
POLLANSCHÜTZ J.: Problematik der Waldschäden	21
BOLLE H.-J. u. F.H. BERGER: Spektrale Albedo und Reflexions- eigenschaften von Pflanzen	27
NOWAKOWSKI H.: Bildbeschaffung bei der Waldschadenserhebung	35
MAYER E.: Versuchsflug Windischgarsten	41
SCHNEIDER W.: Rechnerunterstützte Interpretation von Farb- Infrarot-Luftbildern zur Erkennung und Kartierung von Waldschädigungen	47
SEGER M.: Methodische Fragen der Waldzustandserfassung am Beispiel der Luftbild-Fernerkundung im Gebiet Lavanttal-Petzen	55
ZIRM K.: Verfahren zur EDV-gestützten Interpretation von Luftaufnahmen in der Waldzustandsuntersuchung	69
FIBICH F.: Ergebnisse digitaler Bildanalyseverfahren in der Waldzustandsuntersuchung	81
ROTT H.: Fernerkundung von Schnee und Eis mittels neuer Sensoren	91
MAHRINGER G.: Die Verwendung von Fernerkundungsdaten für kurzfristige Wettervorhersagen	99
ZWATZ-MEISE V.: Die Bedeutung von Satellitenfilmen in der Meteorologie	107
KALLIANY R.: Vergleichende Untersuchungen zur Auflösung des Thematic Mapper	109
XU G.Q.: Forstklassifikation mit Landsat-Daten; Eine Fallstudie aus der Steiermark	121
JANSA J. u. K. KRAUS: Stereo-Orthophotos aus metrischen Spacelab-Aufnahmen	131
KOSTKA R.: Anwendungsbezogene Untersuchungen an Weltraumphotos von Gebirgsregionen	139

	Seite
KROPATSCH W.G.: Methodenvergleich mit dem ersten internationalen Multisensor-Referenzdatensatz	147
FUCHS H.: 3-dimensionale Auswertung von Spot-Bildern	153
BUCHROITHNER M.F.: Geologisch-geotechnische Anwendungsbeispiele von Fernerkundungsdaten verschiedener Sensoren	163
BEISSMANN H.: Fernerkundung und "ground truth"	173
STECHAUNER A.: Bodenbonitierung mit Farb-Infrarot-Orthophotos	179
QUENDLER T., KALLIANY R. u. R. SCHLEDERER: Erhebung der Boden- nutzungsarten aus Luftbildern	185
HENDERSON F.M.: Radarbilddanwendung - Überblick	197
TRIEBNIG G. u. M.F. BUCHROITHNER: Radargrammetrische Aspekte der Auswertung von Radarbilddaten	203
MANDL P.: Anmerkungen zur statistischen Auswertung von Waldzustandsdaten	209
TEILNEHMERLISTE	215

VORWORT

Die Arbeitsgruppe Fernerkundung der Österreichischen Gesellschaft für Sonnenenergie und Weltraumfragen (ASSA) hat im Oktober 1980 das erste Symposium Fernerkundung an der Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Wien, Schönbrunn, veranstaltet. Nach fünf Jahren wurde nunmehr ein zweites Symposium zu diesen Themen organisiert, wobei vor allem zwei Schwerpunkte berücksichtigt wurden:

Durch die in den letzten Jahren zunehmend aufgetretenen Waldschäden, sollen erstens Methoden und vorläufige Resultate der Bestandsaufnahme von geschädigten Forstgebieten und Baumbeständen mit Hilfe der Fernerkundungsdaten von Flugzeugen und Satelliten diskutiert werden. Zweitens sollen die Ergebnisse und erzielten Verbesserungen bei der Analyse der Daten, die von den neuesten Instrumenten der Fernerkundungssatelliten aufgenommen und in Österreich untersucht werden, vorgestellt werden. Es handelt sich dabei um Photos der Reihenmeßkamera, die Ende November/Anfang Dezember 1983 auf der ersten Spacelab Mission das erste Mal im Weltraum zum Einsatz kam und um Daten, die der Thematic Mapper regelmäßig von Landsat 5 zur Erde übermittelt.

Zukunftstendenzen auf dem Gebiet der Satellitenfernerkundung, wie der Einsatz von bewölkungsunabhängigen Aufnahmegeräten, die im Mikrowellenbereich arbeiten (Synthetische Apertur Radars), werden ebenfalls diskutiert.

Die interdisziplinären Probleme der Fernerkundung kommen deutlich zutage, wenn man die Themen der Vorträge und den Teilnehmerkreis am Symposium betrachtet. Es war Ziel und Zweck dieser Veranstaltung, potentiellen Nutzern der Fernerkundungsdaten die Möglichkeiten zu zeigen und einen Einblick in den gegenwärtigen Stand der Forschung und gezielten Anwendung in Österreich zu vermitteln.

Für die Organisation und Programmerstellung war ein Programmkomitee verantwortlich, dem Prof. H.-J. Bolle (Universität Innsbruck), Prof. K. Kraus (Technische Universität Wien), Doz. M. Buchroithner (Forschungsgesellschaft Joanneum, Graz) und Prof. J. Pollanschütz (Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien) als Mitglieder angehörten.

Ihnen sowie allen Damen und Herren, die mit ihren Referaten zum Gelingen der Veranstaltung beigetragen haben, möchte ich hiermit meinen Dank aussprechen. Besonderer Dank gilt auch der Forstlichen Bundesversuchsanstalt für das Angebot, die Räumlichkeiten zur Verfügung zu stellen und für die Veröffentlichung des hier vorliegenden Tagungsberichtes.

Wien, im Oktober 1985

Dipl.-Ing. Dr. tech. Erwin Mondre
Vorsitzender des Programm- und
Organisationskomitees

EARTHNET - DAS OPERATIONELLE ERDBEOBACHTUNGSPROGRAMM DER ESA

Jürg Lichtenegger

ESA/ESRIN

C.P. 64, I-00044 Frascati, Italien

EINFÜHRUNG

ESA (European Space Agency), die europäische Weltraumorganisation setzt sich zum Ziel, die Zusammenarbeit europäischer Staaten für ausschließlich friedliche Zwecke auf dem Gebiet der Weltraumforschung, der Weltraumtechnologie und ihren weltraumtechnischen Anwendungen sicherzustellen und zu entwickeln. Ihre 11 Mitgliedstaaten sind: Belgien, Dänemark, die Bundesrepublik Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Irland, Italien, die Niederlande, Schweden, die Schweiz und Spanien. Österreich und Norwegen sind assoziiert, ferner besteht eine Vereinbarung für enge Zusammenarbeit mit Kanada. Die ESA verfolgt langfristig die Weltraumpolitik, sie plant und koordiniert Weltraumprogramme und führt sie durch.

Die Organisation wird durch die Beiträge der Mitgliedstaaten finanziert. Während für den Allgemeinen Haushalt und für die wissenschaftlichen Programme die Beiträge obligatorisch sind, können sich die Mitgliedstaaten und auch Assoziierte oder Nichtmitglieder wahlweise an fakultativen Programmen beteiligen. Einige dieser Programme sind ziemlich populär geworden, so Meteosat, die Ariane Trägerrakete und das Spacelab auf dem amerikanischen Space Shuttle.

Haupt- und Verwaltungssitz der ESA ist Paris, wo auch das oberste Organ, der aus Delegierten der Mitgliedstaaten bestehende Rat, regelmäßig tagt. In Noordwijk/Holland betreibt die ESA das Europäische Zentrum für Weltraumforschung und -technologie. Weitere Zentren befinden sich in Darmstadt - ESOC, das Satelliten-Operationszentrum und in Frascati/Italien - ESRIN. ESRIN hat zwei Aktivitäten: IRS (Information Retrieval Service), der größte Informationsabrufdienst in Europa, dessen Datenbank über 35 Mio. Literaturhinweise enthält und EARTHNET, das in der Folge vorgestellt wird.

DAS EARTHNET-PROGRAMM DER ESA

Das EARTHNET-Programm ist eine der obligatorischen Tätigkeiten der ESA. Es besteht aus einem Netz von Empfangsstationen für Erderkundungssatelliten, von Daten-Verarbeitungszentren und von nationalen Beratungs- und Verteilstellen in ganz Europa.

Neben vielfältigen Überwachungsaufgaben obliegt dem EARTHNET das Bestellwesen, die Datenarchivierung und -katalogisierung. Dazu kommen Planungsaufgaben für zukünftige Fernerkundungssysteme, so auch für das Bodensegment von ERS-1.

Trotz den weit gestreuten Aktivitäten beschäftigt das Programm in Frascati zur Zeit nur 13 Leute plus einige Hilfskräfte. Für die Kundendienste, für PR, für die Qualitätskontrolle und diverse Überwachungsaufgaben sind es bloß 3 Mitarbeiter plus 2 Assistenten.

EARTHNET - EIN NETZ VON EMPFANGSSTATIONEN

EARTHNET ist dezentral aufgebaut. Es bestehen Abkommen mit verschiedenen privat oder staatlich geführten Institutionen, die im Auftrage der ESA Satellitendaten empfangen und/oder verarbeiten. EARTHNET liefert dabei die nötigen Spezifikationen zum Betrieb und ist in vielen Fällen auch Besitzerin der Hard- und Software. Entsprechend dem Charakter des Datenflusses betreut EARTHNET zwei Typen von Missionen: operationelle und experimentelle.

Die Landsat Mission ist von operationeller Natur. Ihre Daten werden von Fucino/Italien seit 1975 täglich empfangen. 1977 kam Kiruna/Nordschweden und 1984 Maspalomas/Kanarische Inseln hinzu. Der Empfangsbereich deckt somit nicht nur ganz Europa ab, sondern auch Island/Grönland, den Mittleren Osten, Nordafrika, die nördliche Sahara und ganz Westafrika. Die Multispektralscanner nehmen in 4 Spektralbereichen (sichtbarer bis infraroter Bereich) Daten mit einer Bodenauflösung von rund 80m x 80m (gemessenes Bodenelement) auf. Landsat 3 hatte auch eine Videokamera an Bord, deren Bilder weit bessere Auflösung erbrachte, deren Qualität jedoch wenig konstant war. Zur Zeit arbeiten noch Landsat 4 und 5. Neben dem MSS liefert uns Landsat 5 mit dem Thematic Mapper regelmäßig, d.h. alle 16 Tage, Daten in 7 Spektralkanälen mit gemessenen Bodenelementen von 30m x 30m und von ausgezeichneter Bildgeometrie.

Die vom Landsat System bis dato erhaltene Datenmenge ist bereits enorm. Der computerisierte Katalog von EARTHNET (siehe weiter unten) weist, EROS-Daten Katalog inklusiv, Informationen von über 700'000 Szenen auf. Allein Wien und seine weitere Umgebung ist bereits 340 mal aufgenommen worden, allerdings nur 35 mal

vollständig wolkenfrei. An TM-Daten gibt es bis August 1985 bereits 8 brauchbare Szenen.

Zu den experimentellen Missionen, die EARTHNET betreut, gehören:

- HCMM - Heat Capacity Mapping Mission
- SEASAT - der erste zivile Radarsatellit
- NIMBUS-7 - mit dem Coastal Zone Color Scanner CZCS
- SAR580 - ein Flugzeugradar-Experiment
- METRIC CAMERA - ein Spacelab 1 Experiment

Obschon diese Missionen, mit Ausnahme des NIMBUS-7 Experimentes, alle abgeschlossen sind, kann man Informationen, Kataloge und die Daten weiterhin durch EARTHNET zu stark reduzierten Preisen erhalten.

Die HCMM-Daten wurden in Lannion/Bretagne bis Sept. 1980 aufgenommen. Das Experiment diente dem Studium der thermischen Verhältnisse auf dem Erdboden (500m Bodenelemente, ein Kanal im sichtbaren, ein Kanal im thermischen Infrarot-Bereich).

Die Daten des US-Satelliten SEASAT - aktiv 1978 für nur wenige Monate - wurden in Oakhanger UK empfangen und sind heute besonders aktuell im Hinblick auf den ersten europäischen Mikrowellensatelliten ERS-1 (Start 1989). Die Analyse der SEASAT Daten gibt Entscheidungshilfen für die Definition dieses ESA Projektes. SEASAT hat auch deutlich gezeigt, welche Probleme der enorme Datenfluß mit sich bringt. Heute benötigen wir zur Transskription und Verarbeitung einer 74km x 95km Szene, das sind genau 15 Sekunden Wegstrecke des Satelliten oder 1.5 Milliarden Informationseinheiten Rohdaten, immer noch rund 35 Stunden Rechenaufwand. Das Verhältnis der Datenraten Empfang/Verarbeitung ist somit 1:8400. Für das anzustrebende Ziel einer Verarbeitung in Echt- oder Nahe-Echtzeit, d.h. besser als 1:100, braucht es noch einige technische Anstrengungen. Von SEASAT SAR (Synthetic Aperture Radar) sind alle Aufnahmestreifen im Empfangsgebiet von Oakhanger optisch prozessiert worden. Digital verarbeitet liegen rund 700 Szenen vor, das entspricht weniger als 20% des registrierten SAR-Datenmaterials. Die Daten der anderen SEASAT-Sensoren Altimeter, Scatterometer, SMMR und VIRR sind in Rohform erhältlich.

Die SAR580 Flugzeugkampagne, durchgeführt zusammen mit dem JRC (Joint Research Centre der EG in Ispra), diente dem Studium der Radardaten für verschiedenste Bereiche in den Erdwissenschaften, der Ozeanographie und der Physik. Einige hundert Szenen sind über ganz Europa verteilt aufgenommen und optisch oder digital prozessiert worden. Sie sind heute nach Erscheinen des Schlußrapportes der Kampagne jedermann zugänglich.

Der Coastal Zone Color Scanner auf NIMBUS-7, mit rund 1km Bildelementgröße, wird immer noch von Maspalomas empfangen. Besonders nennenswert ist ein Projekt ausgeführt vom JCR, Ispra und EARTHNET in enger Kooperation mit Senegal, mit Hilfe der Satellitendaten die Fischgründe in der Region Dakar zu verfolgen.

Für die METRIC CAMERA ist EARTHNET, nachdem alle Investigatoren

des Experimentes bedient worden sind, vor allem ein Kontrapunkt für Information und Katalog. Bestellungen übernimmt jeweils die DFVLR.

EARTHNET - EIN NETZ VON VERTEILERZENTREN

In jedem ESA-Mitgliedland und in zugewandten Staaten hat EARTHNET Kontakt- und Beratungsstellen (NPOC - National Point of Contact) eingerichtet. Diese Stellen haben die Aufgabe, eine nationale Benützergemeinschaft aufzubauen und zu betreuen. Demonstrationsmaterial wird zum Teil von der ESA zur Verfügung gestellt, basiert aber hauptsächlich auf nationaler Initiative.

Erstrebenswert für einen NPOC ist ein Service, der auch die Herstellung spezieller Produkte (Bildverbesserung, Klassifikationen) und die Kundenbenützung eines Bildverarbeitungssystems beinhaltet. Ein gutes Fotolabor ist in diesem Zusammenhang ebenso wichtig wie der direkte Zugriff zum Landsat-Datenkatalog via Terminal (siehe unten). Für eine aktive Werbung sind die NPOCs auf allen möglichen Anwendungsgebieten gut dokumentiert und verfügen über eine Adresskartei von Experten mit Erfahrung in Spezialgebieten (Universitäten, Beratungsfirmen, Fotolabors, Druckereien). Die NPOCs nehmen Bestellungen auf nationaler Ebene entgegen, bedienen die Kunden direkt, falls das Datenmaterial sich im Archiv befindet, oder leiten die Bestellung an das EARTHNET weiter. Dieses avisiert die Empfangsstation der Daten und läßt das Produkt (Daten auf Magnetband, Film, Papier) herstellen. Die Auslieferung dieser sog. Standardprodukte erfolgt über den NPOC.

EARTHNET - DATENZUGRIFF

Für die experimentellen Missionen (HCMM, SEASAT, SAR580, NIMBUS-7, METRIC CAMERA) sind die vorhandenen Daten oder Szenen auf Computer-Listen in beliebiger Sortierung (nach Bildnummern, geographischen Koordinaten, etc.) beziehbar. Diese Listen werden auf Anfrage per Post verschickt. Auf Mikrofiches sind darüberhinaus erhältlich:

- Landsat-Quicklooks 1975 bis 1982.
- die 505 SEASAT-SAR Szenen 40km x 60km.
- die 992 METRIC CAMERA Szenen (Spacelab 1).

Der Katalog des operationellen Landsat-Systems muß demgegenüber häufig aufdatiert werden. Die 3 Empfangsstationen zusammen nehmen heute täglich über 250 Szenen auf Magnetbänder hoher Dichte auf - Datenrate für MSS ist 15 Mbps, für TM 85 Mbps. Die Aufnahmestreifen werden in Szenen zerlegt, nach dem "Track-Frame"-Numerierungssystem und als Quicklooks auf Film belichtet. Während dieses Vorganges werden die Szenen am Bildschirm ge-

zeigt und es wird eine Abschätzung der Wolkenbedeckung und eine allgemeine Beurteilung des Bildes (fehlende Daten, Kontrast) gemacht. Diese Angaben, zusammen mit "Track", "Frame", Datum, Koordinaten des Bildzentrums und Sonnenparameter, werden in den Katalog eingetragen. Der Katalog ist als "File" in die Datenbank des IRS (Information Retrieval Service) integriert und wird mittels eines Dialog-Systems abgefragt, das den Benutzer weitgehend leitet. Dieses sog. LEDA-file ist weltweit abrufbar über das öffentliche Telefon oder Datenübertragungsnetz.

Wie kommt man zu Daten? - Ein Beispiel:
Kreisforstmeister X interessiert sich für ein TM-Falschfarbenbild seines Waldgebietes zu einem bestimmten Zeitpunkt im Jahr 1984 und 1985. Er setzt sich telefonisch mit seinem NPOC in Verbindung. Unser NPOC fragt mittels Terminal rasch den Katalog (IRS-Computer im Esrin, Frascati) ab. Das Ergebnis des Suchlaufes kann unserem Förster gleich mitgeteilt werden. Man entscheidet sich, von zwei ausgewählten Daten die Quicklooks zu bestellen, weil das Gebiet zum Aufnahmezeitpunkt nicht ganz wolkenfrei war. Die Bestellung der Quicklooks erfolgt gleich während der Computer-Session, da im Katalog ein Bestellsystem integriert ist. Der Forstmeister wird nach 1 bis 2 Wochen die Quicklooks zur Hand haben und sich zum Kauf entscheiden. Bei der Wahl der Kombination der Spektralkanäle wird ihn nötigenfalls der NPOC beraten.

AUSBLICK

Im Rahmen der Entscheidung der US-Administration das Landsat System zu kommerzialisieren, ist auch von den ESA Delegierten der Wunsch ausgegangen in Europa Ähnliches anzustreben. Obschon kurzfristig eine solche Politik kostspieliger für die Kunden als auch für die ESA sein wird (erheblich gesteigerte Öffentlichkeitsarbeit, Investitionen für mehr Redundanz in den Produktionsketten), ist anzunehmen, daß nur so das technische Know-how in einer Weise gesteigert werden kann, Satellitenerderrkundung operationell zu betreiben. Damit schafft sich aber auch die ESA die Voraussetzung, über ERS-1 hinaus europäische Satelliten zu definieren und zu bauen, um sie später, ganz im Sinne der ESA-Konvention, der Privatwirtschaft weiterzugeben.

Datum der Fertigstellung: 2. Oktober 1985

S P O T
EIN NEUER ERDBEOBACHTUNGSSATELLIT
LOTHAR BECKEL
MARIE-LOUISEN-STRASSE 1A
4820 BAD ISCHL

Mit dem Start des französischen Erdbeobachtungssatelliten "SPOT", der Anfang des Jahres 1986 erfolgen soll, erhalten Wissenschaft und Praxis ein Instrument neuer Generation. Art und Qualität der zu erwartenden Satellitendaten werden sich wesentlich von den bisher zur Verfügung stehenden Aufnahmen unterscheiden: die geometrische Auflösung wird je nach Aufnahmeart 10 bis 20 m betragen und die Aufnahmen können quasi senkrecht oder schräg, mit einem Blickwinkel bis zu 27° nach Ost und West, hergestellt werden. Dadurch ergibt sich erstmals die Möglichkeit, ein aufzunehmendes Gebiet in kürzeren Intervallen als im Umlaufzyklus aufzunehmen. Als zweite große Neuerung bieten die Aufnahmen die Möglichkeit der Stereoauswertung.

Das Satellitensystem SPOT bringt jedoch nicht nur diese technischen und damit anwendungsbezogenen Neuerungen, sondern es leitet auch aus der bisher freien Nutzung der Erdbeobachtungsdaten aus dem Weltraum in die kommerzielle Praxis über. Das besagt, daß die Satellitendaten nicht mehr frei verfügbar sind. Sie sind mit einem Copyright belegt, und ihre Vervielfältigung und Verbreitung bzw. kommerzielle Nutzung, sei es als Kopie der Daten oder als Druckwerk, sind an eine Genehmigung des Datenherstellers und an die Zahlung einer Lizenzgebühr gebunden. Es wird damit eine Entwicklung eingeleitet, der sich auch das amerikanische Satellitensystem LANDSAT nicht entzieht. So wurde mit dem "Land Remote Sensing Act of 1984 (US Public Law 98-365)" verfügt, daß die Satellitendaten vom Käufer nur für den eigenen Bedarf genützt werden dürfen und vertraulich zu behandeln sind. Eine Reproduktion oder kommerzielle Nutzung bedarf einer besonderen Bewilligung. Am 27. September 1985 wurde das gesamte LANDSAT-System und der Vertrieb der Daten von der Firma EOSAT - Earth Observation Satellite Company - übernommen, welche die Kommerzialisierung des Systems unter den genannten Bedingungen durchführen wird.

DAS SPOT - SYSTEM

Das SPOT-Programm ist ein Gemeinschaftsprojekt von Frankreich, Belgien und Schweden. Es wird vom französischen Raumforschungszentrum Centre National d'Etudes Spatiales "CNES" in Toulouse geleitet. Für den Betrieb der Satelliten und die Verteilung bzw. Verwertung der Daten wurde die Firma SPOT IMAGE, Toulouse, gegründet.

Der Empfang der Daten erfolgt vorläufig über Bodenstationen in Frankreich, Schweden (von SAT IMAGE betrieben), Kanada und Bangladesch. Weitere Stationen sind in Planung. Die Daten werden entweder direkt übertragen, solange sich der Satellit im Sichtbereich einer Empfangsstation befindet, oder sie werden gespeichert und nach Eintritt in einen Empfangsbereich abgerufen.

Der Vertrieb der Daten erfolgt über nationale Kontaktstellen, die "Authorized Distributors", in den einzelnen Ländern. Bisher wurden in über 40 Staaten entsprechende Verträge abgeschlossen. Damit ist ein operationeller und kommerzieller Vertrieb sichergestellt. In den USA hat SPOT IMAGE eine eigene Gesellschaft mit Sitz in Washington D.C. gegründet.

Aufgabe der nationalen Kontaktstellen ist es, entsprechende Marktbearbeitung und Werbung durchzuführen, Kunden zu beraten, Aufträge für die Aufnahmen bzw. die Lieferung von Satellitendaten anzunehmen und an SPOT IMAGE weiterzuleiten, die Daten an die Kunden auszuliefern und Nutzer, die nicht über eigene Bildverarbeitungsmöglichkeiten verfügen, in der Auswertung der Daten zu unterstützen.

DIE SATELLITEN

Der erste Satellit von SPOT wird voraussichtlich Anfang des Jahres 1986 von Kourou, Französisch-Guayana, gestartet. 60 bis 90 Tage nach seinem Start ist mit den ersten Daten zu rechnen. Damit soll gleichzeitig der operationelle Betrieb beginnen. SPOT 2, der von der technischen Ausrüstung her mit SPOT 1 identisch ist, soll 1988 folgen. Um die Kontinuität des Systems zu sichern, wurde auch der Bau von SPOT 3 und 4 beschlossen, die 1990 bzw. 1994 gestartet werden sollen und eine Datenerlieferung bis zum Jahre 1998 sicherstellen werden. Für diese beiden Satelliten ist jedoch eine verbesserte und erweiterte Ausrüstung vorgesehen.

SPOT wird die Erde in einer polnahen, sonnensynchronen Umlaufbahn, mit einer Genauigkeit von ± 15 Minuten und einer max. Seitenabweichung von ± 5 km, in einer Höhe von 832 km bei einer Inklination von $98,7^\circ$ umkreisen. Er wird den Äquator jeweils um 10.39 h überqueren, der Überflug Österreichs findet ca. um 11.20 h statt. Der Umlaufzyklus beträgt 26 Tage.

DIE SENSOREN

SPOT 1 und 2 besitzen jeder 2 nebeneinander angeordnete, idente Sensorsysteme (HVR - high resolution visible), die parallel geschaltet oder unabhängig von einander benützt werden können.

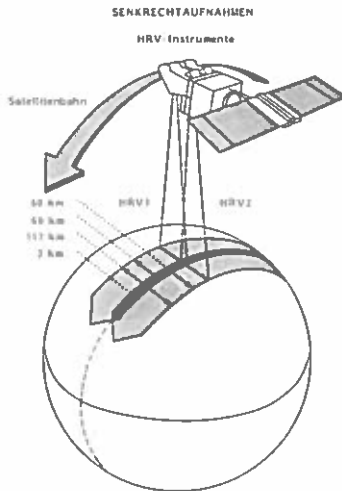


Abb. 1

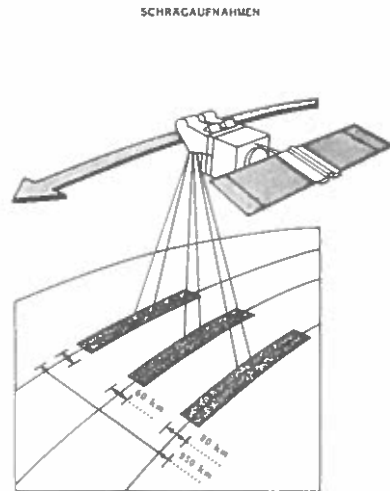


Abb. 2

Parallelbetrieb der Sensoren Schrägaufnahmen im Einzelbetrieb

Im Gegensatz zu den bisher eingesetzten Sensoren der LANDSAT-Serie arbeiten sie nicht opto-mechanisch sondern opto-elektronisch, mit 6.000 linear angeordneten Detektoren (CCD - charge coupled device), die quer zur Flugrichtung gleichzeitig die gesamte Linie aufnehmen. Jeder dieser Sensoren hat eine Aufnahmebreite von nominell 60 km und kann in 45 Schritten zu $0,6^\circ$ bis zu 27° von der Vertikalen seitlich ausgeschwenkt werden.

Für die Stereoaufnahmen ergibt sich bei einem Blickwinkel von 27° ein Breiten- zu Höhenverhältnis von 1:1.

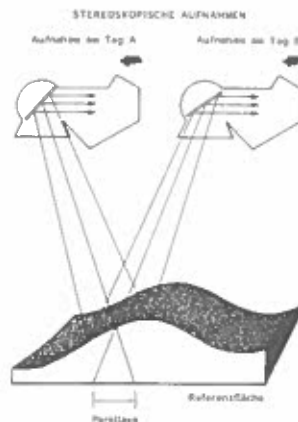


Abb. 3

Stereoaufnahmen

Bei senkrechter Parallelschaltung ergibt sich eine Aufnahmebreite von 117 km, mit 3 km Überdeckung. Die einzelnen Szenen der Sensoren werden in Bilder mit einer Flächendeckung von 60 x 60 km zerlegt. Bei einer Ausschwenkung des Sensors von 27° ergibt sich allerdings durch die Schrägaufnahme eine Bildbreite von 85 km. Der Beobachtungswinkel bei max. Ausstellung beträgt durch die Erdkrümmung 33°, gemessen von der Vertikalen.

Durch die Schwenkbarkeit der Sensoren erhält man nicht nur die erwähnten Schrägaufnahmen zur stereoskopischen Auswertung sondern auch die Möglichkeit, innerhalb eines 475 km breiten Streifens beiderseits der Flugbahn (Gesamtbreite also 950 km) Aufnahmen zu machen, wodurch die Wiederholungsrate bei den Aufnahmen je nach Position des Satelliten in Bezug auf den Breitengrad beträchtlich ansteigt. Bei den bisher üblichen Senkrechtaufnahmen blieb der Beobachtungsraum auf das Gebiet unter der jeweiligen Position beschränkt. Eine Fläche am Äquator kann nun innerhalb des 26-Tage-Umlaufzyklus des Satelliten insgesamt siebenmal aufgenommen werden, ein zu beobachtendes Gebiet am 45. Breitengrad bis zu elfmal, d.h. daß dasselbe Gebiet innerhalb eines Jahres in diesen Breiten 145mal aufgenommen werden kann, wobei sich polwärts eine zunehmende und je nach Blickrichtung unterschiedliche Verzerrung der Aufnahmen ergibt.

Wie hinlänglich bekannt, sind die beim herkömmlichen LANDSAT-System erzielbaren wolkenfreien Aufnahmen humider Zonen der Erde wegen der häufigen Wolkenbedeckung sehr selten. Nunmehr ergibt sich besonders für Mitteleuropa, aber auch für den tropischen Raum erstmals die Möglichkeit einer optimalen Ausnützung des Erdbeobachtungsgerätes, wenn man von den derzeit allerdings noch nicht operationell verfügbaren Mikrowellen-Satelliten mit ihren lichtunabhängigen Allwetteraufnahmegeräten absieht. Der erste diesbezügliche Satellit ERS 1, der operationellen Zwecken dienen soll, wird Ende der 80-er Jahre von der Europäischen Raumfahrt Organisation ESA gestartet.

Mit dem Push-Broom-Scanner von SPOT können wahlweise panchromatische oder multispektrale Aufnahmen hergestellt werden. Die Aufnahmen im panchromatischen Aufnahmemodus (P-Mode) erfolgen in einem Spektralbereich von 0,51 µm bis 0,73 µm, wobei das Meßfeld auf der Erde 10 x 10 m beträgt. Dies ergibt bei einer Aufnahmebreite von 60 km 6.000 Pixel pro Linie. Die multispektralen Aufnahmen (XS-Mode) werden in den spektralen Bändern grün mit 0,50 - 0,59 µm, rot 0,61 - 0,68 µm und nahes Infrarot mit 0,79 - 0,89 µm hergestellt. Die Meßfläche am Boden beträgt hier 20 x 20 m, wodurch sich 3.000 Pixel pro Linie ergeben. Die Datenmenge beträgt je nach Aufnahmewinkel und Modus beim P-Mode 36 - 100 MByte, und beim XS-Mode 27 - 76,5 MByte.

SPOT 3 und 4 werden geänderte Sensoren erhalten. Der panchromatische Modus wird auf eine Wellenlänge von 0,61 - 0,68 µm verlegt, der multispektrale Modus erhält eine Auflösung von 10 m und wird um einen Infrarot-Kanal, im Bereich von 1,5 - 1,7 µm, mit einer Auflösung von 20 m erweitert.

Zusätzlich ist für alle vier Spektralbereiche ein Weitwinkel-
 aufnahmesystem vorgesehen, das auf der Erde einen 2.000 km
 breiten Streifen mit einer Auflösung von 1 km aufnimmt, und
 über ein Speichersystem täglich eine volle Flächendeckung der
 Erde liefert. Die Daten davon können von den einzelnen Nutzern
 direkt empfangen werden. Sie sollen besonders biologischen und
 ökologischen Untersuchungen und Arbeiten dienen.

SPOT - PRODUKTE

Die SPOT-Daten können von den Kunden entweder als Magnetband-
 daten oder als photographische Produkte bezogen werden. Die
 Magnetbänder weisen eine Dichte von 1600 bpi oder 6250 bpi und
 eine Kapazität von 32 MByte auf. Die photographischen Produkte
 sind im P-Mode als S-W-Bilder bzw. -Filme und im XS-Mode eben-
 falls als Papierbilder oder Filme in schwarz-weiß für die ein-
 zelnen Kanäle oder als Farbkompositenbilder aller Spektral-
 bereiche erhältlich. Die angebotenen Maßstäbe sind 1:50 000,
 1:100 000, 1:200 000, 1:250 000 und 1:400 000. Das Papier- bzw.
 Bildformat ist aufgrund der starken Verzerrung der Bilder
 jedoch wesentlich größer als die Szene selbst, da die Bilder
 stets nord-orientiert geliefert werden.

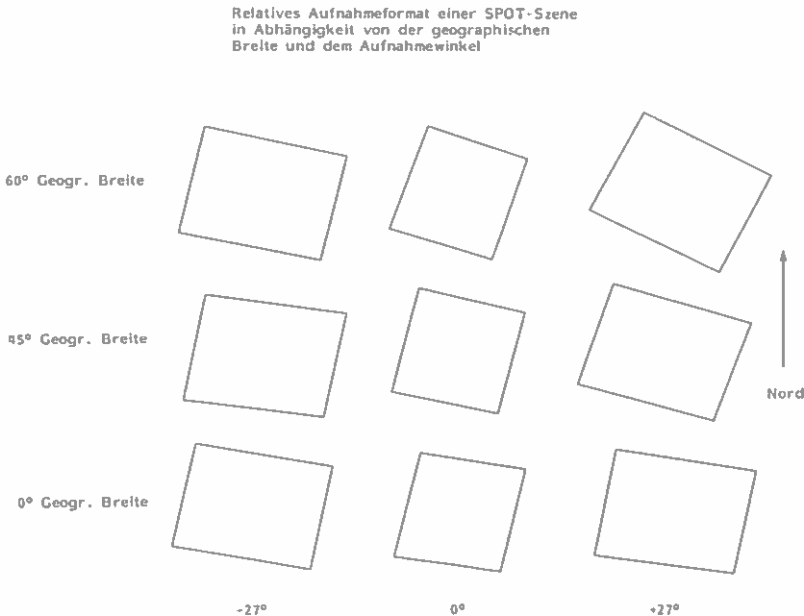


Abb. 4
 Abgebildete Flächen in Abhängigkeit der
 Geographischen Breite

DIE VERARBEITUNGSSTUFEN DER SPOT-DATEN

- Die Daten werden von SPOT auf Wunsch vorverarbeitet, insgesamt stehen sie in 4 verschiedenen Verarbeitungsstufen zur Verfügung:
- Stufe 1A - Rohdaten, bei denen lediglich durch das System notwendige Korrekturen erfolgen. Radiometrische oder geometrische Korrekturen werden nicht durchgeführt. Auch eine Interbandkalibrierung erfolgt nicht.
 - Stufe 1B - Daten dieser Stufe werden mit radiometrischen und geometrischen Systemkorrekturen geliefert. Die Lagegenauigkeit der Pixel auf der Erdoberfläche beträgt 1500 m, bei einem relativen Fehler von 10^{-2} für die vertikale Komponente.
 - Stufe 2 - Hier erfolgt neben der radiometrischen Korrektur nach Stufe 1B eine geometrische Anpassung an eine gewünschte kartographische Projektion, z.B. an das Gauß-Krüger-Netz mit 6 - 9 Kontrollpunkten je Szene. Die Lagegenauigkeit der Höhenpunkte beträgt 50 m bei einem Höhenunterschied unter 900 m.
 - Stufe S - Eine Spezialkorrektur, die auf Landmarken bezogen wird, um eine SPOT-Szene einer zweiten Szene desselben Gebietes mit einer Genauigkeit von 0,5 Pixel anzupassen. Dies ist notwendig, um die Daten verschiedener Zeiträume für die Auswertung zu kombinieren.

DATENKATALOG

SPOT IMAGE legt einen Katalog an, der als zentrales Informationssystem folgende Angaben über sämtliche weltweit aufgenommenen Daten enthält: Szenennummer, geographische Koordinaten, spektrale Daten, XS-, P- oder XS- und P-Mode, Aufnahmewinkel, Aufnahmekonfiguration (Parallelaufnahme, Schrägaufnahme), Aufnahmedatum, Qualität, Wolkenbedeckung und bisher erfolgte Vorverarbeitung. Der Zugriff zu dieser Datenbank kann entweder direkt oder über die nationale Kontaktstelle erfolgen, wobei zwischen einer von Fall-zu-Fall-Bestellung oder einer Subskription der Kataloginformationen zu unterscheiden ist. Der Zugang zum Katalog ist über Telefon, Telex oder über Datenübertragungssysteme möglich.

Die Satellitendaten sind nach einem Gitternetz abgelegt, das für Österreich nachstehend dargestellt ist.

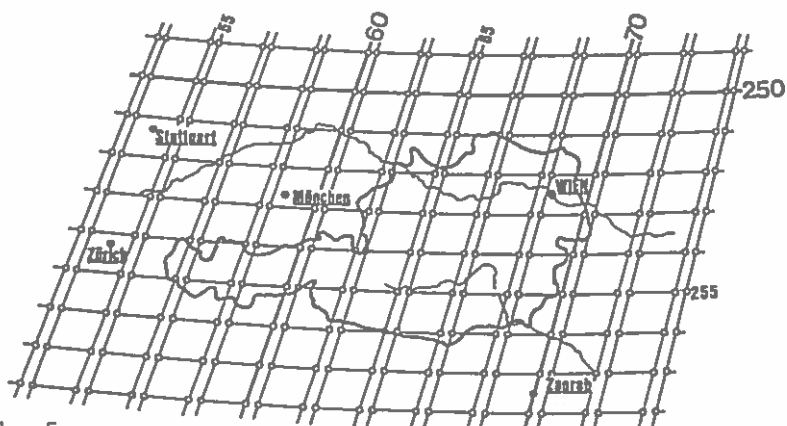


Abb. 5
Gitternetz zur Bestellung von SPOT-Daten

Durch die Schwenkbarkeit des Aufnahmesystems ist das Gitter komplizierter als bisher bei LANDSAT, da es nicht mehr den Flugbahnen des Satelliten sondern den festgelegten Aufnahme-streifen bzw. den Referenzbahnen entspricht. Durch das Vor-handensein zweier, nebeneinanderliegender Sensoren ergeben sich aus den 369 Umläufen im 26-Tage-Zyklus (bis zur Wiederholung der ersten Flugbahn) 738 Aufnahmebahnen, die in Bildreihen unterteilt sind. Um ein zu starkes Überschneiden der Bahnen bei zunehmender nördlicher und südlicher Breite zu vermeiden, wurde die Erde in 5 Zonen - je eine nördliche und südliche Polarzone, eine nördliche und südliche mittlere Zone und eine Äquatorial-zone, die allerdings bis 51,55° Breite reicht, - eingeteilt, von denen nur die Äquatoriale Zone sämtliche Referenzbahnen enthält. Der Abstand der Bahnen am Äquator beträgt 108,6 km. Zu den Polen hin werden Bahnen ausgespart und die zugehörigen Nummern übersprungen.

Die Bestellung der Daten kann entweder nach den sich auf Referenzbahnen und -reihen ergebenden Referenzpunkten erfolgen (für Wien z.B. 69 - 252) oder über Angabe der Koordinaten eines ge-wünschten Polygonzuges. Sind die gewünschten Satellitendaten im Archiv von SPOT IMAGE nicht verfügbar, so können sie über einen besonderen Servicedienst nach den Kundenwünschen aufge-nommen werden. Die Vorbestellzeit beträgt mindestens 6 Tage, lediglich in Ausnahmefällen, z.B. bei Katastrophen, kann die Aufnahme auch in einer kürzeren Zeit erfolgen.

Für 1986 bietet SPOT als Sonderkondition eine Option auf Daten an, die besagt, daß Bestellungen, die vor dem Start des Satel-liten für das Jahr 1986 aufgegeben wurden, unverbindlich ange-fertigt werden, wobei der Kunde erst nach Vorliegen der Quick Looks zu entscheiden hat, ob er die Daten übernehmen will oder nicht.

Für Bestellungen nach dem Start gibt es diese Kondition nicht mehr. Später erteilte Aufträge sind, wenn die Daten den vereinbarten Anforderungen hinsichtlich Qualität, Zeitraum und Wolkenbedeckung entsprechen, auf jeden Fall zu übernehmen.

COPYRIGHT

Wie eingangs erwähnt sind sämtliche SPOT-Daten mit einem Copyright belegt, d.h., daß sie nicht mehr frei weitergegeben oder mit anderen Interessenten ausgetauscht bzw. publiziert werden dürfen. Da der Nutzen je nach Weiterverarbeitung der Daten durch den Kunden unterschiedlich ist, wurde das Copyright jedoch in 3 Klassen eingeteilt:

- Klasse 1 - volles Copyright für Originaldaten oder verarbeitete Daten durch Zugabe externer Informationen, die jedoch das Original in seiner Struktur noch erkennen lassen; z.B. Verarbeitungsstufe 2, S und andere.
- Klasse 2 - halbes Copyright für verarbeitete Daten durch Zugabe externer Informationen und kreativer Veränderungen, wobei das Produkt jedoch noch immer die Pixel-Struktur aufweist; z.B. Photos, Bildpläne, Poster, Klassifizierungen, Datenkombinationen, Mosaik, etc. Die Gebühr wird dabei mit 50% der Klasse 1 angesetzt.
- Klasse 3 - gebührenfrei, wenn die Originalstruktur und die Pixel nicht mehr erkennbar sind, d.h. wenn es sich z.B. um kartographische Umwandlungen, wie sie zur Herstellung einer kartographischen Karte oder einer angewandten Karte vorgenommen werden, handelt.

ZUSAMMENFASSUNG

In kurzer Zeit steht Nutzanzwendern von Satellitendaten das neue französische Erdbeobachtungssystem SPOT zur Verfügung. SPOT-Daten unterscheiden sich von bisher vorliegenden Satellitendaten durch eine höhere Auflösung und die Möglichkeit der Stereobetrachtung. Neben Archivdaten können kurzfristig nach Kundenwunsch hergestellte Aufnahmen bezogen werden. Da es sich bei SPOT um das erste, kommerzielle Erdbeobachtungssystem handelt, sind alle Daten mit einem Copyright belegt.

PROBLEMATIK DER WALDSCHÄDEN

J. POLLANSCHÜTZ

Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien

Einleitung

Aus der Vielfalt von Fragen rund um die Diagnose und Erfassung von Waldschäden sollen im Rahmen dieses Kurzreferates nur einige wenige Probleme oder Aspekte herausgegriffen und skizziert werden, die bei terrestrischen Waldzustands- bzw. Schadensinventuren ebenso von Bedeutung sind, wie bei Luftbildinventuren, die ja letztlich ohne ein Mindestmaß terrestrisch ermittelter Referenz- oder Basisdaten keine brauchbaren Ergebnisse liefern können.

Sichtbare und unsichtbare Schädigungen

Zunächst ist da einmal die Frage der sichtbaren und der nicht sichtbaren Schädigungen zu erörtern. Kein Zweifel über das Vorhandensein und den Grad einer Schädigung von Waldbäumen gibt es dann, wenn es sich um grobe mechanische Schädigungen handelt, so etwa um Stammverletzungen, die bei der Holzernte und Holzlieferung oder durch Steinschlag verursacht worden sind. Ähnlich verhält es sich mit den durch Sturm und/oder Naßschnee verursachten Kronenbrüchen, Schaftbrüchen und geworfenen Bäumen. Nicht mehr ohne weiteres feststellbar sind nun aber beschädigte und abgebrochene Feinwurzeln, die infolge der Sturmeinwirkung bei Überforderung ihrer Fähigkeit zur Dehnung zu Schaden gekommen sind. Das hat, wie leicht einzusehen ist, nachfolgend nun aber fatale Folgen für die Wasser- und Nährstoffversorgung der oberirdischen Organe des Baumes. Zunächst geraten eine Vielzahl physiologischer Prozesse in Unordnung, die bestenfalls in einer verminderten Zuwachseleistung, schlimmerenfalls aber im Laufe der Zeit zu einem Kränkeln oder Kranksein führen, das in Nadelverfärbungen und Nadelverlusten bei Koniferen erst relativ spät, also erst in einem fortgeschrittenem Stadium einen sichtbaren Ausdruck findet. Sehr ähnlich verhält es sich mit der Entwicklung von Stamm- und Wurzelfäule als Folge von Stamm- oder Wurzelverletzungen, die als schwere Krankheiten im Endstadium zu Nadelvergilbungen und zum Absterben des Baumes führen können.

Eine andere Art von Schädigungen, die bei genauerem Hinsehen und Untersuchen für den Spezialisten der Forstpathologie und des Forstschatzes nicht verborgen bleibt, sind Verluste an feinen Seitenzweigen, die durch Sturmeinwirkung, Eisanhang und Hagelschlag entstehen und bei starkem Schädigungsgrad in einer allgemeinen oder unregelmäßigen Kronenverlichtung zum Ausdruck kommen können. Die durch Hagelschlag verursachten Quetschungen der Rinde und Zerstörungen des Kambiums von Ästen und Zweigen können partiell Verfärbungen etwa bei älteren Fichtennadeln beschädigter Zweige wegen Unterversorgung mit Nährstoffen verursachen.

Bald sichtbar werden im allgemeinen akute Schädigungen der Assimilationsorgane, so der Nadeln der Fichten, Tannen und Kiefern, wenn sie etwa noch nicht entsprechend auf die winterliche Ruhepause vorbereitet von einem Frühfrost überrascht werden oder etliche Wochen nach ihrem Austreiben im Frühjahr Opfer eines Spätfrostes werden und sich infolgedessen rotbraun oder braun verfärben. Eine Disposition zu derartigen akuten Frostschäden kann durch eine erfolgte Schwächung des Organismus Baum infolge vorausgegangener Dürreperioden eintreten, oder was heute in zahlreichen lokalen und regionalen Bereichen leider festzustellen ist, durch eine latente oder chronische Schädigung der Assimilationsorgane bewirkt werden, die durch Einwirkung verschiedener Arten oder Mischungen von Luftverunreinigungen entstanden sind.

Die akuten und meist auch die chronischen Erkrankungen oder Schädigungen können wir am äußeren Erscheinungsbild der Pflanzen, bei Bäumen an ihren Blättern, Nadeln und an der veränderten Kronenstruktur erkennen. Latente Schädigungen, die vom bloßen Auge nicht wahrgenommen werden können, lassen sich aber in so manchen Fällen nur durch mikroskopisch erkennbare Veränderungen von Zellstrukturen und/oder in einer meßbaren Minderung physiologischer Prozesse und folglich auch im Zuwachs, so an den Jahrringbreiten, durch Vergleichsuntersuchungen nachweisen. Ob es nun etwa bei einem nachgewiesenen Vorhandensein von Luftverunreinigungen zu akuten Schädigungen kommt, oder zu chronischen oder nur zu latenten, hängt sehr wesentlich von der Beziehung zwischen Dosis und Wirkung im Zusammenspiel mit verschiedenen Standorts- und Umweltbedingungen ab. Diese Frage weiter zu verfolgen ist keinesfalls Gegenstand dieses Symposiums, uns interessieren hier die sichtbaren Veränderungen infolge von Immissionseinwirkungen und als Folge anderer Schadursachen.

Äußere Veränderungen, d.h. mehr oder minder ausgeprägte sichtbare Folgen etwa von Immissionseinwirkungen an Pflanzenteilen bzw. am Habitus der Gesamtpflanze sind:

- * Verschmutzung
- * Verfärbung, Verätzung und Nekrosen
- * vorzeitiger Abfall der Blätter bzw. Nadeln
- * Wachstumsdepression, die sich auch in verminderten Blatt- oder Triebblängen manifestieren.

Diese Symptome respektive ihre Sichtbarkeit erlaubt es, einen raschen Überblick über ein Immissionsschadensgebiet zu erhalten, dies selbstverständlich nach erfolgtem Nachweis der Immissionseinwirkung durch chemische Luft- und/oder Pflanzenanalysen (oder nach dem Nachweis einer anderen Schadursache). Der forstwirtschaftlich ebenso wichtige Bereich der latenten Schädigungen wird mit derartigen terrestrischen oder luftbildgestützten Übersichtskartierungen aber leider nicht erfaßt.

Eine Waldzustands- oder Waldschadensinventur, egal ob alleine terrestrisch oder luftbildgestützt kann nur jenen Bereich erfassen, bei dem es zur Entstehung von sichtbaren Schadensmerkmalen kommt, wobei den Veränderungen im Bereich der Baumkrone größte Bedeutung zukommt, wenn es sich um eine Luftbildinventur handelt.

Schadssymptome sind leider unspezifisch

Ein Umstand, der weniger für eine Waldschadensinventur aber vielmehr für die Differentialdiagnose von großer Bedeutung ist, soll hier nicht unerwähnt bleiben. Es ist für Spezialisten der forstlichen Immissionskunde und der Forstpathologie eine unumstößliche Tatsache, daß die alleinige Kenntnis der makroskopischen Schädigungssymptomatik leider keine Zuordnung eines bestimmten Schadbildes zu einer bestimmten Art von Luftverunreinigung bzw. Schadgas oder Agens gestattet. Sowohl die Verfärbung von Blatt- oder Nadelteilen oder ganzer Assimilationsorgane als auch

die Schadmuster stimmen weitgehend überein, wenn akute oder chronische Schädigungen durch Schwefeldioxid oder durch gasförmige Fluorverbindungen, oder durch vergleichsweise hohe Konzentrationen des Stickstoffdioxid oder durch Ozon oder durch bestimmte Photooxidantien verursacht worden sind. Was sie unterscheidet ist nur die Dosis und Wirkungsdauer, die zu gleichen oder verwechselbaren Symptomen führen. So reichen etwa gleich niedrige Konzentrationen aber etwas unterschiedliche Einwirkungszeiten aus, daß Schwefeldioxid oder Ozon oder Peroxiazetylnitrat vergleichbare Schadbilder verursachen, aber bei Fluorwasserstoff genügt dazu bereits ein Hundertstel der Konzentration bei gleicher Einwirkungsdauer wie von Schwefeldioxid. Bei Stickstoffdioxid bedarf es dagegen einer mehrfachen Konzentration, um die gleiche Auswirkung zu erzielen. All dies sei hier nur angedeutet und am Rande vermerkt.

Betrüblich für den Forstfachmann und Waldschadensspezialisten und enttäuschend für den Laien ist es, daß den sichtbaren Symptomen ein sehr schwerer Nachteil anhaftet. Sie sind also einerseits nicht schadstoffspezifisch und zu allem Überdruß andererseits auch noch unspezifisch und in vielen Fällen nicht nur auf Luftverunreinigungen, sondern auch auf andere abiotische und biotische Ursachen, wie z.B. Dürre bzw. Trockenheit, Frost, Hagelschlag, Schütteipilzinfektionen, Wurzelfäule, Befall durch Schadinsekten usw. zurückzuführen. Es ist daher unumgänglich notwendig, mit Hilfe von Nadelanalysen, Luftanalysen sowie Niederschlagsanalysen und Verfahren der Bioindikation den Einwirkungsnachweis für bestimmte Luftverunreinigungen zu erbringen, wenn man diese als primäre Schadverursacher ansieht. Die durch verschiedene abiotische und biotische Schadfaktoren bedingten Schadsymptome lassen sich also leider nicht ohne weiteres von jenen trennen, die durch Luftverunreinigungen verursacht worden sind. Für die Differentialdiagnose und den Ursachennachweis bedarf es somit spezifischer Untersuchungen und Analysen sowohl hinsichtlich der Luftverunreinigungen als auch aller anderen möglichen Schadursachen.

Schätzung und subjektive Einflüsse

Gestatten Sie mir bitte nun noch Hinweise auf zwei Problemgruppen, die bei der Durchführung und Interpretation der Ergebnisse von Waldschadensinventuren gebührend beachtet werden sollten.

Da ist zunächst einmal der Umstand zu beachten, daß es sich bei der Erhebung der ausschlaggebenden Kronenmerkmale, so der Verlichtungsstufe bzw. des Nadel- oder Blattverlustprozentes, um eine visuelle Schätzung und leider nicht um eine Messung, wie etwa der Baumhöhe oder des Baumdurchmessers mit Hilfe eines Präzisionsinstrumentes handelt. Jede Art von Schätzung hat nun aber den Nachteil, daß sie je nach persönlicher Einstellung des Taxators, je nach Anschauung und auch Tagesverfassung nicht vollkommen frei von subjektiven Einflüssen sein kann. Es ist also mit gewissen systematischen Abweichungen zwischen den Taxatoren und den einzelnen Erhebungsteams zu rechnen. Selbst dann bleiben unvermeidliche Unterschiede der Ansprache bzw. Beurteilung der Kronenmerkmale zwischen den Erhebern erhalten, wenn man den Spielraum für eine unterschiedliche Auslegung der in einer Instruktion illustriert und schriftlich festgehaltenen Ansprachekriterien durch intensives gemeinsames Aufnahmetraining aller Taxatoren und durch periodische Überprüfungen durch Koordinatoren möglichst einengt.

Im Anschluß an das gemeinsame Aufnahmetraining für die diesjährigen Erhebungen der Österreichischen Waldzustandsinventur 1985, haben wir von 71 Taxatoren unabhängig voneinander je 100 Fichten-Probeebäume verteilt auf mehrere Teilstichproben taxieren lassen und die "durchschnittlichen Verlichtungsgrade" für bestimmte Gruppen von Probeebäumen zu je 30 Stück berechnet, und innerhalb sowie zwischen drei Personengruppen verglichen. Zwischen diesen Personengruppen ergaben sich gemessen am Mittelwert für die gebildeten Probebaumgruppen keine signifikanten Unterschiede,

aber innerhalb der drei Personengruppen differierten die ermittelten "durchschnittlichen Verlichtungsgrade" für die Baumgruppen zu je 30 Bäume jeweils um 0,5 Einheiten, also um eine halbe Verlichtungsstufe zwischen den "Optimisten" und den "Pessimisten", wobei die Skala von 1,0 = dichte und normale Benadelung bis 5,0 = abgestorbene Krone ohne Nadeln gereicht hat.

Dieser Unterschied von einer halben Verlichtungsstufe ist relativ groß, wenn man bedenkt, daß der natürliche Übergangsbereich zwischen den im normalen Rahmen liegenden Benadelungsdichten eines Bestandes und den als schwach verlichtet zu bezeichnenden Beständen nur mit 0,3 Einheiten des "durchschnittlichen Verlichtungsgrades" veranschlagt werden sollte. Würde man einen bestimmten Bereich einmal von den "Optimisten" und einmal von den "Pessimisten" bearbeiten lassen, dann wäre es bestimmt kein Zufall, wenn die ermittelten "durchschnittlichen Verlichtungsgrade" der taxierten Baumarten um eine halbe Verlichtungsstufe oder gar mehr differieren würden. Durch eine entsprechende Arbeitsverteilung zwischen den 34 Erhebungsteams innerhalb der regionalen Befundeinheiten, haben wir bei den Erhebungen im Sommer 1985 vorgesorgt, daß nicht ein Gebiet zu optimistisch und ein anderes zu pessimistisch taxiert wurde.

Durchschnittlicher Verlichtungsgrad eines Waldbestandes

Der "durchschnittliche Verlichtungsgrad" der 30 herrschenden Probebäume einer Indikatorbaumart im Bereich einer Dauerbeobachtungsfläche kann als "Index" verstanden werden, der den durchschnittlichen "Gesundheitszustand" bzw. den "Krankheits- oder Schädigungsgrad" der untersuchten Bäume des Untersuchungsbestandes anzeigt. Den "durchschnittlichen Verlichtungsgrad" einer Probestfläche bzw. eines Untersuchungsbestandes kann man als "Bestandesindex" betrachten, und zum Zwecke der Klassifizierung der Bestände eines Gebietes bestimmte Verlichtungskategorien bilden. Es werden hierbei die "durchschnittlichen Verlichtungsgrade" innerhalb bestimmter Rahmenwerte zusammengefaßt. Ein Beispiel dafür zeigt die nachstehende Übersicht.

Die 1. Kategorien bilden gemäß der in der Übersicht angeführten Klassifizierung Waldbestände, in denen der Anteil der nur schwach verlichteten Baumkronen eindeutig innerhalb des natürlichen Rahmens liegt, wenn man von seltenen Ausnahmen absieht. Dazu ist nun folgendes ergänzend zu bemerken:

1. Kronenverlichtungen sind nicht in allen Fällen gleichbedeutend mit einer Schädigung und vital aussehende Bäume müssen nicht unbedingt gesund sein und
2. untersucht man eine Population, seien es Menschen, Tiere oder Pflanzen einer bestimmten Region, eines bestimmten Gebietes hinsichtlich der Gesundheitsstruktur, dann findet man im Normalfall sehr viele gesunde, wenige kränkelnde, einige kranke, einzelne sehr kranke Individuen und einzelne knapp vor dem Zeitpunkt der Erhebung gestorbene Individuen.

Ordnet man jedem im Rahmen einer Stichprobennahme untersuchten Individuum seinem Gesundheitszustand entsprechend, die Kennziffern 1 bis 5 zu und berechnet man (zum Schrecken von Mathematikern und Biometrikern) eine durchschnittliche "Gesundheitsziffer" als Schätzwert für die Population, dann wird dieser Mittelwert bei einer normalen, also "gesunden" Population zwischen 1,00 und 1,50 zu finden sein. War eine Krankheitswelle unmittelbar vorausgegangen oder ist zum Zeitpunkt der Erhebung gerade eine Epidemie im Gange, dann wird diese "Gesundheitsziffer" eine deutliche Verschiebung in Richtung 2,00 oder auch darüber hinaus erfahren haben; sie wurde damit zum "Krankheitsanzeiger".

Verlichtungs- kategorie der Waldbestände	Rahmenwerte des "durchschnittlichen Verlichtungsgrades" (aller Einzelbäume eines Bestandes)	Klassifizierung und Aussagemöglichkeiten
1	1,00 - 1,20	Der Anteil der überwiegend nur schwach verlichteten Baumkronen eines Waldbestandes liegt meist eindeutig innerhalb des natürlichen Rahmens (von seltenen Ausnahmen abgesehen).
2	1,21 - 1,50	Natürlicher Übergangsbereich; je nach Standortsgüte (Wasserhaushalt und Nährstoffversorgung) und je nach Witterungsverlauf in den vorausgegangenen Jahren ist ein "durchschnittlicher Verlichtungsgrad" eines Waldbestandes auch noch nahe dem oberen Rahmenwert als "normal" zu werten.
3	1,51 - 2,00	Es liegt eine über das normale Maß hinausgehende, durchschnittlich schwache Verlichtung der Baumkronen eines Waldbestandes infolge der Einwirkung abiotischer oder biotischer Schadfaktoren vor. (Nach einer Beendigung des negativen Einflusses ist bei den allermeisten Bäumen eine Erholung innerhalb von 2 - 3 Jahren zu verzeichnen).
4	2,01 - 2,80	Es liegt im Bestandesdurchschnitt eine mittlere Verlichtung vor. (Nach Abschluß des gesundheitsschädigenden Einflusses ist, von wenigen Ausnahmen abgesehen, eine Erholung der Bäume in wenigen Jahren - etwa in 3 bis 6 Jahren - möglich).
5	2,81 - 3,90	Der Waldbestand weist im Durchschnitt eine starke Verlichtung auf. (Nach der eventuellen Einstellung der Schadwirkung ist nur mehr bei einem Teil der Bäume eine Erholung innerhalb von etwa 5 - 10 Jahren möglich).
6	3,91 - 5,00	Ein Waldbestand, der einen "durchschnittlichen Verlichtungsgrad" um 4,00 aufweist, ist im allgemeinen - auch nach Beendigung einer Schadeinwirkung - nicht mehr zu retten! Es ist nur eine Frage der Zeit - meist von nur wenigen Jahren - bis alle Bäume die Kronenverlichtungsstufe 5 (= abgestorbene Krone) erreicht haben und der Waldbestand als Ganzes abgestorben ist.

Bei Waldbeständen liegt eine über das normale Maß eindeutig hinausgehende, durchschnittliche schwache Verlichtung infolge einer Einwirkung abiotischer oder

biotischer Schadfaktoren dann vor, wenn der "durchschnittliche Verlichtungsgrad" den Wert von 1,50 überschreitet. Der Bereich von 1,21 bis 1,50 ist dagegen als natürlicher Übergangsbereich anzusehen, wobei je nach Standortsgüte und je nach Witterungsverlauf in den vorausgegangenen Jahren ein "durchschnittlicher Verlichtungsgrad" auch noch nahe dem oberen Rahmenwert dieser Kategorie als "normal" zu werten ist.

Die Klassifizierung der einzelnen Dauerbeobachtungsflächen einer Waldzustandsinventur nach den Verlichtungskategorien 1 bis 6 und die Feststellung der Anteile der Probestände (bzw. Untersuchungsbestände) der einzelnen Verlichtungskategorien innerhalb einer bestimmten regionalen Befundeinheit kann die Basis für eine näherungsweise Schätzung der von Waldschädigungen und/oder Waldkrankheiten betroffenen Fläche dienen.

Terrestrische und luftbildgestützte Inventuren

Unbeschadet der Nachteile, die den makroskopischen Schadsymptomen anhaften, erlauben es gerade diese sich durch eine relativ kostengünstige terrestrische Waldzustandserfassung rasch einen Überblick über die Ausdehnung von Waldschädigungen und die Intensität von Waldkrankheiten zu verschaffen. Wird eine derartige Erhebung mit einer Luftbildinventur verknüpft, dann stellt diese ein vorzügliches Hilfsmittel zur Dokumentation von Vegetationsschädigungen hinsichtlich ihrer lokalen oder regionalen Intensität, der Schädigungsgrade, der räumlichen Verteilung und somit der Schadverteilungsmuster dar. Großräumige Schadzonenkartierungen können stichprobenweise bzw. kleinflächig notwendige terrestrische Erhebungen für spezielle Fragestellungen der Forstpathologie, der Immissionskunde oder für die Bemessung und Bewertung von Schädigungen zwar nicht ersetzen, sie können diese aber wegen des hervorragenden Überblicks und der raschen Erkennung von Schadzentren ganz erheblich erleichtern.

Als Hauptziel der periodischen Erhebungen im Zuge einer Waldzustandsinventur muß die zuverlässige Erfassung von Zustandsveränderungen der Baumkronen an identen Probeständen sein, die auf systematisch über die einzelnen Regionen oder Bundesländer verteilten Aufnahmeeinheiten ausgewählt worden sind. Möglichst objektive Befunddaten über Zustandsveränderungen (innerhalb möglichst kurzer Zeit) des Kronenzustandes bzw. der Verlichtungsstufen der Gesamtkrone, des Zustandes der Wipfelregion und weiterer Merkmale der in Beobachtung genommenen herrschenden Bäume der zur Untersuchung gewählten Indikatorbaumarten, zusammen mit den für die einzelnen Merkmale kalkulierbaren Fehlerrahmen für ganz bestimmte regionale und thematische Befundeinheiten, wird in Österreich mehr Bedeutung und Wert beigemessen, als den Schätzwerten für das Flächenausmaß der "geschädigten Waldflächen" in den einzelnen Regionen.

Die Erfassung der Veränderungen der verschiedenen Kronenmerkmale läßt sich im Detail besser terrestrisch erfassen, stößt aber mit zunehmender Bestandesdichte wegen zu geringer Einsehbarkeit der Kronen auf bedeutsame Schwierigkeiten. Wenn man einen gewissen Verzicht auf bestimmte Details in Kauf nimmt, dann kann hier die weniger kostengünstigere Luftbildinventur, wegen der Betrachtungsmöglichkeit der Kronen aus der Vogelperspektive eine sehr wertvolle Ergänzung darstellen, wie wir sicherlich in den folgenden Vorträgen mehrfach erfahren werden.

Das Hauptkriterium bei einer Waldzustandsinventur stellt der Grad der Kronenverlichtung dar, daneben spielt die Verfärbung der Nadeln und Blätter in manchen lokalen und regionalen Bereichen ebenfalls eine wichtige Rolle. Bei der Einschätzung des Verfärbungsgrades und mehr noch bei der Einschätzung der Verlichtungsstufen der Kronen oder entsprechender Nadelverlustprozente muß man sich - das sei nochmals betont - dessen bewußt bleiben, daß es sich hier nicht um Messungen mit einem Präzisionsinstrument sondern um eine Schätzung handelt die allen menschlichen Schwächen und somit möglichen systematischen Fehlern ausgesetzt sein kann.

SPEKTRALE ALBEDO UND REFLEXIONSEIGENSCHAFTEN VON PFLANZEN

H.-J. Bolle und F.H. Berger
Institut für Meteorologie und Geophysik
Universität Innsbruck

EINLEITUNG

Am Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck wurde damit begonnen, systematische Reflexionsgrad- und Albedomessungen in Zusammenhang mit der Auswertung von Satellitenbilddaten durchzuführen. Das Programm zielt darauf ab, eine Übersicht über die *natürlichen* Verhältnisse zu gewinnen, die man im Gelände antrifft, also insbesondere auch Mischvegetationen zu verschiedenen Jahreszeiten zu untersuchen. Um im Gelände durchgeführte Messungen mit Satellitenbildern vergleichen zu können, ist eine gewisse Flächendeckung wünschenswert, die nur durch mobile Meßeinrichtungen zu erzielen ist. Häufig lassen sich bestimmte Rückschlüsse jedoch auch bereits aus normierten relativen spektralen Reflexionsgraden ziehen.

Die Arbeiten zu diesem Komplex stehen noch am Anfang. Es können daher neben einer Erläuterung der angewandten und noch nicht voll ausgereiften Meßverfahren gegenwärtig nur erste Auswertungs-Beispiele mitgeteilt werden.

1. MESSVERFAHREN

1.1 A l b e d o m e t e r

Das für diese Messungen entwickelte Albedometer ist in einem flachen zylinderförmigen Behälter aus Aluminium untergebracht, der oben und unten jeweils zwei mit aufgerauhten Mattglasscheiben abgedeckte Öffnungen trägt. Unterhalb dieser äußeren Ebene befindet sich oben und unten je ein Rad, das 10 Paare von Interferenzfiltern aufnehmen kann. Beide Filterräder sind auf einer Achse montiert und werden durch einen Gleichstrommotor jeweils von Filterposition zu Filterposition gedreht. Unter den Filterrädern befinden sich zwei nach oben und zwei nach unten gerichtete Detektoren, und zwar je ein Silizium- und ein Germaniumdetektor. Die Germaniumdetektoren dienen zur Messung hinter langwelligen Filtern von 1000-1600 nm, wo die Siliziumdetektoren nicht mehr eingesetzt werden können. Die Detektoren sind in einen massiven Messingblock eingebaut, der geheizt und ständig auf kontrollierter gleicher Temperatur gehalten wird. Um von der Außentemperatur möglichst unabhängig zu sein, wird das Gerät auf 311 K geheizt. Das Albedometer wird, gehalten durch seitlich angebrachte Stangen, zwischen zwei Dreibeinen in bis zu ca. 250 cm Höhe montiert und mittels Wasserwaagen jeweils in eine horizontale Position gebracht. Die Stromversorgung erfolgt aus einer 12 V Autobatterie.

Die Filterräder sind mit ausgesuchten Paaren von Interferenzfiltern bestückt, die möglichst gleiche Zentralwellenlängen besitzen. Die Anpassung der Empfindlichkeit zwischen den nach oben und nach unten gerichteten Detektor-Filter-Kombinationen erfolgt durch Umdrehen des Albedometers über gleichem homogenen Untergrund.

1.2 Radiometer

Das für die Reflexionsmessung verwendete Radiometer ist eine am meteorologischen Institut der Universität München begonnene und am Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck verbesserte Entwicklung. Es ist ein ursprünglich für aktinometrische Messungen konzipiertes Gerät mit einem durch ein Blendensystem begrenzten Gesichtsfeld von 5.5° . Vor einem Silizium-Detektor wird die Strahlung mit Hilfe von Interferenzfiltern ausgefiltert, von denen acht in einem von Hand zu bedienenden Filterrad untergebracht sind. Eine vor dem Detektor angebrachte Mattglasscheibe sorgt dafür, daß die Strahlung diffus auf den Detektor trifft. Das Gerät wird so von kleinen Justierungsungenauigkeiten unabhängig. Besonders wichtig ist diese Diffusionsscheibe, wenn das Radiometer mit einem Teleobjektiv ($f = 200 \text{ mm}$) betrieben wird, da dann das Objekt in die Detektorebene abgebildet wird und sich, falls es sich um eine Punktlichtquelle wie die Sonne handelt, bei geringfügigen Richtungsabweichungen unterschiedliche Meßwerte ergeben würde. Dies ist unter anderem bedingt durch ungleichmäßige Verteilung der Empfindlichkeit über die Detektoroberfläche.

Für die Messung des Reflexionsgrades wird das Radiometer häufig mit dem Teleobjektiv eingesetzt, welches das Gesichtsfeld auf ca. 0.5° einschränkt. Dadurch können auch über größere Entfernungen noch einzelne Objekte vermessen werden. Die Messungen werden gegenwärtig auf das Reflexionsvermögen eines weißen Zeichenkartons bezogen. Das Reflexionsvermögen dieses Zeichenkartons wurde durch Vergleich mit Messungen über homogenen Oberflächen (Gras, Beton) bestimmt, deren Albedo gleichzeitig mit dem Albedometer bestimmt wurde. Es ist relativ konstant und liegt bei etwa 91% (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Reflexionsvermögen der verwendeten weißen Vergleichsplatten bei einem Azimut der Beobachtungsrichtung 90° zur einfallenden Sonnenstrahlung

λ	520	670	785	861	1040
ρ_w	.91	.915	.91	.915	.895

Da der Zeichenkarton nicht vollständig isotrop reflektiert, wird nach Möglichkeit unter 90° zur Einfallsrichtung der Sonnenstrahlung gemessen. Umrechnungsfaktoren für das Verhältnis reflektierte Strahldichte zu Albedo werden durch direkte Vergleiche mit Albedometermessungen gewonnen.

Trotz dieser Maßnahmen sollten die Radiometer-Messungen nicht als Absolutmessungen des Reflexionsgrades interpretiert werden. Die Ergebnisse werden daher in relativen Einheiten bezogen auf eine Wellenlänge ($\lambda = 861 \text{ nm}$) angegeben. Für diese Wellenlänge werden die Absolutwerte der Albedo aus den Albedomessungen und Reflexionsgrad-Werte für größere Flächen aus Satellitenbildern bestimmt.

2. SPEKTRALE ALBEDO BEWACHSENER OBERFLÄCHEN

Direkte Albedomessungen können nur über niedrig wachsender Vegetation durchgeführt werden, da die Aufstellung des Albedometers keine Höhen über ca. 250 cm zuläßt.

In Abb.1 werden Albedoverläufe für junge Bäume, für Gras (für 2 verschiedene Jahre) und eine Weinrebe (inmitten eines Weinfeldes gemessen) gezeigt. Es zeigen sich sehr starke Unterschiede im Wellenlängenbereich 600-700 nm und im nahen Infrarot. Die Werte um 700 nm sind mit Vorsicht zu

interpretieren, da hier keine spektralen Meßwerte vorhanden sind und wir aus den Radiometer-Messungen wissen, daß das Reflexionsminimum bei etwa 700 nm auftritt. Die Olive zeigt eine besonders hohe Albedo, die normalen Bäumen nicht eigen ist. In diesem Fall war das Blätterdach wegen einer sehr großen Zahl neuer Triebe außerordentlich dicht und zum Boden hin undurchlässig, was bei normal produzierenden Olivenbäumen nicht der Fall ist.

Der Einfluß von Strukturparametern auf die Albedo geht aus den Abbildungen 2 und 3 hervor, die in dem in Nord-Süd-Richtung orientierten Weinfeld gewonnen wurden, und zwar einmal über einer Rebenreihe gemessen, einmal zwischen zwei Reihen. Die Albedo nimmt von den Morgenstunden bis Mittag deutlich ab, da jeweils eine Seite der vertikal stehenden Pflanzenreihen bei tiefstehender Sonne voll beschienen wird und die Obergrenzen der Reben ebenfalls stark an der Reflexion beteiligt sind (flacher Einfall auf die im Mittel mehr waagrecht stehenden Blätter). Mit abnehmendem Zenitwinkel der Sonne wird nach und nach der Boden stärker beschienen, wodurch insbesondere bei der Messung zwischen den Reihen die Albedo bei 670 nm relativ zur Albedo im nahen Infrarot angehoben wird. Zum Vergleich ist die Albedo eines ähnlichen unbewachsenen Ackerbodens in Abb.3 wiedergegeben.

3. RELATIVER SPEKTRALER VERLAUF DER REFLEXION VON BODENBEDECKUNGEN

Die Abbildungen 4, 5 und 6 geben für einige ausgewählte Objekte den mit dem Radiometer gemessenen relativen Reflexionsgrad normiert auf die Wellenlänge 861 nm an. Abb.4 zeigt die Ergebnisse für Fichten verschiedenen Alters. Dabei erkennt man Unterschiede im spektralen Verlauf des Reflexionsgrades hinsichtlich des Verhältnisses NIR/kurzwellig, der Tiefe der Absorption bei 700 nm und des Anstiegs nach 700 nm, insbesondere zwischen 800 und 1040 nm. Unterschiede in den spektralen Charakteristika lassen sich in eindeutiger Weise nur zwischen alten und jungen Fichten erkennen. Wie weit sich in den geringeren Unterschieden junger Fichten Umwelteinflüsse oder strukturelle Unterschiede der Bäume widerspiegeln, bedarf zukünftiger Klärung. Sehr ähnlich erscheint auf den ersten Blick auch der spektrale Verlauf bei Fichte, Kiefer, Lärche und Buche (Abb.5). Hier ergeben sich im sichtbaren Teil des Spektrums und hinsichtlich des Anstiegs im nahen Infrarot geringfügige charakteristische Unterschiede. Wesentlich stärker sind die Unterschiede zwischen den in Abb.6 zusammengefaßten Vegetationsformen.

Für Pinien wurde das Verhältnis des Reflexionsgrades zwischen alten und neuen Nadeln am lebenden Objekt bestimmt. Dabei ergaben sich als Mittelwerte mehrerer Messungen die in Tabelle 2 aufgeführten Werte. Ebenfalls in diese Tabelle aufgenommen wurden Messungen, die an frostgeschädigten Pinien mit gelblichen Nadelspitzen durchgeführt wurden.

4. VERGLEICHE MIT SATELLITENDATEN

Ohne eine Analyse des Luftlichtes lassen sich Satellitendaten nicht auf Bodenverhältnisse reduzieren. Eine solche Reduktion wurde mit den vorliegenden Daten noch nicht vorgenommen. Zunächst wurde vielmehr im Rahmen des ESA LANDSAT-TM Studienprogrammes eine multitemporale Analyse von Bildern des Inntales vorgenommen. Die Bilder wurden zu diesem Zweck normiert. Als Bezugsobjekt diente eine Betonfläche am Flughafen Innsbruck, die mit dem Albedometer vermessen wurde. Die Abb.7 enthält die Mittelwerte für die Betonfläche und vergleichsweise für Gras und Pinie. Für den TM-Kanal 7 sind keine Vergleichswerte vorhanden. Vergleichende Messungen mit dem Radiometer zeigten, daß die vermessene Betonfläche in brauchbarer Näherung isotrop reflektiert,

Tabelle 2: Normierte Verhältnisse des spektralen Reflexionsvermögens von Pinien mit verschiedener Benadelung und approximativer Reflexionsgrad von Pinien mit alten Nadeln und mit jungen Trieben

Wellenlänge (nm)	520	605	670	699	746	785	861	1046
alte Nadeln/junge Triebe	0,77	0,74	0,79	0,86	0,89	1,02	1,00	1,13
dito, Extremwerte	0,63	0,64	0,59	0,77	0,93	0,95	1,00	1,07
Pinien mit frostgeschädigten Nadeln (gelbliche Spitzen)/ alte ungeschädigte Nadeln	1,06	1,24	1,27	1,21	1,03	1,02	1,00	1,06
dito/junge ungeschädigte Triebe	0,68	0,81	0,81	0,98	0,98	0,96	1,00	1,11

Approximativer Reflexionsgrad in Prozent von demjenigen einer weißen, isotop reflektierenden Fläche								
alte Nadeln an jungen Pinien (1.6.85, 11:10)	3,7	3,5	2,0	2,5	27	30	32	31
frische Triebe an einer jungen Pinie (1.6.85, 11:10)	7,6	7,1	4,2	4,2	38	42	42	39
ältere Pinie (11.4.85, 16:45)	3,3	3,1	2,5	2,5	20	23	24	24

so daß die Albedowerte für den gerichteten Reflexionsgrad als repräsentativ angesehen werden dürfen. Die Grauwerte für die Betonfläche waren für vier bisher zur Verfügung stehende TM Bilder sehr homogen - offensichtlich sind die Bilder für den jeweiligen Sonnenstand zufriedenstellend korrigiert worden. Mit Ausnahme des TM-Kanals 1 liegen die Albedowerte für den Beton in einer Größenordnung, bei der die atmosphärische Korrektur minimal wird, so daß die am Boden gemessene Albedo ungefähr der planetarischen Albedo entspricht. Es ist daher zu erwarten, daß der Luftlichteffekt stark zum Tragen kommt, wenn man Bildausschnitte über dunklen Flächen (Seen, Wälder) betrachtet. In diesen Fällen kommt man in den kurzwelligen Kanälen auf gerichtete Reflexionsgrade von etwa 10%. Dies liegt in der Größenordnung dessen, was man für die planetarische Albedo erwarten kann. Über Wäldern kann man mit einer Albedo von 3-4% rechnen, so daß 6-7% auf das Luftlicht zurückzuführen sind. Dies hängt selbstverständlich jeweils von der Einfallsrichtung der Sonnenstrahlung und Beobachtungsrichtung ab. Rechnet man mit Variationen des Reflexionsgrades der Vegetation von 50% (vgl. Tabelle 2) im Laufe einer Vegetationsperiode, so liegen die Variationen der am Satelliten gemessenen Strahldichten bei 15%.

Erste Untersuchungen ergaben tatsächlich Variationen des Reflexionsgrades über verschiedenen Wäldern im Verlaufe des Jahres 1984, von denen einige in Tabelle 3 zusammengestellt sind. Von besonderem Interesse ist dabei der gegenläufige Gang in den TM Kanälen 3 und 4, der beispielsweise folgende Werte erreichen kann.

Tabelle 3: Variation des Grauwert-Verhältnisses ($\frac{\text{TM-Kanal 4}}{\text{TM-Kanal 3}}$) gemittelt über 10 verschiedene Waldstücke im Raum Innsbruck im Verlauf des Jahres 1984.

Datum	20.4.84	6.5.84	9.7.84	3.8.84
(TM-4)/(TM-3)	1,65	1,82	2,44	2,91

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Untersuchungen über das Reflexionsvermögen und die Albedo von mit Pflanzen teilweise bedeckten Böden und von dichten Vegetationsformen hat vorerst die folgenden Resultate ergeben:

1. Die individuellen Signaturen betreffen
 - (a) Die Tiefe und genaue Lage der Chlorophyllabsorption bei 700 nm
 - (b) Die genaue Lage und Steigung der Absorptionskante bei 720 nm
 - (c) Den Gradienten nach 862 nm, wahrscheinlich bis 1650 nm (hier liegen noch zu wenige Messungen vor, um genauere Aussagen machen zu können)
 - (d) Das Verhältnis des Reflexionsgrades nahe IR/sichtbare Strahlung, z.B. 862/700 nm
 - (e) Die genaue Lage und Höhe des Sekundärmaximums bei 520 nm.
2. Aus den erhaltenen Ergebnissen lassen sich bereits jetzt Interpretationshilfen für die Auswertung von Satellitendaten ableiten. Insbesondere wurden im Raum Innsbruck erste Auswertungen durchgeführt.
3. Eine genauere Identifizierung von Pflanzencharakteristika erfordert eine weitere Optimierung der verwendeten Spektralbereiche, die aufgrund der erhaltenen Ergebnisse jetzt durchgeführt werden kann. Insbesondere ist ein spektraler Kanal bei 715-720 nm Wellenlänge vorzusehen und eine bessere Auflösung des Sekundärmaximums bei 550 nm wünschenswert.

ZUSAMMENFASSUNG

Um für die Interpretation von Satellitendaten im Rahmen der Waldschadensforschung und des Internationalen Satelliten Land-Oberflächen Klimatologie Projektes Vergleichsdaten natürlicher Erdoberflächen mit Bewuchs zur Verfügung zu haben, wurde ein Projekt zur Bestimmung von spektraler Albedo und gerichtetem Reflexionsgrad begonnen. Zu diesem Zweck wurden ein Spektral-Albedometer für 10 Wellenlängenbereiche und ein Radiometer für acht Wellenlängenbereiche entwickelt und im Gelände eingesetzt. Erste Ergebnisse dieser Untersuchung werden mitgeteilt.

Schüsselwörter: Albedo, Reflexionsgrad, Vegetation

SUMMARY

A project was initiated to determine the spectral albedo and directional reflectance of natural surfaces covered with vegetation. The investigations will provide comparative data for the interpretation of satellite images for forest studies and for the International Satellite Land-Surface Climatology Project. An albedometer operating in 10 spectral intervals and a radiometer operating in 8 spectral intervals were developed. Measurements on various vegetation types were carried out of which first results are presented.

Keywords: Albedo, reflectance, vegetation

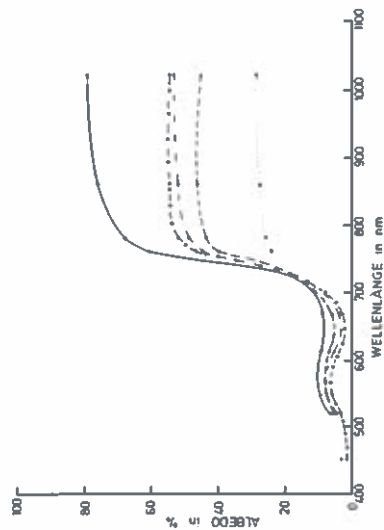


Abb.1: Albedo für junge Bäume (— Olive, --- Pinie), Wein (....), Gras (-X-X '84, '85)

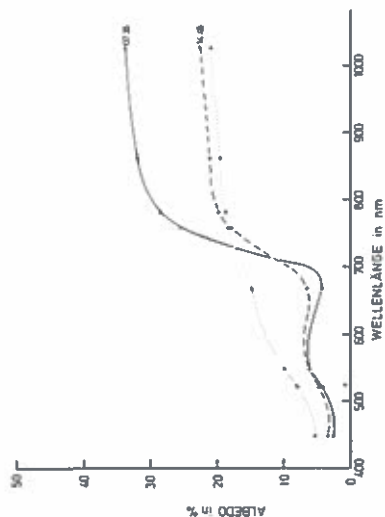


Abb.3: Albedo eines N-S-orientierten Weinfeldes zwischen zwei Weinreben; Vergleich mit Ackerboden (anderer Platz).....

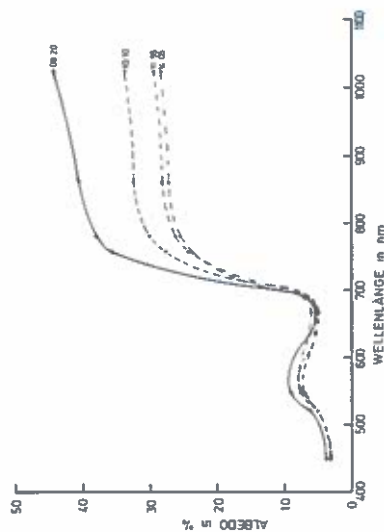


Abb.2: Albedo eines N-S-orientierten Weinfeldes über einer Reihenreihe zu verschiedenen Uhrzeiten

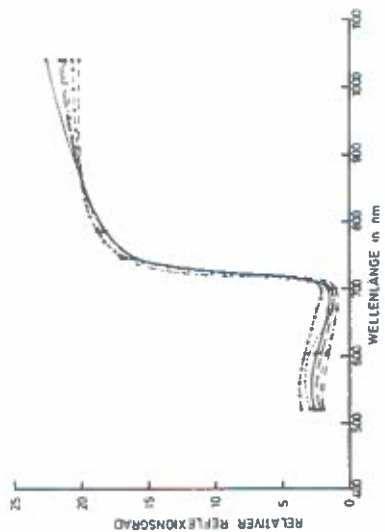


Abb.4: Relativer Reflexionsgrad normiert auf $\lambda=861$ nm für Fichten: (40 cm), --- (60 cm); (80 cm), -X-X- (100 cm); (250 cm); -X-X- (400 cm); -X-X- (600 cm); -X-X- (800 cm); -X-X- (1000 cm); -X-X- (1200 cm)

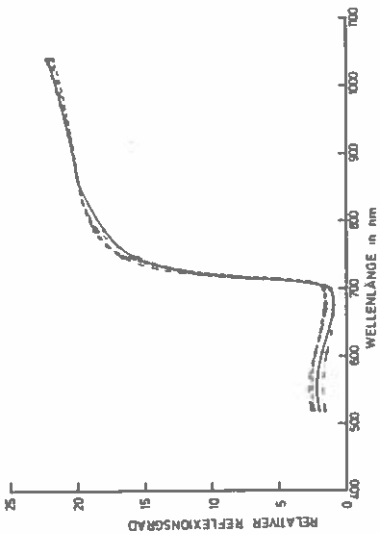


Abb.5: Wie Abb.4, nur für — Fichte, --- Lärche, Kiefer

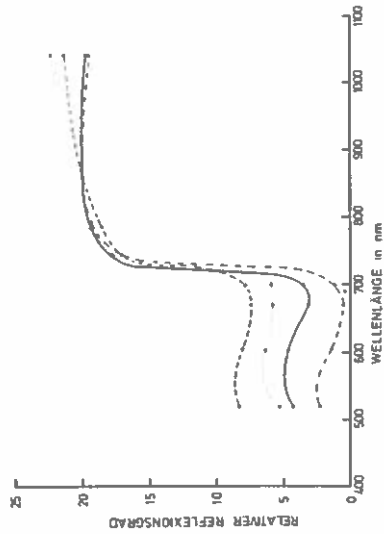


Abb.6: Wie Abb.4 (geschätzte Albedo bei 861 nm):
— Olive (77%), --- Pinie (46%), trockenes
Gras (52%), --- Eiche

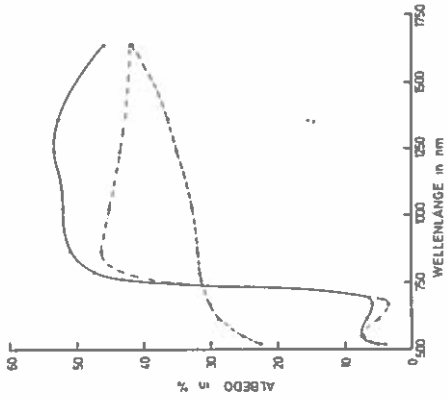


Abb.7: Albedo für Betonfläche, Flughafen Innsbruck (---), Gras (—), Pinie (.....)

schaffen, doch sollte bei der Planung und Vergabe größerer Projekte diese Frist beachtet werden, um im Sinne der oben angesprochenen Konstanz der Faktoren bei den einzelnen Operaten möglichst immer Filme der gleichen Produktionscharge (Emulsionsnummer) verwenden zu können.

Die gleichmäßige Ausleuchtung des Einzelbildes bzw. des einzelnen Stereomodells wird bekanntlich wesentlich von

- Sonnenstand
- der verwendeten Kamerabrennweite und
- der Topographie des Aufnahmegebietes

beeinflußt.

Angestrebt wird im allgemeinen

- ein Sonnenstand von mehr als 50° und
- die Verwendung langer Brennweiten, in der Regel 30 cm.

Eine geforderte Mindestsonnenhöhe von 50° beschränkt in unseren Breiten die Bildbeschaffung auf den Zeitraum Anfang April bis Anfang September bzw. zur Sommersonnenwende auf die Zeit zwischen 9^{20} und 14^{40} MEZ.

Bei ebenem Gelände bietet bei Stereoauswertung die Anordnung der Flugstreifen in Nord-Südrichtung gleichmäßiger ausgeleuchtete Modelle, doch wird in alpinen Regionen und bei kleineren Operaten die Flugplanung vor allem darauf ausgerichtet sein die Größe der Schattenflächen möglichst zu minimieren.

Die optimale Dichte, Zeichnung und Farbgebung der Bilder der zu interpretierenden Objekte ist bekanntlich eine Funktion

- der sensitometrischen Eigenschaften der verwendeten Emulsion
- der darauf abgestimmten Belichtung und Entwicklung, aber auch
- atmosphärischer Einflüsse.

Um die sensitometrischen Eigenschaften (Empfindlichkeit der einzelnen Farbschichten des Filmes) beurteilen zu können erfolgt routinemäßig nach Lieferung der Filme eine Testbelichtung im Labor. Verwendet wird ein Sensitometer der Firma MILLIGAN unter Zwischenschaltung des auch bei der Aufnahme verwendeten Wratten 12 Filters. Die Belichtungszeit von ca. $1/500$ Sekunde entspricht in etwa der Verschlusszeit während des Bildfluges. Nach einer Standardentwicklung und Farbdichtemessung in den Kanälen blau, rot, grün und weiß werden die entsprechenden Dichtekurven erstellt und

- (relative) Belichtungswerte für die Farbdichtewerte 0,4 - 1,0 - 2,0, sowie

- die sog. IR-Balancezahl nach FLEMING für die Dichte 1,0 und
- Gammawerte als Anstiege zwischen den Dichtewerten 0,4 und 2,0

bestimmt.

Insbesondere die IR-Balancezahl und die Belichtungswerte für die Dichte 1,0 charakterisieren Farbverhalten und Empfindlichkeit des Materials. Durch Vergleich mit den Werten bereits verwendeter Emulsionen können gegebenenfalls Korrekturen an der Standardempfindlichkeit vorgenommen und für einzelne Bildflüge die Verwendung der sog. CC (Color-compensating)-Filter vorgeschlagen werden.

Erfreulicherweise konnten wir feststellen, daß die in den letzten Jahren gelieferten IR-Farbfilme sowohl hinsichtlich des Farbverhaltens als auch ihrer Empfindlichkeit recht konstant waren und die von FLEMING veröffentlichten starken Schwankungen nicht auftraten. Übrigens zeigten die Testbelichtungen auch, daß bei vorschriftsmäßiger Tiefkühl Lagerung Farbverhalten und Empfindlichkeit über mehrere Jahre hin gleich bleiben.

Der Einsatz der CC-Filter beschränkt sich daher in der Regel auf die Kompensation des mit zunehmender Flughöhe über Grund wachsenden Anteils an blau/grünem Licht. Durch Verwendung von CC B (blue)-Filtern wird dieses störende Licht wieder ausgefiltert und der für geringere Flughöhen charakteristische Farbeindruck des IR-Farbbildes wiederhergestellt. Allerdings erschwert - wie schon FLEMING feststellte - eine Überkompensation die Auswertung. Dazu kommt, daß die Filterung eine Verlängerung der Belichtungszeit mit sich bringt. Man wird daher versuchen durch Wahl einer Emulsion mit optimal der Flughöhe angepaßte IR-Balancezahl CC-Filterung zu vermeiden. Natürlich können die CC-Filter auch dazu dienen zwei bei einem Operat eingesetzte Emulsionen bestmöglich aufeinander abzustimmen.

Anfangs vereinzelt wegen der übereinander liegenden beiden Gelatinefilter (Wratten 12 + CC B) auftretende Bildunschärfen konnten durch Einsatz von Antivignettierungsfiltren mit Wratten 12 - Charakteristik beseitigt werden.

Die Kenntnis der sensitometrischen Eigenschaften der Emulsion ist Vorbedingung für die richtige Belichtung. Da die zu interpretierenden Bilddetails unter möglichst identen Aufnahmeparametern abgebildet werden sollen ist in der Regel die Belichtungsautomatik der Kamera auszuschalten. Diese berücksichtigt ja je nach Kamerakonstruktion in größerem oder geringerem Maße den Anteil der Schattenflächen in jedem Bild und variiert die Belichtungszeit, wodurch die Dichte einander entsprechender Details in den einzelnen Bildern Schwankungen unterworfen ist.

Um die für ein Operat bzw. für einen gewissen Befliegungszeitraum gültige Belichtungszeit festzulegen, können z.B. Spotmessungen mit einem Belichtungsmesser vom Flugzeug aus erfolgen. Wir haben uns, in Zusammenarbeit mit einigen Auftraggebern, in den letzten Jahren die "Check point-Methode" erarbeitet. Als

Checkpoint eines Operates wird ein Gebiet innerhalb (bzw. in unmittelbarer Nähe) des Operates ausgewählt. Das Bild sollte zu je 50 % Kulturland und Wald enthalten, wobei Nadelwald vorherrschen soll. Diese Forderungen sind so formuliert, daß in bzw. bei jedem Operat leicht ein Checkpoint gefunden werden kann. Durch Überfliegen des Checkpoints mit eingeschalteter Automatik und der ermittelten Filmempfindlichkeit wird die Belichtungszeit ermittelt und dieser Wert während des Fluges beibehalten.

Die standardisierte Entwicklung wird innerhalb enger Toleranzgrenzen durch Kontrollkeile der Firma KODAK sichergestellt. Werden die anfangs aufgezählten Aufnahmebedingungen eingehalten, wären also theoretisch immer optimale Ergebnisse zu erwarten. Die immer wieder auftretenden Ausreißer haben nach unserem derzeitigen Wissensstand zwei Gründe:

Erstens besitzt der IR-Farbfilm eine extrem steile Gradation, wobei in den für die Interpretation wichtigen Mitteltönen Gamma-werte von ca. 3,0 erreicht werden. Das bedeutet aber, daß ein Belichtungsunterschied von 1/4 Blendenstufe (0,075 Einheiten auf der Belichtungsachse) bereits einen Dichteunterschied von ca. 0,20 Dichteeinheiten hervorruft.

Zweitens stehen dem Kameraoperateur augenblicklich noch keine verlässlichen Hilfsmittel zur Verfügung welche ihm über auftretende atmosphärische Anomalien verlässlich informieren und damit die Möglichkeit geben Gegenmaßnahmen (Belichtungsänderungen, Filterungen) zu treffen. Wenn gleichzeitig mit dem Bildflug unternommene Bodenmessungen wesentlich stärkere blau/grün-Lichtanteile als üblich ergeben kann es nicht verwundern, daß das Bildflugergebnis nicht optimal ausfällt.

Bei der Filmentwicklung besteht allerdings noch eine gewisse Möglichkeit die Dichte des Filmes in Grenzen zu optimieren. Der Durchlauf einer Probeaufnahme, meistens des Checkpoints, unter Standardbedingungen erlaubt einen Rückschluß auf die Dichte des gesamten Operates. Entspricht die Dichte nicht den Erwartungen so kann durch eine Erhöhung/Senkung der Temperatur des Erstentwicklers eine Dichtesenkung/-anhebung erreicht werden, die pro Grad Fahrenheit ca. 0,08 Dichteeinheiten beträgt.

Eine Senkung der Dichte hat eine leichte Farbveränderung zum Blau hin zur Folge, eine Dichteanhebung einen Trend zum Rot. Um die Interpretation nicht zu erschweren werden daher die Filme eines Operates prinzipiell unter gleichen Bedingungen entwickelt. Da jede zu entwickelnde Rolle einen Sensitometergraukeil aufbelichtet erhält, besitzen wir eine weitere, vom Entwicklungskontrollkeil der Firma KODAK unabhängige Kontrolle des Filmmaterials und der Entwicklung.

Ich hoffe Ihnen mit meinen Ausführungen gezeigt zu haben, daß es uns in den letzten Jahren gelungen ist die Problematik der Sensitometrie, Belichtung und Entwicklung des IR-Farbfilmes in den Griff zu bekommen. Es ist zu hoffen, daß die Problemstellung "atmosphärische Bedingungen" als letztes unbekanntes Glied in der Aufnahmekette noch vor dem Zeitpunkt gelöst wird, an dem die photographische Methode durch Scanneraufnahmen ersetzt wird.

Abschließend noch einige Worte zur Beschaffung bereits "historischer" IR-Farbbildern, etwa für Vergleichszwecke:

1980 wurden mit dem Projekt "Weingärten" knapp 18000 km² durch IR₂Farbaufnahmen gedeckt, 1981 bis 1985 folgten weitere 24000 km². Diese Gebiete werden in den jährlichen Bildflugübersichten des BEV ausgewiesen. Sollte das Bildmaterial nicht im Luftbildarchiv der Gruppe Landesaufnahme lagern kann zumindest der Auftraggeber bekanntgegeben werden.

Über die von anderen Bildflugunternehmen durchgeführten Flüge befinden sich zwar Unterlagen beim Bundesministerium für Bauten und Technik, wie mir der zuständige Referent OR TWAROCH mitteilte, könne er aus Gründen der Amtsverschwiegenheit keine näheren Informationen mitteilen. Vielleicht ergibt sich im Rahmen des vom BEV und ÖROK betriebenen Projektes "Plandokumentation" die Möglichkeit auf Wunsch Bildflüge Privater zu speichern.

Betreffend der Reproduktion von IR-Farbbildern möchte ich nur darauf hinweisen, daß wir Farbduplikatdias routinemäßig herstellen. Ferner setzt uns die heute zu etwa 85 % und Ende 1986 vollständig fertiggestellte Geländehöhendatenbank in die Lage Orthophotos 1:10 000, bei Aufnahmen mit der Brennweite 30 cm bis 1:5000, kurzfristig herzustellen, wobei allerdings die Farbentwicklung in der Regel noch außer Haus erfolgt.

Literatur:

- BERNHARD, J., 1981: Datenerfassung aus der Luft. Mitteilungen der forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien, 135.Heft (Österreichisches Symposium Fernerkundung)
- FLEMING, J.F., o.J.: Standardization Techniques for Aerial Colour Infrared Film. Published by The Interdepartmental Committee on Air Surveys and The Surveys and Mapping Branch, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada

VERSUCHSFLUG WINDISCHGARSTEN

E. Mayer

Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien

EINLEITUNG

Bis vor einigen Jahren traten Waldschäden meist in kleinerem Umfang und lokal, beziehungsweise in Formen auf, die durch terrestrische Verfahren größtenteils erfaßt werden konnten. Nur vereinzelt und versuchsweise wurden in Österreich zur Erfassung von Waldschäden Luftbilder und zwar Infrarot-Farbbilder, kurz IRC-Bilder genannt, verwendet.

Erste forstliche Versuche mit terrestrischen IRC-Fotos wurden ab dem Jahr 1967 im Raum Arnoldstein/Ktn und Breitenau/Stmk durchgeführt. Darauf folgten Abgrenzungen und Zonierungen mit Hilfe von IRC-Luftbildaufnahmen in den Immissionsgebieten Zeltweg/Stmk und Hochfilzen/Tirol. Bis 1978 wurden alle vermuteten Immissionsschadensgebiete der Steiermark und Tirols durch Luftbildinventur erfaßt.

Da das derzeitige Ausmaß der Schädigungen und vor allem über deren Entwicklung keine Anhaltspunkte vorhanden sind, ist es notwendig, den derzeitigen Waldzustand möglichst objektiv zu erfassen und unabhängig, jederzeit überprüfbar zu dokumentieren.

Über Anregung der Arbeitsgruppe Fernerkundung der Forschungsinitiative gegen das Waldsterben und in Abstimmung mit den durchführenden Institutionen der Forschungsprojekte "Innviertel-Mühlviertel" und "Lavantal-Petzen" wurde vereinbart, daß die Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien ein analoges Forschungsprojekt in einer Gebirgsgegend in Angriff nimmt.

BESCHREIBUNG DES BILDFLUGGEBIETES

Für die Wahl des Raumes Windischgarsten/OÖ waren folgende Kriterien entscheidend:

Die Topographie
Die Bewaldungsdichte
Die Baumartenvorkommen, -verteilung
Vermutete Immissionsbelastung durch Straßenverkehr
Vermutete Immissionsbelastung durch Fernimmissionen

Die topographischen Gegebenheiten sollten ungefähr den durchschnittlichen Verhältnissen des Landes entsprechen. Die Geländehöhen reichen von 520 m bis gegen 2000 m über dem Meeresspiegel und verteilen sich nach Höhenstufen folgendermaßen:

8 %	 bis	600 m
49 %	600 bis	900 m
27 %	900 bis	1200 m
11 %	1200 bis	1500 m
5 %	... über	1500 m

Die Waldfläche bestehend aus Wirtschafts- und Schutzwald verhält sich zur Nischtholzbodenfläche wie 6:4. Von dieser Waldfläche entfallen 60 % auf Staatswald und 40 % auf Bauernwald.

Die Baumartenverteilung in % sieht nach Hauptholzarten Fichte, Tanne, Lärche, Kiefer, Summe Nadelholz, Buche, Summe Laubholz, im eingerichteten Wald folgendermaßen aus:

	Fi	Ta	Lä	Kie	NH	Bu	LH
Wirtschaftswald	69	5	11	1	86	13	14
Schutzwald	50	2	30	8	90	10	10

In den untersuchten Baumholzbeständen und vor allem in den Bauernwäldern verschiebt sich die Baumartenverteilung teilweise zugunsten der Tanne, während in den Hochlagen (Schutzwäldern) die Lärchen und Kiefern stärker als im Durchschnitt vertreten sind.

Untersuchungen waren derzeit nur für die Hauptbaumart Fichte und zusätzlich Tanne vorgesehen.

IMMISSIONSBELASTUNG

Die Belastung dieses Gebietes durch den Straßenverkehr ist stark. Es führt die Bundesstraße 138 von der Westautobahn ab Sattledt nach Graz und Südosteuropa.

Seit Jahren rollt auf dieser Route der Hauptpersonen- und Lastverkehr von Skandinavien und der Bundesrepublik Deutschland nach Jugoslawien, Griechenland, der Türkei und dem Vorderen Orient. Der Ausbau der Pyhrnautobahn wird zwar einzelnen Orten Entlastung bringen, für die Vegetation wird in der Folge kaum eine Besserung der Verhältnisse geschaffen.

Fernimmissionen könnten sowohl aus den Industrieballungszentren Linz-Steyr/OÖ als auch aus den grenznahen Industriegebieten der Bundesrepublik Deutschland und der Tschechoslowakei kommen und sich am Alpennordrand (z.B. Raum Windischgarsten/OÖ) stauen.

DER BILDFLUG

Das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen hat nach den Anweisungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien am 8. und 22. August 1984 die Bildflüge für das Projekt Windischgarsten/OÖ durchgeführt.

Die Flugplanung sah vor, das ausgewählte Gebiet in 3 Bildmaßstäben zu befliegen. Aus den Erfahrungen einiger Nachbarländer und von den in Österreich durchgeführten Luftbildinventuren wußte man, daß für die Fernerkundung von Vitalitätsunterschieden bei Waldbäumen vorderhand Bildmaßstäbe von 1:5000 bis 1:8000 optimale Interpretationsergebnisse ermöglichen. Für weitere vergleichende Untersuchungen (Digitalisierung und andere Verfahren) wurde zusätzlich das Versuchsgebiet in mittleren Bildmaßstäben 1:16000 und 1:28000 befliegen.

Vor den einzelnen Bildflügen war ein "Checkpoint" anzufliegen, dort wurde die Luftbildkamera justiert und anschließend ohne automatischer Blendensteuerung die Befliegung durchgeführt. Dies war ein wesentlicher Beitrag zur Erzielung qualitativ hochwertiger Luftbilder.

DIE BILDINTERPRETATION

Allgemein gültige Interpretationsschlüssel für die Auswertung von IRC-Luftbilder gibt es bekanntlich nicht. Daher ist es notwendig für jeden Bildflug Vorinformationen über Baumarten und deren Vitalitäts- bzw. Verlichtungsstufen einzuholen. Ein intensives Interpretationstraining ist eine unabdingbare Voraussetzung für eine erfolgreiche Bildauswertung.

Für die Interpretation des IRC-Bildmaterials wurde das Interpretationsgerät APT 1 der Firma Wild eingesetzt. Dieses ermöglicht eine bestmögliche stereoskopische Betrachtung der Originalfilmdias im Durchlicht. Durch einen zweiten optisch gleichwertigen Einblick ist das Gerät besonders zur Einschulung, für Diskussionen und zur Kontrolle geeignet. Eine Zoomeinrichtung erlaubt 3,5 bis 15-fache Vergrößerungsänderungen während der Betrachtung.

Besonders bewährt hat sich die vom Österr. Bundesinstitut für Gesundheitswesen (ÖBIG) erprobte Methode das Gerät in einem Bus mitzuführen und im Gelände bei der Erarbeitung eines Interpretationsschlüssels einzusetzen, bzw. Interpretationsergebnisse stichprobenweise zu verifizieren.

Obwohl die Bilder von sehr guter Qualität sind, stellen lange überdeckende Schlagschatten, unterschiedliche Farbtintensitäten vergleichbarer Individuen an Sonnen- und Schatthängen, in Längs- und Quertälern, im Bildzentrum und an den Rändern die Hauptprobleme der Bildinterpretation dar. Verschärft werden

diese noch durch die jahres- und tageszeitliche Abhängigkeit vom Sonnenstand.

Die Einordnung von Einzelbäumen in Verlichtungs- bzw. Schadstufen ist weiters dadurch erschwert, daß durch verschiedene Verzweigungsformen und durch altersbedingte Kronenstrukturveränderungen hervorgerufene Farbdifferenzierungen in den IRC-Lufbildern jene unterschiedliche Farbwiedergabe überlagert wird, die durch Kronenverlichtung und Vitalitätsverluste hervorgerufen wurde.

So zeigen z.B. relativ gesunde Kammfichten oft ähnliche Erscheinungsbilder wie schwach bis mittelstark geschädigte Bürstenfichten.

Stark verlichtete Fichten ließen sich mit schwach bis mittelstark geschädigten Lärchen verwechseln, wenn letztere nur sporadisch vorkommen.

Es wurde aber auch die Erfahrung gemacht, daß Tannen - vermutlich durch ihre plattenförmig ausgebildeten Äste, die besonders in der oberen Wipfelregion am längsten grün sind - sogenannte Storchennester bilden, meist mit geringerem Krankheitsindex eingestuft werden als ihnen zustünde, obwohl bekanntlich infolge des Einblickes von oben in Luftbildern höhere Schadeinstufungen als bei terrestrischer Ansprache vorgenommen werden.

Bei der Untersuchung der Bilder des großmaßstäblichen Fluges "Windischgarsten" wurden vier Schadstufen in Anlehnung an die 5 Verlichtungstypen der Waldzustandsinventur ausgetrennt, wobei die Stufe 3 "mittlere Verlichtung" vernachlässigt wurde.

Stufe 4	Krone im Absterben oder schon tot
Stufe 3	Krone stark verlichtet
Stufe 2	Krone gering verlichtet
Stufe 1	Krone gesund

Werden die erwähnten, eine Interpretation erschwerende Faktoren berücksichtigt, ergibt sich das Hauptproblem, die Abstufung zwischen den Stufen 1 und 2, "gesund" zu "gering verlichtet". Stark verlichtete und absterbende bzw. tote Elemente sind dagegen relativ leichter zu differenzieren.

Taxiert wurden die Bestände ab dem Baumholzalter mit dem Interpretationsraster des ÖBIG.

ERGEBNISSE

Als vorläufiges Untersuchungsergebnis aus dem Tiefflug (Maßstab 1:8000), des Fluges "Windischgarsten" können folgende Werte getrennt nach Fichte und Tanne bekannt gegeben werden.

Fichte

Flug- streifen Nr.	Anzahl der Probe- fl.	Anzahl und % der Stämme in den Schadstufen										mittlerer Schadens- index
		1		2		3		4		Σ	%	
7	23	362	38	425	45	137	15	17	2	941	100	1,80
8	14	137	27	239	48	108	22	16	3	500	100	2,01
9	32	351	48	244	33	112	15	25	4	732	100	1,74
10	19	438	50	282	33	119	14	27	3	866	100	1,69
12	17	158	26	254	42	142	24	47	8	601	100	2,13
Summe	105	1446	40	1444	40	618	17	132	3	3640	100	1,85

Tanne

Flug- streifen Nr.	Anzahl der Probe- fl.	Anzahl und % der Stämme in den Schadstufen										mittlerer Schadens- index
		1		2		3		4		Σ	%	
7	23	69	47	42	29	28	19	8	5	147	100	1,83
8	14	30	26	49	42	30	26	7	6	116	100	2,12
9	32	147	49	86	29	59	20	5	2	297	100	1,74
10	19	93	43	66	30	52	24	7	3	218	100	1,88
12	17	17	20	36	42	25	30	7	8	85	100	2,26
Summe	105	356	41	279	32	194	22	34	4	863	100	1,89

Aus einer Gegenüberstellung der untersuchten Baumarten Fichte und Tanne geht hervor, daß in dem gesamten Untersuchungsraum die Tanne nur geringfügig schlechter eingestuft wurde als die Fichte.

Es wäre auch darauf hinzuweisen, daß in jenen Bereichen die vom Flugstreifen 9 und 10 erfaßt wurden, der Tannenanteil 29 % und 20 % beträgt, was damit erklärt werden könnte, daß es sich hier vorwiegend um bürgerliche Wälder handelt.

Bemerkenswert ist ferner, daß im tiefergelegenen Bereich, der vom Streifen 9 abgedeckt wird, sich die Schadensindizes von Fichte und Tanne nicht unterscheiden, dagegen in den höher gelegenen Bereichen (Streifen 10) die Tanne deutlich schlechter eingestuft wurde. Für beide Baumarten wurde die schlechteste Einstufung im Bereich des Flugstreifen 12 registriert. Dieser Streifen erfaßt beiderseits der Pyhrnpaßstraße gelegene Bestände.

Die Feststellung der Ursachen der Vitalitätsminderung ist forstpathologischen und immissionskundlichen Untersuchungen vorbehalten. Die Luftbildinterpretation liefert hierfür Hinweise auf Intensität und Verteilung der Schädigungen.

RECHNERUNTERSTÜTZTE
INTERPRETATION VON
FARB - INFRAROT - LUFTBILDERN ZUR
ERKENNUNG UND KARTIERUNG VON
WALDSCHÄDIGUNGEN

W. Schneider

Institut für Vermessungswesen und Fernerkundung
Universität für Bodenkultur, Wien

ZUSAMMENFASSUNG

Forstschädigungserhebungen durch visuelle Interpretation von Farb-Infrarot-Luftbildern sind in hohem Maße subjektiv, sodaß bei größeren Projekten und beim Einsatz mehrerer Interpreten Probleme der gegenseitigen Abstimmung und der Standardisierung der Interpretationen zur Erreichung eines homogenen Resultats auftreten. Dieser Beitrag befaßt sich mit Methoden der EDV-Unterstützung der visuellen Luftbildinterpretation zur Objektivierung und Vereinheitlichung von Forstschädigungserhebungen.

SUMMARY

Forest damage assessment by visual interpretation of colour infrared aerial photos is highly subjective. In the case of large projects employing more than one interpreter, severe problems of standardizing the interpretations to obtain homogeneous results may occur. This contribution deals with methods of computer assistance for visual photo interpretation with the aim of increasing the objectivity and the homogeneity of forest damage assessment.

EINLEITUNG

Dieser Beitrag berichtet über Arbeiten, die im Rahmen der Arbeitsgruppe Fernerkundung des Projektteams "Forschungsinitiative gegen das Waldsterben" im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung durchgeführt wurden. Dem Arbeitsprogramm liegen folgende Überlegungen zugrunde:

- * Es besteht ein vordringliches - forstliches und öffentliches - Interesse an großflächigen objektiven Erfassungen und Dokumentationen der Entwicklung der Waldschädigungen, egal welchen Ursprungs diese sind.

- * Die Fernerkundung vermag als einzige Datenerfassungsmethode solche umfassende Überblicke sowohl in räumlicher als auch in zeitlicher Hinsicht zu geben. Es können Schädigungsverteilungen über große Gebiete untersucht werden, und es sind periodische Aufnahmen möglich, welche die objektive Dokumentation und Verfolgung der zeitlichen Schädigungsentwicklung erlauben.

- * Eine an Umfang und Schädigungsdifferenzierung vergleichbare ausschließlich terrestrisch durchgeführte Datenerfassung erscheint zwar bei höchstem Personaleinsatz denkbar, stellt jedoch nicht nur aus Kostengründen keine brauchbare Alternative zu Fernerkundungsmethoden dar: Es dürfte kaum möglich sein, die terrestrische, durch eine große Zahl von Taxatoren durchgeführte Schädigungsbewertung soweit aufeinander abzustimmen und zu vereinheitlichen, daß eine hinreichende Homogenität und Zuverlässigkeit des Resultats gewährleistet ist.

- * Die einzige gegenwärtig praktikable Fernerkundungsmethode für großräumige Inventuren von Waldschädigungen ist die visuelle Interpretation photographischer Farb-Infrarot-Luftbilder. Diese Methode bietet gegenüber anderen Fernerkundungsverfahren (automatische Auswertungen, vor allem von Flugzeugscanner- und Satellitenbildern) die Vorteile höchster räumlicher Auflösung (Detailerkennbarkeit) bei großen Maßstäben sowie Stereoauswertbarkeit. Nur dadurch ist eine Einzelbauminterpretation möglich, wobei insbesondere

spektrale (farbliche) Erscheinungen auf den Luftbildern auch bei lockeren Beständen eindeutig entweder einer Baumkrone oder aber der Bodenvegetation (Kraut- und Strauchschicht) zugeordnet werden können,

Baumart und -alter auf Grund des dreidimensionalen Raumeindrucks zu bestimmen sind, sodaß nachfolgend

Schädigungen in ihren baumarten- und altersspezifischen (meist spektralen) Symptomen erkannt werden können, sowie

weitergehende Schädigungsdifferenzierungen auf Grund der Beurteilung der dreidimensionalen Kronenstruktur möglich sind (Nadelverluste von außen nach innen oder umgekehrt, Wipfelschädigungen usw.).

Als Schwachstellen bzw. Probleme bei visuellen Interpretationen von Farb-Infrarot-Luftbildern müssen genannt werden:

die wechselnde Qualität des Luftbildmaterials, vor allem bedingt durch unterschiedliche atmosphärische Aufnahmebedingungen,

die Subjektivität der Interpretation und die daraus folgende mangelnde Homogenität des Resultats bei größeren Projekten und beim Einsatz mehrerer Interpreten, sowie

der mit visuellen Einzelbaumklassifikationen auf großmaßstäblichen Luftbildern notwendigerweise verbundene hohe zeitliche und finanzielle Aufwand.

Während dem erstgenannten Problem durch "radiometrische Standardisierung" der Luftbilder unter Verwendung terrestrischer radiometrischer Referenzdaten begegnet werden kann, ist im Hinblick auf die beiden anderen Problemkreise der Einsatz von rechnerunterstützten und teilautomatisierten Auswerteverfahren erfolgversprechend. Im folgenden werden Lösungsvorschläge zu diesem Thema vorgestellt.

VISUELLE INTERPRETATION MIT DIGITALER UNTERSTÜTZUNG

Bei der visuellen Luftbildauswertung werden meist Kronen interpretiert, die nach einem regelmäßigen Stichprobenraster ausgewählt sind. Dabei ergibt sich die für die praktische Arbeit wichtige Frage, wie die Interpretationsergebnisse aufgezeichnet und dokumentiert werden: Der Interpret sollte, während seine Arbeit fortschreitet, jeweils rasch auf bisherige Interpretationsergebnisse zurückgreifen können, sodaß er die Beurteilung einer neuen Baumkrone jederzeit auf die Einstufung der schon vorher interpretierten Bäume abstimmen kann. Fallweise ist dabei auch eine Korrektur früherer Interpretationen notwendig. Darüber hinaus muß eine Aufzeichnung der Interpretationsergebnisse in einer Form erfolgen, daß bei Folgeinventuren wieder dieselben Kronen angesprochen werden können: Nur dadurch sind zwischen zwei Inventurzeitpunkten erfolgte Baumentnahmen, die den vorhandenen Schädigungstrend sehr verfälschen könnten, eindeutig feststellbar und damit bei der Auswertung zu berücksichtigen.

Um eine Interpretationsarbeit nach diesen Richtlinien auf effektive Weise zu ermöglichen, wurde ein Interpretationsplatz eingerichtet, der ein hochwertiges Stereointerpretationsgerät (Wild Aviopret) mit einem digitalen Bilddisplaysystem (Grinnell) verbindet (Abb. 1): Der parallel geführte Bildwagen des Aviopret trägt den Cursor eines Digitalisiertablets. Dadurch werden die Position des Bildwagens und damit die Bildkoordinaten der jeweils vom Fadenkreuz der Betrachtungseinrichtung bezeichneten Baumkrone kontinuierlich in einen angeschlossenen Rechner eingelesen. Der Interpret gibt seine



Abb.1

Einschätzung der Krone (z.B. Baumart und Schädigung in Form von je einer Kennziffer) über eine Tastatur ein. Diese Interpretationsbefunde werden zusammen mit den Koordinaten der Krone abgespeichert und in kodierter Form als Kreisscheibe (z.B. Baumart als Farbe, Schädigung als Größe) auf dem Farbmonitor des Bilddisplaysystems angezeigt. Bei Bewegung des Bildwagens läuft auf dem Monitor ein Cursor mit, wodurch der Interpret sofort feststellen kann, ob bzw. wie ein bestimmter Baum schon interpretiert wurde. Korrekturen von bereits beurteilten Kronen sind möglich. Die eingespeicherten Daten können laufend statistisch ausgewertet und, wenn persönliche Trendkurven der Interpreten auf Grund von Testinterpretationen bekannt sind, korrigiert (normiert) werden.

Das Gerätesystem wurde bisher vor allem für Schulungszwecke und für methodische Untersuchungen an Bildmaterial verschiedener Bildmaßstäbe eingesetzt. Eines der Ergebnisse dieser Arbeiten sei hier kurz vorgestellt:

Das untersuchte Bildmaterial stammt von zwei Bildflügen, die im April 1984 (Bildflug A) und im August 1984 (Bildflug B) in Oberösterreich im Untersuchungsgebiet Burghausen - Ranshofen durchgeführt wurden. Zu jedem der beiden Aufnahmetermine wurden Farb-Infrarot-Luftbilder der Bildmaßstäbe 1:4000, 1:8000, 1:16000 und 1:32000 hergestellt. Die photographische Qualität der einzelnen Flugstreifen ist wegen wechselnder atmosphärischer Aufnahmebedingungen und verschiedener Flughöhen sehr unterschiedlich. Die visuelle Luftbildinterpretation wurde für Probeflächen durchgeführt, die von Taxatoren der Forstlichen Bundesversuchsanstalt auch terrestrisch-visuell beurteilt worden waren. Die "Schädigung" wurde dabei als "Kronenzustandsform" (Pollanschütz et al., 1985) in einer 5-stufigen Skala angegeben. Nimmt man einen Rangkorrelationskoeffizienten (z.B. von Spearman) zwischen terrestrischer Beurteilung und Luftbildinterpretation als Maß für die Interpretationsgüte, so ergeben sich die in Abb. 2 gezeigten Werte für die einzelnen Flugstreifen: Für den Frühjahrsflug (A) wurden die Maßstäbe 1:4000 und 1:8000 etwa gleich gut interpretiert, der Maßstab 1:16000 deutlich ungünstiger. Die Bilder des Maßstabs 1:32000 wurden wegen sehr schlechter photographischer Qualität gar nicht ausgewertet. Dagegen ist beim Sommerflug (B) das Ergebnis

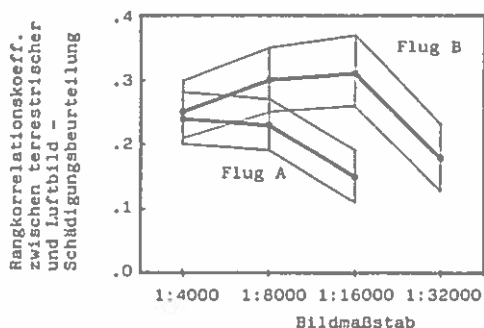


Abb. 2

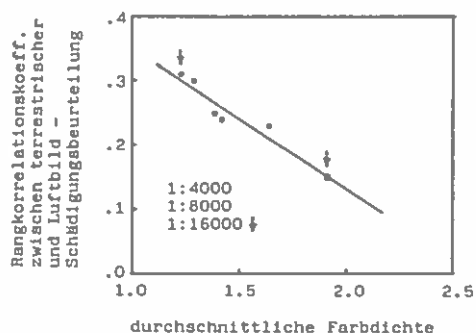


Abb. 3

für den Maßstab 1:4000 sogar etwas schlechter als für die Maßstäbe 1:8000 und 1:16000, und erst beim Maßstab 1:32000 ist ein deutlicher Abfall zu erkennen. Die Maßstabsabhängigkeit ist also in beiden Fällen völlig unterschiedlich. Ermittelt man jedoch die durchschnittliche Farbdichte von Nadelwaldbeständen auf den einzelnen Bildstreifen und trägt man diese Werte, wie in Abb. 3 gezeigt, auf der Abszisse und die mit den einzelnen Bildstreifen erzielte Interpretationsgüte, ausgedrückt als Rangkorrelationskoeffizient zwischen terrestrischer und Luftbildschadigungsbeurteilung, auf der Ordinate eines Diagramms auf, so erhält man einen fast exakt linearen Zusammenhang, selbst wenn man die drei Bildmaßstäbe 1:4000, 1:8000 und 1:16000 gemeinsam betrachtet. Damit liegt die Vermutung nahe, daß für Bildmaßstäbe zwischen 1:4000 und 1:16000 die photographische Qualität der Bilder von größerem Einfluß auf die Interpretierbarkeit ist als der Bildmaßstab. Die optimale durchschnittliche photographische Dichte der zu interpretierenden Nadelwaldbestände liegt nach diesem Ergebnis unter dem Wert $D = 1.2$. Es muß jedoch einschränkend bemerkt werden, daß dieses Resultat unter speziellen Bedingungen erzielt wurde (wenige Baumarten, im wesentlichen nur Fichte und Kiefer; nur Baum- und Altholzbestände). Darüber hinaus ist festzuhalten, daß die Interpretieren selbst das Arbeiten mit kleinen Bildmaßstäben (1:16000 und kleiner) als sehr schwierig und ermüdend bezeichnet haben, sodaß vielleicht schon aus diesem Grund doch ein größerer Bildmaßstab vorzuziehen ist.

OBJEKTIVIERTE SCHADIGUNGSBEURTEILUNG DURCH DIGITALE FARBKlassIFIKATION

Eine weitere Objektivierung der Schädigungsbeurteilung ist bei automatischer Klassifizierung der Baumkronen auf Grund ihrer Farbe zu erwarten. Entsprechende Versuche wurden mit den Luftbildern der oben erwähnten Bildflüge der oberösterreichischen Testgebiete durchgeführt.

Teile der Luftbilder sowohl des Frühjahrs- wie des Sommerfluges wurden mit dem Optronics-Trommelabtaster Colormation C4500 (Schneider, Plank, 1981) digitalisiert. Für die Bildmaßstäbe 1:4000, 1:8000 und 1:16000 wurde die Bildelementgröße 50 μ m, für den Bildmaßstab 1:32000 die Bildelementgröße 25 μ m gewählt. Aus den digitalen Daten wurden die den (terrestrisch beurteilten und auf den Luftbildern interpretierten) Baumkronen entsprechenden Bildelemente innerhalb quadratischer Flächen von (je nach Bildmaßstab) 3x3 bis 7x7 Bildelementen mit Hilfe eines Computerprogramms ausgewählt. Für jede Baumkrone wurden Mittelwerte und Maxima der Bildelementwerte in den drei Spektralbereichen Rot, Grün und Blau bestimmt, wobei hohe Werte niedrige Farbdichten und damit hohe Reflexion bedeuten. Die statistischen Verteilungen dieser Bildelementwerte für Kronen der einzelnen Baumarten wurden sowohl für die terrestrisch festgestellten Schädigungsklassen als auch für die visuell auf den Luftbildern interpretierten Schädigungsklassen untersucht.

Die Abb. 4 gibt die Ein-Sigma-Grenzen der Farbwerte von Baumkronen der einzelnen Schädigungsklassen in der Farbebene Rot (Infrarot) - Blau(Grün) unter der Annahme von Normalverteilungen wieder. Es zeigt sich, daß aus den Farbwerten allein, ohne Kenntnis der Baumart, die Schädigung nicht abgeleitet werden kann: Dieselben Farbwerte können bei unterschiedlichen Baumarten unterschiedliche Schädigungsklassen kennzeichnen. Innerhalb einer Baumart ist jedoch eine ausgeprägte räumliche, d.h. farbliche Trennung der vertretenen Schädigungsklassen 1 bis 3 bei jenen Bildmaßstäben gegeben, die auch visuell gut interpretiert werden konnten.

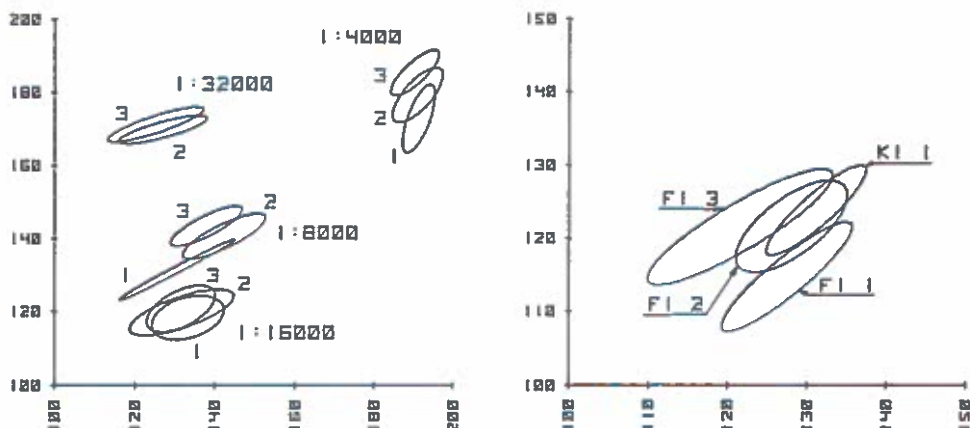


Abb. 4: Ein-Sigma-Grenzen der Farbwertevertelungen von Baumkronen der Schädigungsklassen 1 bis 3 für Fichte bei verschiedenen Bildmaßstäben (links) und für Fichte (FI) und Kiefer (KI) beim Bildmaßstab 1:4000 (rechts). Abszisse: Farbwert Rot, Ordinate: Farbwert Blau.

Die Baumart - deren Kenntnis eine Vorbedingung für die automatische Schädigungsklassifizierung auf Grund der Farbe ist - kann vor allem durch visuelle stereoskopische Interpretation der dreidimensionalen Kronenform identifiziert werden. Die optimale Auswertemethodik dürfte daher in der Kombination von visueller und digitaler Analyse liegen: Man läßt dabei den menschlichen Interpreten das tun, was er besser als jedes automatische System kann, nämlich Formen und Gestalten bei stereoskopischer Betrachtung beurteilen, und man überträgt dem Computer die Aufgabe, bei deren Bewältigung er dem Menschen eindeutig überlegen ist, nämlich Farbwerte exakt und reproduzierbar zu klassifizieren. Diese Methode wird gegenwärtig am Institut für Vermessungswesen und Fernerkundung auf einer größeren Fläche getestet.

LITERATUR

Pollanschütz, J., et al., 1985: Instruktion für die Feldarbeit der Waldzustandsinventur nach bundeseinheitlichen Richtlinien 1984-1988, Fassung 1985, herausgegeben von der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien.

Schneider, W. und Plank, H., 1981: Digitale Verarbeitung von Farb-Infrarot-Luftbildern - Bisherige Erfahrungen mit dem Bildabtaster "Optronics". Mitteilungen der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien, Heft 135, p 113 - 123.

Diese Untersuchungen wurden im Rahmen eines Auftrags des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung zur Entwicklung von Methoden der Kartierung von Waldschädigungen mit Hilfe von Farb-Infrarot-Luftbildern durchgeführt und bauen auf Arbeiten im Rahmen des Projekts "Rechnerunterstützte objektivierte Luftbildinterpretation" auf, das vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (Projekt Nr. 4489) und vom Jubiläumsfonds der Österreichischen Nationalbank (Projekt Nr. 2093) finanziert wird.

METHODISCHE FRAGEN DER WALDZUSTANDSERFASSUNG AM BEISPIEL DER LUFTBILD-FERNERKUNDUNG IM GEBIET LAVANTTAL-PETZEN

M. Seger

Universität Klagenfurt

VORBEMERKUNG

Am Institut für Geographie der Universität Klagenfurt werden Fragen der Anwendbarkeit von Fernerkundungsdaten als ein Arbeitsschwerpunkt des Institutes behandelt. Neben der digitalen Bildverarbeitung werden dabei auch die Möglichkeiten der Weiterentwicklung der konventionellen Bildinterpretation verfolgt. In diesem Zusammenhang beteiligt sich das Institut im Rahmen der Arbeitsgruppe "Fernerkundung" an der "Forschungsinitiative gegen das Waldsterben". Als Untersuchungsgebiet wurde der Raum Lavanttal-Petzen im Osten des Bundeslandes Kärnten gewählt. Das Nord-Süd verlaufende Lavanttal, begrenzt von den um 2000 m hohen Bergzügen der Koralpe im Osten und der Saualpe im Westen ist wegen eines thermischen Kraftwerkes (St. Andrä) und wegen industriellen Emittenten (Frantschach) seit langem als Rauchschadensgebiet bekannt. Auch der südlich davon und an der Grenze zu Jugoslawien gelegene Kalkstock der Petzen (2100 m) wird durch bekannte Emittenten, vorwiegend durch eine Blei-Zink-Erzaufbereitung jenseits der Grenze, belastet. Im Sommer 1984 wurden Farbinfrarot-Meßbilder erstellt, wobei jeweils zum Emittenten hin offene und damit relativ stark belastete Gebiete erfaßt wurden. Um die Veränderungen des Waldzustandes mit der Höhe zu dokumentieren, wurden die Meßflüge als Profile vom Talboden bis in 1700 m angesetzt. Daneben wurde die deutlich geschädigte Lokalität Wallersberg in der Niederung des Kärntner Beckens erfaßt.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die bei der Bildauswertung dieser Gebiete und bei zusätzlichen Untersuchungen (Bleikerzen-Meßkette im Befliegungsprofil) gewonnenen Erkenntnisse.

ANFORDERUNGEN UND MÖGLICHKEITEN DER FERNERKUNDUNG BEI DER WALDZUSTANDSERFASSUNG

Die Anwendung von Fernerkundungsverfahren für praxisbezogene wissenschaftliche Fragestellungen erfordert eine Zuordnung der Fernerkundung zur jeweiligen Problemstellung. Das gilt sowohl für die Wahl der Methodik wie auch für die zu erwartenden Ergebnisse. Die Waldzustandserfassung erfolgt in Österreich über die ab 1984 jährlich und bundesweit durchgeführte Waldzustandsinventur (WZI). Dabei wird - analog zur Vorgangsweise in der BRD und in der Schweiz - der Vitalitätszustand einer Anzahl von Einzelbäumen der Altersklassen Baumholz und Altholz in bestimmten Probeflächen ermittelt. Die Anordnung der Probeflächen in einem Raster von 4 km Seitenlänge ermöglicht differenzierte Aussagen über den Zustand des Waldes auf statistischer Grundlage und damit jeweils nur für größere Räume, etwa Bundesländer. Über den kleinräumigen Wandel des Waldzustandes, der besonders in Waldschadens-Problemgebieten von Interesse ist, vermag die WZI nur spärliche Informationen zu liefern. Das gilt besonders im stärker reliefierten Gelände. Hier setzt die Fernerkundung an, die über die flächenhafte Erfassung von Waldbeständen die für regionale Waldschadensfragen notwendige Informationsdichte zu liefern vermag. Aus Gründen der Vergleichbarkeit und Zuordnung zu dem weitgehend standardisierten Verfahren der Waldzustandsinventur ist es jedoch notwendig, daß beim Einsatz der Fernerkundung zu Waldschadensfragen die Zustandserfassung an jene WZI angeglichen wird. Das bedeutet konkret, daß der einzelne Baum das kleinste Beurteilungselement darstellen muß. Mit dieser Forderung wird zugleich das Fernerkundungsverfahren festgelegt, nämlich der Einsatz der Luftbildphotographie und des Farbinfrarotfilmes. Alle anderen Fernerkundungsverfahren bleiben z.Z. in der Genauigkeit der Waldzustandserfassung hinter diesem Verfahren zurück und stellen daher in Bezug zu den Ergebnissen der WZI keine Verbesserung des Informationsstandes dar. Die Verwendung des Farbinfrarotfilmes stellt zudem ein gängiges Verfahren in der Forstwissenschaft dar (vgl. dazu HILDEBRAND 1981), welches auch in Österreich bereits Tradition hat (POLLANSCHOTZ 1981). Neu sind dagegen verbesserte Interpretationsverfahren, die die Analogie der Beurteilungskriterien von Einzelbäumen mit jenen der WZI ermöglichen. Neu ist auch die auf homogene Bestände ausgerichtete Weiterverarbeitung der dabei gewonnenen Daten. Arbeiten dazu liegen aus der BRD (z.B.: SCHÜPFER-HRADETZKY 1984, HUSS 1984) und aus Vorarlberg (ZIRM et.al.1985) vor.

Mit der Möglichkeit, eine Vielzahl von Waldbeständen nach den Kriterien der WZI zu beurteilen, erreicht die Fernerkundung mittels Farbinfrarotfilm das Ziel, detaillierte und im Vergleich zur WZI verdichtete Informationen über den Waldzustand zur Verfügung zu stellen. Die dabei erfaßten Bestandesareale stellen zugleich bestimmte ökologische Standorttypen dar. Es liegt nun nahe, die jeweilige Bestandesvitalität mit Standortmerkmalen in Beziehung zu setzen, wodurch zur Abklärung der Frage, ob der Bestandeszustand auch durch edaphische Faktoren bedingt sein kann, beigetragen wird. Standortökologische Parameter sind zwar stets durch Feldkartierung und etwa in Anlehnung an die Aufnahmetechnik der Forstinventur zu erheben - erste Hinweise zur ökologischen Beschaffenheit von Bestandesarealen sind jedoch ebenfalls dem Luftbild entnehmbar. Durch die Verknüpfung der Bestandesvitalität mit standortökologischen Daten, die über den Bestand sowohl als Bildinterpretationseinheit wie auch als Ökotyp gegeben ist, erweist sich die Nutzbarkeit der gegenständlichen Fernerkundungsmethodik. Sie ist Grundlage für einen weiteren, standortökologisch orientierten Forschungsbereich. Dieser leitet im regionalen Maßstab und damit entsprechend differenziert von der Ermittlung des status quo zu Erklärungszusammenhängen über.

Abb. 1: Arbeitsablauf der Waldzustandserfassung als Fernerkundung mittels Farb-Infrarotfilm
A = Arbeitsschritt, R = Resultat, P = zu beachtende Probleme

R:	A: Testgebietsauswahl, Flugplanung und Durchführung des Meßfluges	P: Optimierung der Lage der Flugstreifen und des Maßstabes, Kompromiß zwischen möglichst großmaßstäbigen Bildern und wirtschaftlichen Erwägungen in Abhängigkeit von der Zielsetzung. Objektwahl, Witterungsfragen u.a.m.
	A: Farbinfrarot-Reihenmeßbilder in entsprechender Farb- und Auflösungsqualität	
R:	A: Bestandesauswahl und Ausgrenzung im IR-Bild	P: Interpretierbarkeitskriterien: Bestandesalter (Kronengröße). Homogenitätskriterien: Bestandeshomogenität, standortökologische Homogenität. Stichprobenkriterium: Stichprobenmenge ausreichend für statistische Belange
	A: interpretierbare, homogene Waldbestände als Untersuchungseinheiten	
R:	A: Stichprobenauswahl der zu interpretierenden Einzelbäume	P: Stichprobe aus Bestand nach Zufallskriterien: Stichprobenraster. Stichprobenumfang pro Bestand muß statistischen Anforderungen genügen.
	A: Einzelbäume als räumliche Stichprobe pro Bestand	
R:	A: Interpretation: Beurteilung der Einzelbäume: Zuordnung zu Vitalitätsstufen 1 - 4	P: Interpretationsschlüssel, geschulte Interpreten, Verifikation im Gelände, Abgleich mit Vitalitätsstufen der WZI, Datendokumentation
	A: Häufigkeiten der Vitalitätsstufen 1 - 4 nach Baumarten für Stichprobe (absolut, relativ)	
R:	A: Ermittlung einer Bestandes-Vitalitätskennziffer (Vitalitätsindex)	P: Bestandes-Vitalitäts-Kennziffer-gewichtetes arithmetisches Mittel der Häufigkeit der Vitalitätsstufen. Auch andere Kennwerte möglich. Informationsverlust bei Reduktion auf einen Kennwert.
	A: Kennziffer (Indexwert) zur Beschreibung des Vitalitätszustandes eines Bestandes	
R:	A: Darstellung des Waldzustandes im Untersuchungsgebiet	P: Karte: Darstellung nach Bestandes-Vitalitätsklassen, Probleme der Klassengrenzen, kartographische Fragen
	A: STATISTIK - DIAGRAMM - KARTE und zugehörige Erläuterungen	
Ende der Waldzustandserhebung mittels IR-Fernerkundung Verwendung der Ergebnisse als differenzierte Dokumentation des status quo oder für weiterführende Analysen		
Weiterführende Analysen: Erforschung der Zusammenhänge zwischen Bestandeszuständen und ökologischen (atmosphärischen bzw. edaphischen bzw. biotischen) Parametern.		

DIE WALDZUSTANDSERFASSUNG MITTELS FARB-IR-FILM

Die Ermittlung des Waldzustandes durch Feststellung der Bestandesvitalität ist ein mehrschichtiger Prozeß, dessen wesentliche Arbeitsschritte und Zwischenergebnisse zusammen mit einigen der dabei zu beachtenden Probleme in Abb. 1 dargestellt sind. Neben einer optimalen Bildqualität (Ausgewogenheit der Farbwerte) erwies sich ein Maßstab nicht kleiner als 1 : 8000 als günstig für die Interpretation, weil die Kronenstruktur bei kleineren Maßstäben nicht mehr mit der entsprechenden Sicherheit zur Vitalitätseinstufung mit herangezogen werden kann. Das gilt besonders für die Verhältnisse im Bergland, wo die Kronen auch alter Bäume häufig kleiner sind als an optimalen Standorten. Die Verwendung eines Objektivs mit langer Brennweite reduziert den zentralperspektivischen Effekt, wodurch auch noch Bestände am Bildrand stereoskopisch erfassbar sind.

Zur Interpretation wurden Bestände der Altersklassen Baumholz und Altholz ausgewählt, was ebenso wie die Verwendung der Vitalitätsstufen 1 - 4 eine Parallelität zur Waldzustandsinventur darstellt. Die Bestände wurden so abgegrenzt, daß sie nicht nur nach dem Bestandeszustand (Alter, Baumartenmengung), sondern auch nach Standortkriterien als in sich homogen gelten können. Diese Gliederung erfolgte in Hinblick auf eine spätere Kombination mit bestimmten Standortmerkmalen. Die Auswahl der pro Bestand zu interpretierenden Bäume wurde mittels einer Stichproben-Rasterfolie (vgl. ZIRM 1985) durchgeführt. Die Zuordnung zu Vitalitätsstufen erfolgte nach den von POLLANSCHÖTZ entwickelten Richtlinien der FBVA sowie nach dem Interpretationsschlüssel von MASUMY 1984.

Die Vitalitätsstufen werden wie folgt benannt: 1 gesund, 2 schwache Verlichtung, 3 mittlere Verlichtung, 4 starke Verlichtung.

Auf Probleme bei der Interpretation sei hier nicht näher eingegangen, vgl. dazu POLLANSCHÖTZ und auch SCHNEIDER in diesem Band sowie auf die Bilddokumentation bei SEGER 1985. Es wird auf die Notwendigkeit einer sehr guten Einschulung der Interpreten und auf oftmalige Verifikationen im Gelände mit Nachdruck hingewiesen. Demnach konnten zu kleine Kronen, speziell bei Kiefern oder bei "diffusen" Schadbildern nicht befriedigend sicher eingestuft werden; solche Bestände wurden eliminiert.

Als Ergebnis der Interpretation gelangt man pro Bestand zu Häufigkeiten der Vitalitätsstufen 1 - 4 nach Baumarten. Die Stichprobe umfaßt in Abhängigkeit vom Maßstab 0,7 - 2,5 % der Grundgesamtheit. Die Vielzahl der Bestände zwingt zur Datenreduktion durch Bildung eines Mittelwertes (gewichtetes arithmetisches Mittel), der die Bestandes-Vitalitätskennzahl (den Vitalitätsindex) darstellt. Der Mittelwert wurde für die Baumart Fichte errechnet, die Einbeziehung anderer Baumarten ist ein noch nicht abgeklärtes Gewichtungssproblem.

Für die vier Teilgebiete des Untersuchungsraumes ergaben sich (Baumart: Fichte) folgende durchschnittliche Bestandes-Vitalitätskennzahlen:

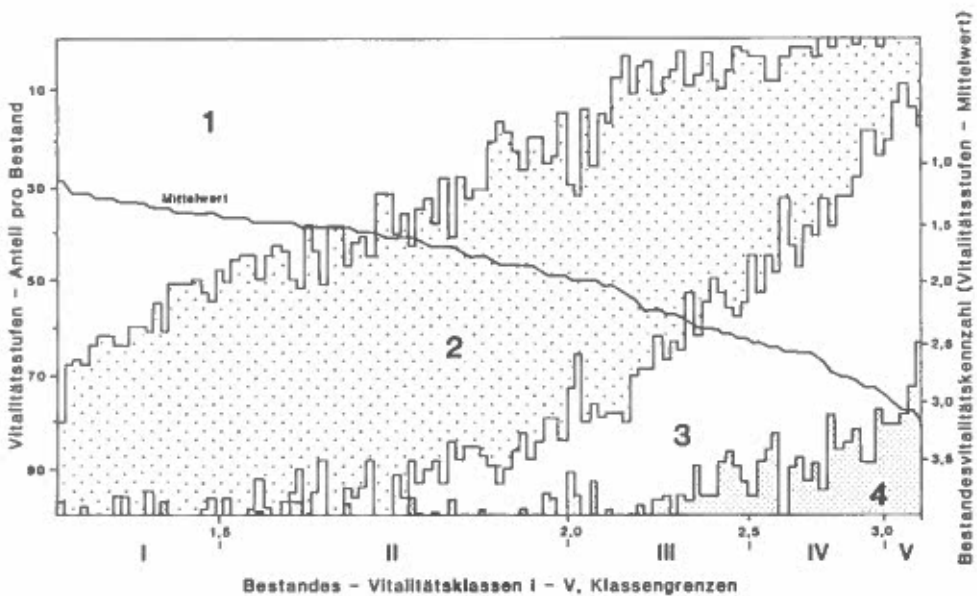
Teilgebiet	Vitalitätszahl	Zahl der Bestände
Profil Koralpe	2.2	43
Profil Saualpe	1.5	52
Profil Petzen	1.7	26
Wallersberg	2.8	15

Diese Werte liegen z.T. merklich über den Werten der jeweils benachbarten Probe­flächen der Waldzustandsinventur. Dies liegt nicht nur daran, daß die Testprofile in exponierter Lage situiert wurden, sondern auch an der aus ver­schiedenen Gründen "schärferen" Beurteilung der Bäume bei der Bildinterpre­ta­tion (vgl. dazu die Anmerkungen von POLLANSCHOTZ bei ZIRM 1985)

MÖGLICHKEITEN DER KLASSIFIZIERUNG VON WALDZUSTANDSDATEN

Mit der Bestimmung von Vitalitäts-Kennzahlen erhebt sich die Frage nach der Aussagekraft dieses Wertes. Einen diesbezüglichen Einblick gibt Abb. 2, in welcher alle untersuchten Bestände nach fallendem Mittelwert der Vitalitäts­stufen, also nach der Vitalitätskennzahl, geordnet wurden. Die anteilige Glie­derung jedes Bestandes nach Vitalitätsstufen zeigt den Zusammenhang zwischen der Vitalitäts-Kennzahl und dem zugehörigen Auftreten der Vitalitätsstufen.

Abb. 2: Darstellung wichtiger Merkmale der Waldzustandserhebung mittels Fernerkundung am Beispiel der bestandesweisen Informationen im Untersuchungsgebiet Lavanttal-Petzen. Reihung der Bestände nach der Vitalitäts-Kennzahl (nach dem Mittelwert der Vitalitätsstufen), Umfang, Reichweite und Verschränkung der einzelnen Vitalitätsstufen, Bildung von Vitalitätsklassen I-V



Bei einer (zunächst willkürlichen) Gliederung der Vitalitäts-Kennzahl in fünf Klassen ergibt sich dabei der folgende durchschnittliche Zusammenhang:

Tab. 1: Vitalitätsklassen, ihre Grenzwerte und Häufigkeit sowie ihre durchschnittliche Besetzung mit Vitalitätsstufen

Vitalitäts- klasse	Vitalitäts- kennzahl	Vitalitätsstufe (Anteil in %)				Anteil im Untersuchungs- gebiet in %
		1	2	3	4	
I	bis 1,5	58	40	2	-	19
II	1,5-2,0	33	57	9	1	41
III	2,0-2,5	14	54	25	7	21
IV	2,5-3,0	7	32	47	13	15
V	über 3,0	-	17	55	27	4

Die Darstellung macht auch die weitreichende Verzahnung der Vitalitätsstufen deutlich. So kommt z.B. bei der Dominanz einer mittleren Verlichtung noch ein gewisser Anteil gesunder Bäume vor. Es fällt daher schwer, die Vitalitätsklassen mit Begriffen zu belegen. Daneben stellt sich etwa die Frage, ob die Bestände in der Vitalitätsklasse I mit einer Kennzahl bis 1,5 und einem durchschnittlichen Anteil der Vitalitätsstufe 2 von 40 % noch als gesund anzusehen sind. Das führt zur Diskussion über die Bedeutung der Vitalitätsstufe 2. Unsere Ansicht, daß die Vitalitätsstufe 2 im Bergland aufgrund widriger klimatischer und edaphischer Verhältnisse häufig weder besonderen Streß noch Luftschadstoff-Auswirkungen anzeigen muß, wird von MUSSMER 1985 bekräftigt.

So kommt der Vitalitätsstufe 3, mittlere Verlichtung, besondere Bedeutung zu. Kann nicht durch den Anteil dieser Stufe 3 (vgl. auch Abb. 2) ein Bestand ebenso gut charakterisiert werden wie durch die abstrakten Begriffe der Vitalitäts-Kennzahl und der Vitalitätsklasse? Einen diesbezüglichen Vergleich zeigt Abb. 3. Besonders die Vitalitätsklassen II und III könnten gut durch den Anteil der Vitalitätsstufe 3 wiedergegeben werden, was auch die folgende Tabelle deutlich macht:

Tab. 2: Zusammenhang zwischen Vitalitätsklassen und Anteilsgruppen der Vitalitätsstufe 3 (n = 97 Bestände)

		Vitalitätsklasse				
		I	II	III	IV	V
Vitalitätsstufe 3	65 %	-	-	-	2	2
	40-65 %	-	-	2	12	2
	15-40 %	-	1	24	1	-
	3-15 %	3	24	-	-	-
	0-3 %	12	12	-	-	-

Abb. 3: Die Aussagekraft der Vitalitätsstufe 3.
 Kombination von Häufigkeitsintervallen der Vitalitätsstufe 3
 mit einer Gliederung der Bestände nach fünf Vitalitätsklassen.
 Dargestellt anhand der interpretierten Bestände im Gebiet
 Lavanttal-Petzen

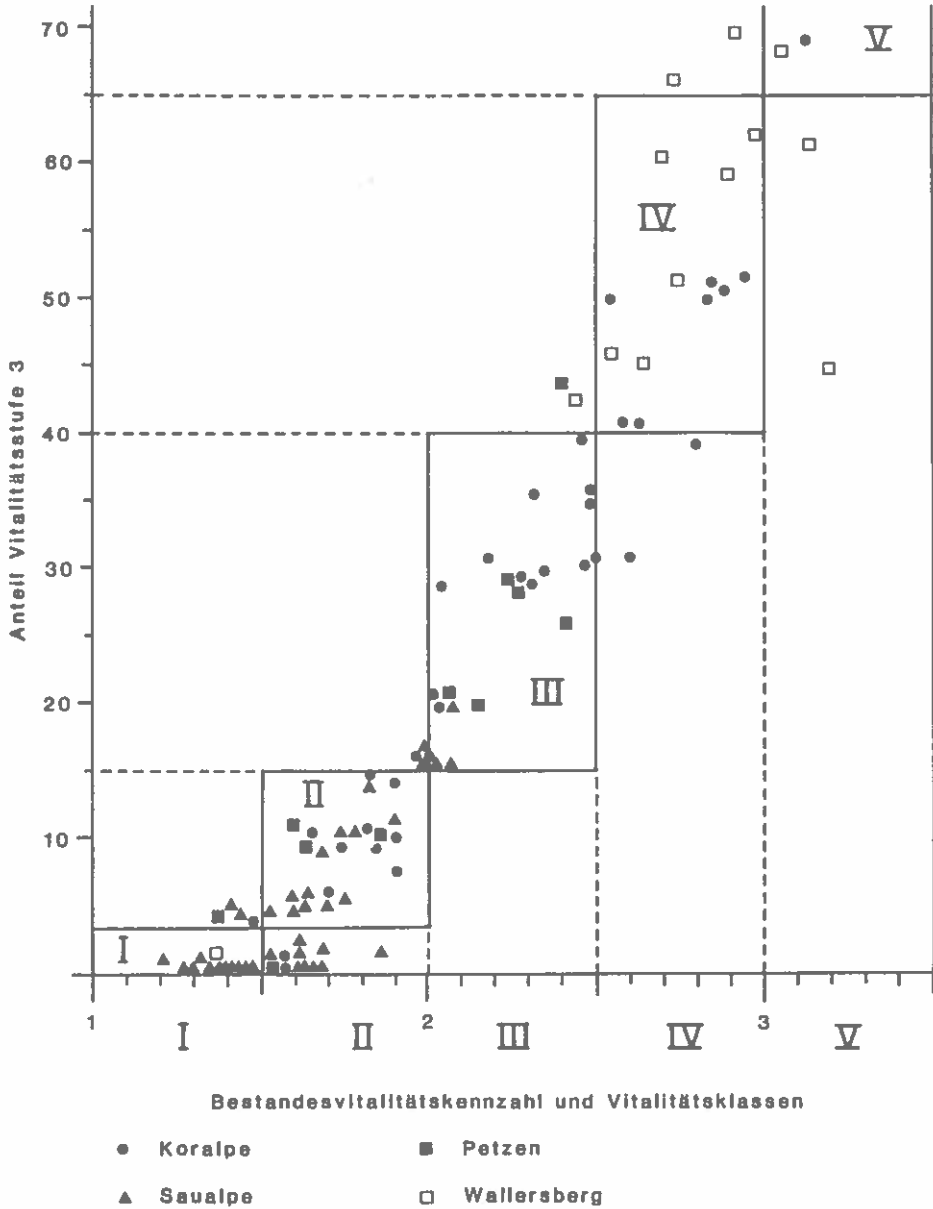
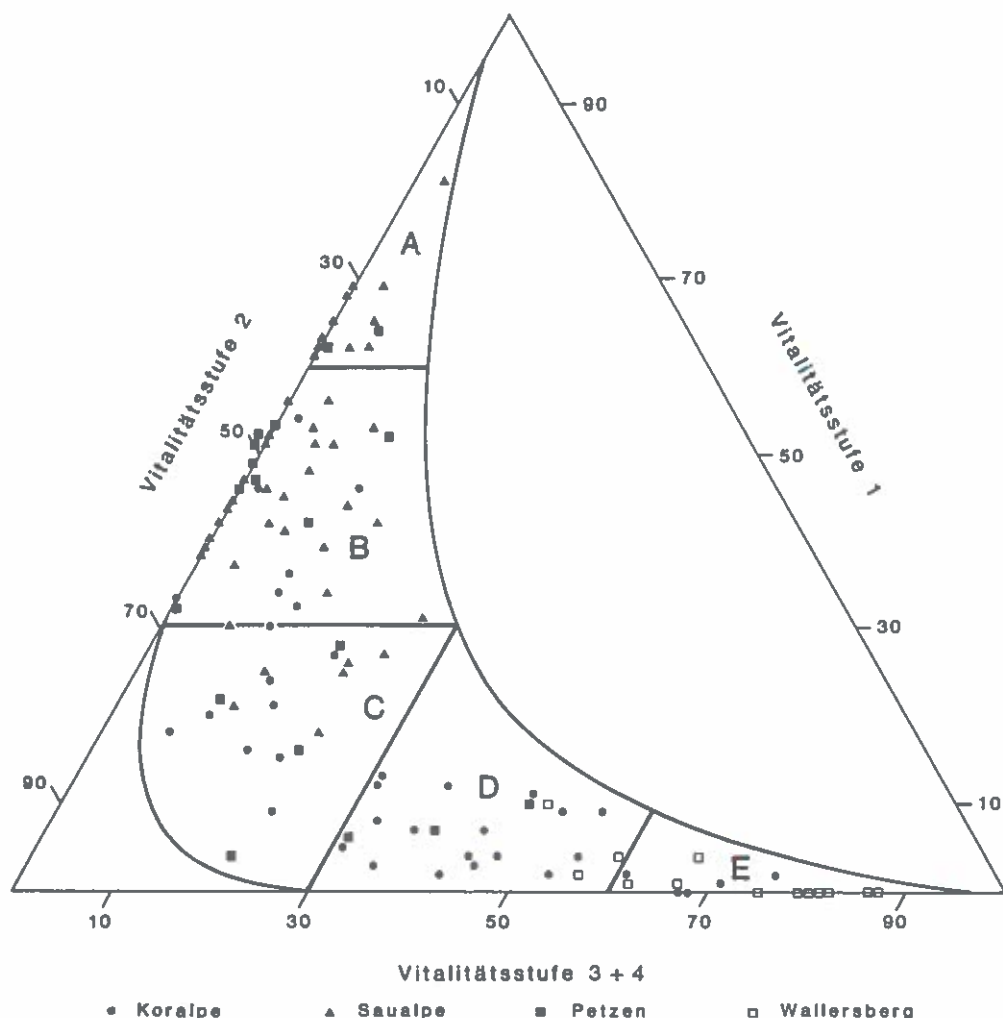


Abb. 3 gibt daneben Auskunft über die unterschiedliche Bestandesvitalität der vier Teilräume des Untersuchungsgebietes. Dabei schneiden Wallersberg (in der Niederung des Kärntner Beckens) und Koralpe besonders schlecht ab, während die Sauvalpe über einen vergleichsweise guten Bestandeszustand verfügt.

Abb. 4: Beispiel der Klassifizierung nach Vitalitätsstufen-Grenzwerten.
Typisierung der Bestände nach primären Waldzustandsmerkmalen



Die Qualität einer Visualisierung von Datenbeständen steigt mit Information, die einer Darstellung zu entnehmen ist. Daher wird ein Diagramm vorgestellt, in welchem die einzelnen Bestände sowohl nach ihrer Zugehörigkeit zu den Teilräumen des Untersuchungsgebietes wie auch nach Vitalitätsstufen enthalten sind (Abb. 4). Die Bestände sind im Dreiecksdiagramm in charakteristischer Weise sichelförmig angeordnet, was mit der Ausschließlichkeit des gemeinsamen Auftretens von extremen Vitalitätsstufen zusammenhängt. Im Gegensatz zur Klassenbildung nach der Vitalitätskennzahl (Abb. 2) kann hier eine Klassifikation durch die Festlegung von Grenzwerten der einzelnen Vitalitätsstufen durchgeführt werden. Die Zusammenfassung der Vitalitätsstufen 3 und 4 trägt dem Umstand Rechnung, daß bei diesen Verlichtungsgraden mit großer Wahrscheinlichkeit entsprechende Schadenseinflüsse vorliegen.

Tab. 3: Grenzwerte für Waldzustandsklassen nach Vitalitätsstufen (zu Abb. 4)

Waldzustands- klassen	Vitalitätsstufe		
	1	2	3+4
A	> 60 %		
B	30-60 %		
C	< 30 %		> 30 %
D			30-60 %
E			< 60 %

Bei der Gliederung der Bestandesverteilung in Abb.4 wird davon ausgegangen, daß eine Typisierung nach einer fünfstufigen Abfolge von "Waldzustandsklassen" analog zu den Vitalitätsklassen angestrebt wird. Ferner wird postuliert, daß es sinnvoll ist, eher gesunde Bestände durch den Anteil gesunder Bäume zu charakterisieren und vice versa. Daher werden die Grenzwerte der extremen Vitalitätsstufen als Klassengrenzen verwendet. Andere Gliederungen und Abgrenzungen im dreidimensionalen Raum des Diagrammes, etwa im Zusammenhang mit den Vitalitätsklassen, sind ebenso denkbar. Die Klassifizierung nach Schwellenwerten der Vitalitätsstufen ist einprägsam, weil sie bekannte Begriffe verwendet. Sie stellt zudem keine unangemessene Informationsreduktion dar, weil vom Umfang einer Vitalitätsstufe auf die durchschnittliche Präsenz der übrigen Stufen geschlossen werden kann (vgl. Abb.2).

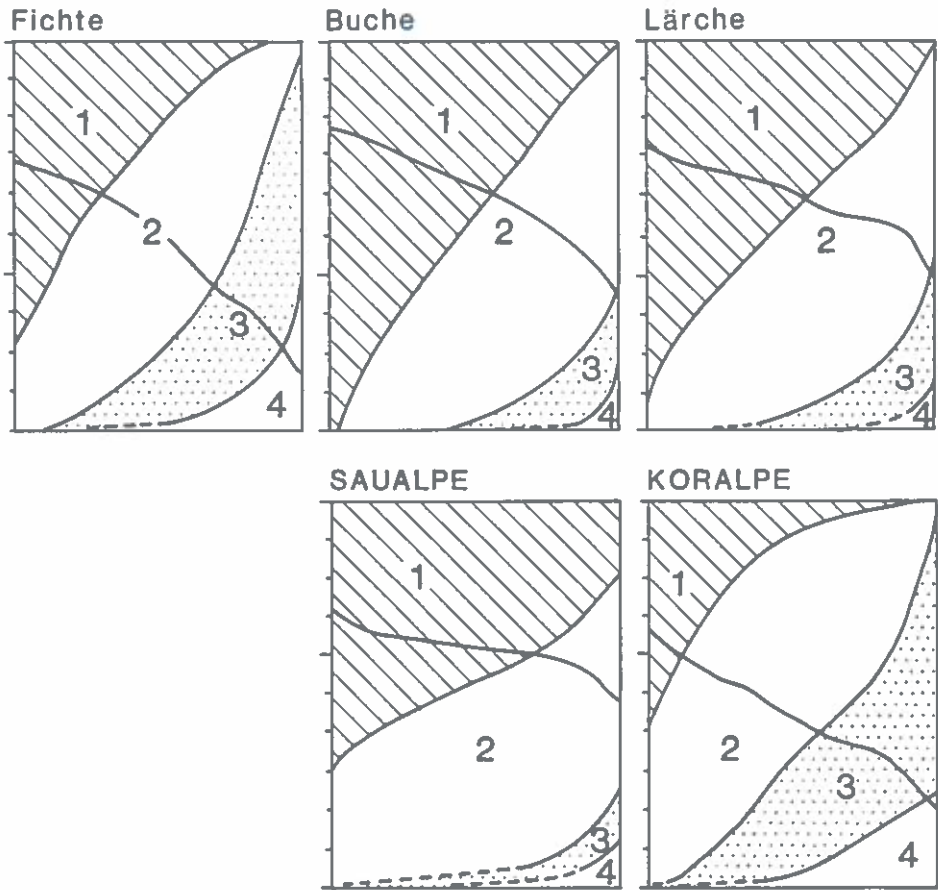
Die in diesem Abschnitt angesprochenen Fragen der Datenstrukturierung betreffen nicht nur die Waldzustandsermittlung durch Fernerkundung, sondern ebenso die Analyse der Waldzustandsinventur.

DIE ERGEBNISSE DER WALDZUSTANDSERFASSUNG MITTELS FERNERKUNDUNG UND EIN VERGLEICH MIT LUFTQUALITÄTSMESSDATEN

Der generelle Zustand des Waldes in den Testgebieten des Untersuchungsraumes, der auch aus den bislang vorgestellten Darstellungen ablesbar ist, ist aus Tab.4 zu ersehen. Am stärksten beeinträchtigt ist die Lokalität Wallersberg, gefolgt von Petzen und Koralpe. Das Teilgebiet Saualpe, im Westen des Lavanttales gelegen und damit in bezug auf die Luftschadstoffausbreitung in diesem Raum begünstigt, zeigt auch die geringste Verminderung der Bestandesvitalität.

Der Waldzustand eines Untersuchungsgebietes kann auch durch einprägsame Diagramme (Abb.5) dargestellt werden. So unterscheiden sich z.B. die Gebiete Saualpe und Koralpe schon auf den ersten Blick aufgrund der verschieden großen Flächen, die von den einzelnen Vitalitätsstufen eingenommen werden. Diese Abbildungen zeigen darüber hinaus, wie sehr die Verteilungsdiagramme der Vitalitätsstufen (z.B. Abb.2) vom Waldzustand im jeweiligen Untersuchungsgebiet abhängig sind. Auch für die unterschiedlichen Baumarten wurden analoge Diagramme erstellt (vgl. dazu den Beitrag von P.MANDL). Sie belegen die Ähnlichkeit des durchschnittlichen Vitalitätsbildes von Buche und Lärche und deren im Vergleich zur Fichte geringe Vitalitätseinbuße. Etwa 90% der Buchen und Lärchen, aber nur etwa 60% der Fichten zeigen keine oder nur geringe Vitalitätsverluste.

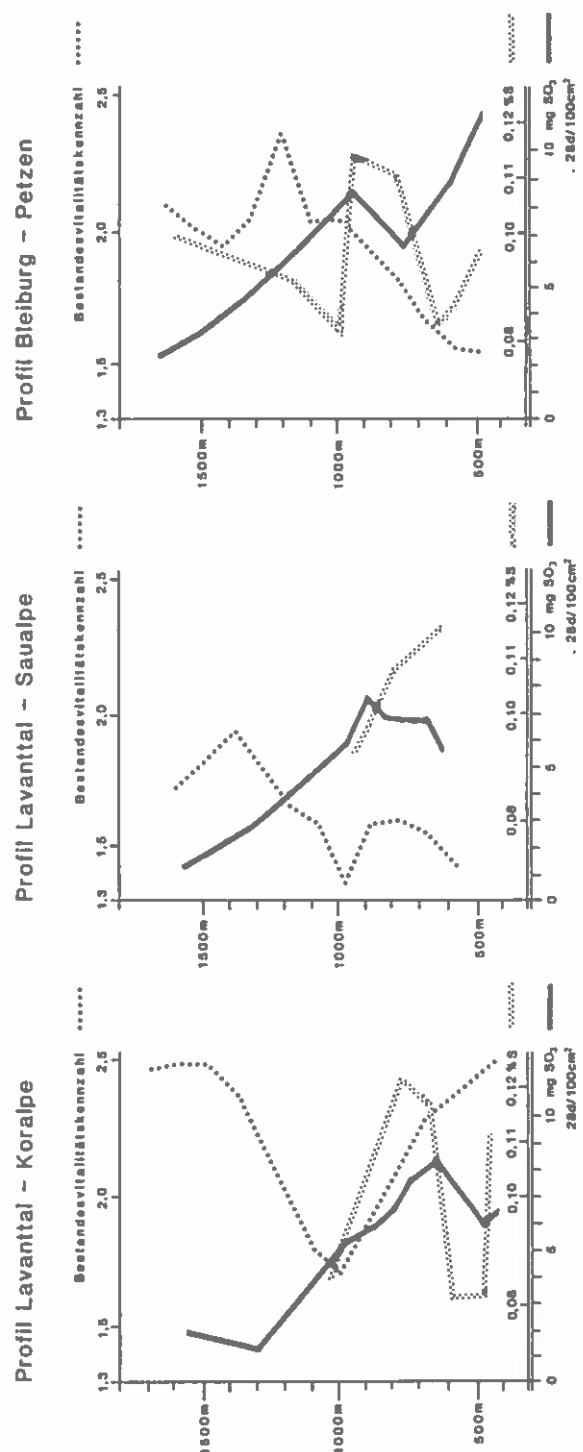
Abb. 5: Waldzustandsdiagramme für ausgewählte Baumarten und Untersuchungsgebiete. Vergleichbarkeit der Vitalitätsstrukturen durch standardisierte Visualisierung.
 1 - 4 Vitalitätsstufen. X-Achse: Summe der Bestände. Y-Achse: Vitalitätsstufen pro Bestand. Vgl. auch Abb. 2



Tab. 4: Der Waldzustand in den Testprofilen Lavanttal-Petzen
 n = Zahl der Bestände

Teil- gebiet	n	Anteile an Bestandes-Vitalitätsklassen in %					Vit.K1. Vit.K2l.
		I (1,0-1,5)	II (1,5-2,0)	III (2,0-2,5)	VI (2,5-3,0)	V (3,0 ,+)	
Koralpe	43	5	35	32	25	3	
Saualpe	52	37	55	8	-	-	
Petzen	26	10	40	50	-	-	
Wallersberg	15	-	-	12	56	32	
insgesamt	136	19	41	21	15	4	

Abb. 6: Bestandesvitalität, SO₂-Belastung und Nadelanalysenwerte im Höhenprofil der Teilgebiete Koralpe, Säualpe und Petzen



Bildinterpretation: Bestandesvitalitätskennzahl
 Blindkaternetz, Nadelanalysen: % Schwefel
 Luftbelastung, Bleikerzenderrechnitwert
 Winter 1984/85: mg SO₂ · 28d/100 cm²

Für eine weiterführende Analyse des Vitalitätszustandes bietet sich in den untersuchten Profilen eine Differenzierung nach Höhenstufen primär an. Sie wird in Abb. 6 gemeinsam mit den Ergebnissen einer Luftschadstoffmessung und mit den Daten aus dem Bioindikatornetz dargestellt. Die Luftschadstoffmessung wurde als Bleikerzen-Meßkette in den Testprofilen während des Winters 1984/85 durchgeführt. Das Bioindikatornetz wurde durch die Landesforstdirektion Kärnten im Testbereich entsprechend verdichtet. Wie nicht anders zu erwarten, zeigen die Profilverläufe aus unterschiedlichen Gründen nur teilweise Übereinstimmungen. Allen Testprofilen ist nur eine Tendenz gemeinsam, nämlich deutliche Vitalitätseinbußen in Höhen über 1200m bei gleichzeitig mit zunehmender Höhe rückläufigen SO_2 -Belastungen. Hier wird das Phänomen "neuartiger Waldschäden" vermutet. Die Auswirkungen besonders karger Standorte, der Nähe zur Baumgrenze und eines hohen Bestandesalters müssen jedoch entsprechend berücksichtigt werden.

Im Profil Lavanttal-Koralpe sind hohe Luftbelastungen dort zu beobachten, wo in 600-700m Höhe die Abgasfahne des Emittenten den Koralpenabhang erreicht. Von dort weg nehmen die Schadstoffeinflüsse mit zunehmender Höhe ab. Auch der Waldzustand bessert sich mit der Höhe. Zwischen 1300m und 1500m wurden jedoch, vorwiegend in Altbeständen und an exponierten Standorten -d.h. in Luvlage zum Emittent - erneut überaus deutliche Vitalitätsminderungen festgestellt. Das Profil Lavanttal-Saualpe zeigt in abgeschwächter Form ähnliche Erscheinungen. Im Profil Bleiburg-Petzenschließlich zeigt sich in Talnähe eine relativ günstige Bestandesvitalität bei gleichzeitig vergleichsweise hoher Luftbelastung. Entsprechend günstige Standortverhältnisse und das Bestandesalter "Baumholz" erklären dieses Paradoxon. In Abhängigkeit von der Reliefbeschaffenheit in bezug auf die Ausbreitung von Emissionen zeigen die SO_2 -Meßwerte und die Nadelanalysen hohe Werte in ca. 900m Höhe. Auch die Bestandesvitalität nimmt mit der Höhe ab, doch spielen bei den Bestandeskennzahlen um 1200m auch die kargen Standorte auf Kalk eine entsprechende Rolle.

Mit der Auswertung des Bildmaterials der Testprofile wurde nur ein sehr kleiner Ausschnitt des Untersuchungsraumes erfaßt. Entsprechend sind die Ergebnisse einzustufen. Die Interpretation des 1985 durchgeführten umfangreichen Bildmeßfluges im Rahmen der Forschungsinitiative gegen das Waldsterben wird ein abgerundetes Bild über die Differenzierung des Waldzustandes im Raum Lavanttal-Petzen erbringen.

ZUSAMMENFASSUNG

Sowohl die Ergebnisse der Farbinfrarot-Fernerkundung im Testgebiet des Raumes Lavanttal-Petzen, Kärnten, Österreich, wie auch dabei aufgetretene methodische Fragen werden behandelt. Soll Fernerkundung einen praxisbezogenen Beitrag zur Waldzustandsforschung leisten, so kommt unter Berücksichtigung der Methodik der Waldzustandsinventur nur das Farbinfrarotbild und seine sachgerechte Interpretation in betracht. Der Ablauf der zugehörigen Arbeitsschritte wird beschrieben. Die Frage, in welcher Form bei einer Vielzahl von interpretierten Beständen der Vitalitätszustand pro Bestand durch eine Kennziffer ausgedrückt werden kann, wird anhand unterschiedlicher Möglichkeiten der Klassenbildung und der graphischen Darstellung beleuchtet. Der Waldzustand in den Testgebieten von Koralpe, Saualpe, Petzen und Wallersberg wird beschrieben. Insbesondere wird ein Höhenprofil, in dem auch Luftbelastungs- und Nadelanalysendaten enthalten sind, vorgestellt. Eine ausführliche Studie wird im Zusammenhang mit einem umfangreichen Meßflug zur Zeit erarbeitet.

Schlüsselwörter: Waldzustandserfassung, Farbinfrarot-Fernerkundung, Klassenbildung, Visualisierung, Kärnten.

LITERATURHINWEISE

- FORSTLICHE BUNDESVERSUCHSANSTALT, 1981: Instruktion für die Feldarbeit der Österreichischen Forstinventur.
- HILDEBRANDT, G., 1981: Einsatz von Fernerkundungsverfahren in der Forstwirtschaft. In: Österreichisches Symposium Fernerkundung 1980, Mitt. FBVA 135, S. 17-34.
- HUSS, J. (Hrsg.), 1984: Luftbildmessung und Fernerkundung in der Forstwirtschaft.
- KENNEWEG, H., 1980: Luftbildinterpretation und die Bestimmung der Belastung und Schäden in vitalitätsgeminderten Wald- und Baumbeständen. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt Bd. 62.
- MASUMY, S., 1984: Interpretationsschlüssel zur Auswertung von Infrarot-Luftbildern für die Waldschadensinventur. In: Allgemeine Forstzeitschrift H. 27, S. 687-689.
- MÜSSMER, R., 1985: Verteilung der Waldschäden in den Bayrischen Alpen. In: Forstwiss. Centralblatt 104, S. 104-122.
- POLLANSCHOTZ, J., 1981: Großräumige Immissionszonenkartierung in Steiermark und Tirol mit Falschfarbenluftbildern. In: Österreichisches Symposium Fernerkundung 1980, Mitt. FBVA 135, S. 125-135.
- POLLANSCHOTZ, J. et.al., 1985: Instruktion für die Feldarbeit der Waldzustandsinventur nach bundeseinheitlichen Richtlinien. Manuskript.
- SCHOPFER, W. u. J. HRADETSKY, 1984: Waldschadensinventur Baden-Württemberg 1983 und Infrarot-Luftbildern.
- SEGER, M., 1985: Farbinfrarotluftbilder als Instrument zur differenzierten Erkundung des Waldzustandes. In: Allgemeine Forstzeitung H. 10 (Beil.).
- ZIRM, K, F.FIBICH et.al., 1985: Erhebung der Vitalität des Waldes in Vorarlberg. Erste Untersuchungsergebnisse.

VERFAHREN ZUR EDV-GESTÜTZTEN INTERPRETATION VON LUFTAUFNAHMEN IN DER WALDZUSTANDSUNTERSUCHUNG

K. Zirm

Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen
Stubenring 6, A - 1010 Wien

EINFÜHRUNG

Das Österreichische Bundesinstitut für Gesundheitswesen befaßt sich seit seinem Bestehen mit der Entwicklung und Anwendung von Methoden zur Untersuchung des Gesundheitszustandes der Vegetation. Besonderes Interesse wurde dabei den immissionsbedingten Schäden in industriellen Bereichen und Ballungszentren gewidmet.

Die Methoden der Fernerkundung erwiesen sich als besonders effizient. Sie wurden erstmalig in den Jahren 1975, 1978 und 1979 großräumig mit Hilfe von Farb-Infrarot-Aufnahmen angewandt (Zirm, 1980, Zirm, 1984, Katzmann, 1984). Auch der Einsatz elektronischer Scanner erwies sich für Vegetationsuntersuchungen, insbesondere für kleinräumige Spezialuntersuchungen, als geeignet.

Im Jahre 1984 wurde das Bundesinstitut mit der bisher umfassendsten Waldzustandsuntersuchung durch das Amt der Vorarlberger Landesregierung beauftragt. Zur Durchführung dieses Projektes, das in zwei Stufen die Gesamtbefliegung und flächendeckende Auswertung des Vorarlberger Waldes vorsieht, wurden am Bundesinstitut geeignete Methoden zur Analyse der insgesamt etwa 2200, vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen angefertigten Luftaufnahmen entwickelt.

Die Bewerkestellung der dabei anfallenden Daten und eine reibungslose Interpretation konnten nur durch Zuhilfenahme der EDV gesichert werden.

METHODEN

Das Luftbild wurde bereits frühzeitig in Form von Schwarzweiß-Aufnahmen für forstliche Zwecke (Inventuren, etc.) eingesetzt. Der Einsatz von Farb-Infrarot-Aufnahmen ermöglicht nunmehr die Analyse des Gesundheitszustandes der Vegetation, insbesondere des Waldes. Erst die, seit dem Jahr 1980 in Österreich mögliche standardisierte Filmentwicklung hat weitere Verbesserungen beim Einsatz von Farb-Infrarot-Luftbildfilmen mit sich gebracht.

Unser Interesse gilt seither der Entwicklung verbesserter Verfahren zur Aufnahme und Interpretation von Farb-Infrarot-Aufnahmen.

V e r f a h r e n s ü b e r s i c h t

Das präsentierte "Vorarlberger" Verfahren läßt sich in mehrere Arbeitsschritte gliedern. Neben der allgemeinen Projektplanung ist die Flugplanung sowie die Geländearbeit von Bedeutung.

Die kleinste Beurteilungseinheit stellt der Bestand dar. Im gegebenen Projekt wurde als kleinste zu interpretierende Einheit ein Bestand mit der Mindestgröße von 5 ha definiert. Die Bestandesabgrenzung erfolgt jeweils nach forstlichen Gesichtspunkten auf den mit einem Überleger versehenen Originalluftbildern. Die Interpretation dieser Luftbilder wird mit Hilfe stereoskopischer Auswertegeräte durchgeführt.

F l u g a u f n a h m e

Aufgrund der bisherigen Erfahrungen mit Vegetationsuntersuchungen wurde der mittlere Bildmaßstab 1:10000 ausgewählt. Dieser stellt einen Kompromiß dar, der einerseits die Aufnahmeanzahl und die damit verbundenen Interpretationskosten einschränkt, andererseits eine weitgehend sichere Auswertung zuläßt.

Mit der Durchführung der Aufnahmen im Projekt "Waldzustandserhebung Vorarlberg" war das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Gruppe Landesaufnahme (BEV) beauftragt. Die im Sommer 1984 noch nicht abgedeckten Waldflächen wurden 1985 erfaßt, sodaß nunmehr Walddaten über das gesamte Bundesland Vorarlberg vorliegen.

Vom BEV konnte in Zusammenarbeit mit dem Österreichischen Bundesinstitut für Gesundheitswesen und anderen Institutionen ein Verfahrensgang entwickelt werden, der hochwertige Infrarot-Farbaufnahmen sicherstellt (Nowakovsky, 1985). Die Einführung sogenannter Checkpoints, mit deren

Hilf die Belichtungszeiten und Blenden im Flug über einer Referenzfläche (Checkpoint) festgestellt werden, hat vor allem für größere Flugoperatoren sowie für mehrjährige Untersuchungen deutliche Vorteile mit sich gebracht. Von der Verwendung von Belichtungsautomaten wurde Abstand genommen.

Unsere Erfahrungen haben weiters gezeigt, daß der Zeitraum für Waldaufnahmen unbedingt auf vier Stunden um den jeweiligen Sonnenhöchststand einzugrenzen ist.

F e l d a r b e i t e n

Sie stellen eine wesentliche Grundlage der Interpretation von Luftaufnahmen dar. Um Bilder richtig interpretieren zu können, ist ein geeigneter und individueller Interpretationsschlüssel für jeden Bildflug eigens zu erarbeiten.

Als Grundlage für die Erstellung des Interpretationsschlüssels werden sogenannte Referenzflächen bestimmt. Dafür kommen einzelne Baumreihen und Bestandesränder in Frage, die sowohl in der Natur als auch im Luftbild leicht wiederzufinden sind.

Von jeder Referenzfläche sind Skizzen anzufertigen, die die einzelnen Baumkronen möglichst lagerichtig zeigen und deren terrestrisch erhobene Beurteilung beinhalten. Zusätzlich werden aus Gründen der Dokumentation solche Referenzflächen auch aus mehreren Blickrichtungen fotografiert.

Interpretationsschlüssel

Der Erstellung eines Interpretationsschlüssels kommt im Zuge des vorgestellten Verfahrens zentrale Bedeutung zu.

Unsere Untersuchungen zur Beurteilung des Waldes gehen von einer okularen Beurteilung des Einzelbaumes aus. Diese erfolgt durch die "Ansprache" von Bäumen durch forstlich geschulte Fachleute unter Anleitung erfahrener Forstwissenschaftler.

Gegenüber der Methode, Bäume aus der "Froschperspektive" zu beurteilen, besitzt der Luftbildinterpret den Vorteil, über das Luftbild direkt in die für den Baum lebenswichtige und vitalitätsbestimmende Krone einzublicken. Durch die stereoskopische Betrachtungsweise hat der Interpret darüberhinaus die Möglichkeit, die Krone dreidimensional zu sehen.

Im gegebenen Projekt wurden lediglich die Baumarten Fichte und Tanne beurteilt. In anderen Untersuchungsprogrammen werden auch Kiefer, Buche und Eiche untersucht.

Ansprache des Vitalitätszustandes im Felde

Die Ansprache des Vitalitätszustandes eines Nadelbaumes erfolgt unter Berücksichtigung folgender Baummerkmale:

- o Nadelverluste (Anzahl der Jahrgänge)
- o Dürreanteil
- o Verfärbungen
- o Ersatztrieb Bildung
- o Ausbildung des Wipfeltriebes
- o Länge und Dichte der Triebe und Nadeln
- o Storchennestbildung
- o Wasserreiser
- o Harzfluß

Bei diesem Verfahren, das in seinen Grundzügen von der Forstlichen Bundesversuchsanstalt entwickelt wurde (Pollanschütz, 1985), wird die Wipfelregion und die übrige Baumkrone getrennt beurteilt. Abbildung 1 zeigt ein Muster zur terrestrischen Ansprache der Kronenzustandsformen bei der Fichte, das für die offizielle Waldzustandsinventur (WZI) in Österreich Verwendung findet.

Ansprache im Luftbild

Die Ansprache des Vitalitätszustandes eines Nadelbaumes im Luftbild erfolgt bei stereoskopischer Betrachtung mit Hilfe zweier deutlich erkennbarer Merkmale:

- o Farbe
(intensiv, gleichmäßig, verblaßt, marmoriert, grün-blau, etc.)
- o Struktur
(homogen-kompakt, aufgelöst, schleierhaft, skelettiert, zersprenkelt, etc.)

Die Vitalitätsstufeneinteilung in der Natur muß im Luftbild nachvollziehbar sein. Die entsprechende Zuordnung erfolgt mit Hilfe des Interpretationsschlüssels.

Im Rahmen der Projektdurchführung wurde ein vierstufiger Schlüssel als bestgeeignet betrachtet, da vier Vitalitätsstufen sowohl in der Natur als auch im Luftbild mit hinreichender Sicherheit ansprechbar sind.

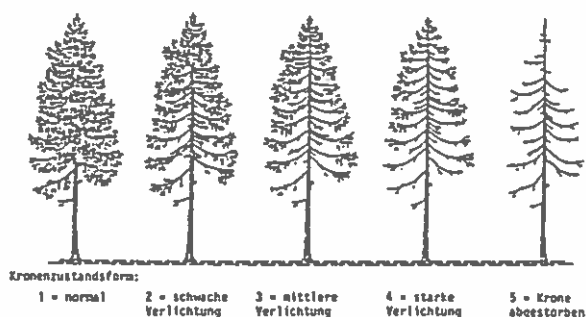
Luftbildverarbeitung

Die Abgrenzung der einzelnen Bestände als kleinste Einheiten für die Luftbildinterpretation wird entsprechend den relevanten Kriterien der Walddefinition des Österreichischen Forstgesetzes 1975 durchgeführt (Vorarlberg: 5 ha; siehe auch Zirm et al., 1985).

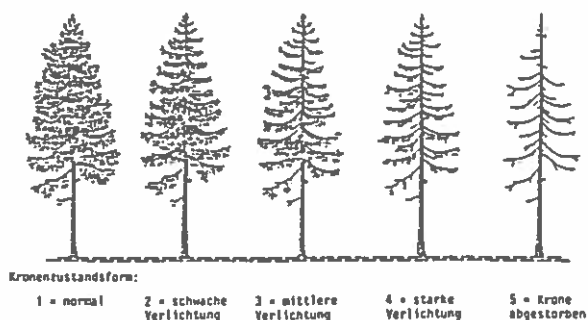
Stereoskopisch aufgenommene Luftaufnahmen weisen in der Regel eine Überlappung von mehr als 60 % in Flugrichtung und eine seitliche Überlappung von rund 20 % auf. Daher wird jedes zweite Luftbild zur Abgrenzung von Beständen herangezogen. Alle Eintragungen erfolgen auf einer transparenten Schutzhülle.

KRONENZUSTANDSFORM und ENTHADELUNGSTYP

Entnadelungstyp "2" (von Innen nach außen und von unten nach oben)



Entnadelungstyp "3" (von oben nach unten und von außen nach innen)



Graphische Gestaltung Divis
 nach Disturfen von Pollanschütz

Abb. 1: Musterblatt zur terrestrischen Ansprache der Kronenzustandsformen bei der Baumart Fichte.

Mit Hilfe dieser schematischen Zeichnung und mittels Einschulung durch Experten werden Forstfachleute in die Lage versetzt, Fichten nach ihrem Entnadelungstyp und der Kronenzustandsform zu beurteilen (Quelle: Pollanschütz, 1985)

Rasterentwicklung

Zur Auswahl der zu beurteilenden Baumkronen wurde ein gleichmäßiger Raster in Form einer Folie, die bei der Auswertung dem jeweiligen Luftbild unterlegt wird, entwickelt. Nach eingehender Erprobung wurde für den Bildmaßstab 1:10000 der in Abbildung 2 angeführte Raster festgelegt.

Dieser besteht aus sogenannten Hauptkreisen in einem Abstand von 5 mm und einem Durchmesser von 2 mm mit angedeutetem Fadenkreuz, entsprechend einem mittleren Baumabstand von 50 m in der Natur.

Die in dem Raster enthaltenen Nebenkreise wurden für heterogene Bildmaßstäbe eingefügt, wodurch vor allem in den Tallagen ein zu kleiner Stichprobenumfang vermieden wird. Diese Rasterpunkte werden durch den Interpreten bei Bedarf mitbeurteilt.

Unter der Annahme, daß ein Bestand 700 Bäume je ha aufweist, werden somit bei einem mittleren Bildmaßstab von 1:10000 0,48 % der Bäume erfaßt. Mit Hilfe der Nebenkreise werden sogar 0,57 % aller Bäume eines gegebenen Bestandes erfaßt.

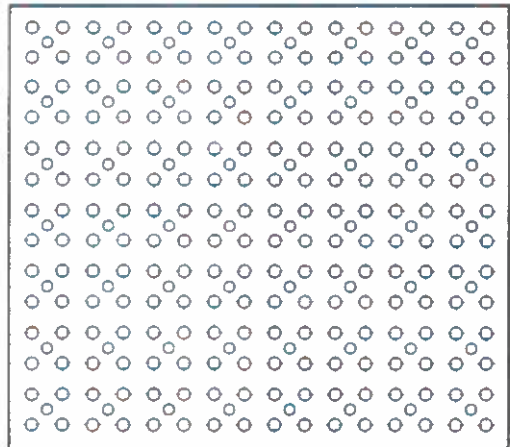


Abb. 2: Raster für die Auswahl der Baumstichproben

EDV – Aufnahme und Verarbeitung der Daten

Die Erfassung und Verarbeitung der Daten erfolgte in zwei Arbeitsschritten:

1. Vegetationsbeurteilung
2. Photogrammetrische und kartografische Beurteilung

Während der zweite Arbeitsschritt in dem hier erläuterten Arbeitsprogramm mit Hilfe der ARGE-Vermessung Tirol durchgeführt wurde,

wurden die Luftbildinterpretationen im Österreichischen Bundesinstitut für Gesundheitswesen durch forstlich geschulte Interpreten ausgeführt. Die Ergebnisse daraus wurden mit Hilfe der Institutsrechenanlage (VAX 750) gespeichert und analysiert. Dazu wurde ein eigenes Programmsystem zur EDV-gerechten Datenaufnahme und -weiterverarbeitung entwickelt. Zu dessen Anforderungen zählen im besonderen:

- o Speicherplatz- und zugriffsoptimale Ablage der die Vitalität kennzeichnenden Werte
- o Benutzerführung
- o Automatische Warnung und Verhinderung von erkennbaren Eingabefehlern inklusive Plausibilitätskontrolle der eingegebenen Werte
- o Mehrfachauslastung eines Dateneingabegerätes

Zusätzlich war die Erstellung von Hilfs- und Verwaltungsprogrammen zur Unterstützung der Interpretation sowie zur Bearbeitung, Kontrolle und Korrektur der Bestandesdaten notwendig.

Das Programmsystem DTVOR erlaubt Bestandesdaten, sowie allgemeine Informationen über den jeweils interpretierten Bestand über die Computertastatur in Form eines Menüs einzugeben. Dazu zählen Informationen über

- o Bestandesart (wie Fichte, Tanne, Laubholz, anderes Nadelholz, etc.)
- o Wuchsklasse (fünfstufige Skala: Jungwuchs, Dickung, Stangenholz, etc.)
- o Kronenschlußgrad (dreistufig)
- o Schadindex (Schätzung des Interpreten einer mittleren Vitalitätskennzahl für den gesamten untersuchten Bestand)

Danach werden die in die Rasterpunkte fallenden, nach einem festgelegten Suchmodus ausgewählten Einzelbäume (ab der Wuchsklasse Stangenholz) angesprochen bzw. beurteilt.

Die folgenden Merkmale werden für jeden einzelnen Baum durch den Interpreten über das Terminal verschlüsselt eingegeben, ohne daß dieser seine Beobachtung mit dem Stereoskop unterbrechen muß:

- o Baumart
- o Vitalitätsstufe (4-stufig)
- o Sondermerkmal (gegenwärtig 5-stufig, beliebig erweiterbar)

Eine Übersicht über das Eingabemenü liefert Abbildung 3.

AUSWERTER STREIFEN-BILD#	EINZELANGABEN
BESTAND#,BESTANDESART 1-Fichte 2-Tanne 3-Laubholz 4-anderes Nadelholz WUCHSKLASSE 1-Kultur, Jungwuchs, Dichtung 2-Stangenholz 3-Baumholz 4-Altholz 5-gemischthaltrig KRONENSCHLUSSGRAD 1-0.3-0.5 2-0.5-0.7 3-0.7-1.0 SCHADINDEX	PUNKT#, BAUMART VITALITÄTSSTUFE 1- 2- 3- 4- SONDERMERKMAL 1-Verlichtung von oben nach unten 2-Wipfelbruch 3-Marmorierung 4-Lametta/Storchennest 5-kein Sondermerkmal

Abb. 3: Übersicht über das Eingabemenü im Programmsystem DTVOR
In der linken Spalte sind die vom Programm abgefragten Parameter angeführt, in der rechten jene, die je Baum einzugeben sind.

Ergebnisaufbereitung

Als erster Schritt zur Ergebnisdarstellung werden nach Verarbeitung der eingegebenen Daten durch den Rechner u. a. folgende Zwischenergebnisse je Bestand abgespeichert:

- o Anzahl der Bäume in der Stichprobe
- o Summe der Bewertungen
- o Summe der Quadrate der Bewertungen (notwendig für Streuungsberechnung)

Folgende Angaben über die Häufigkeit der Sondermerkmale im Gesamtbestand können, nach den verschiedenen Baumarten getrennt, gemacht werden:

- o Absolute Häufigkeiten der Bewertungen in den einzelnen Vitalitätsstufen
- o Absolute Häufigkeit der Sondermerkmale

Das Eingabeprogramm DTMAN3 sieht die Nutzung eines Terminals durch zwei Interpreten vor. Es führt darüber hinaus Plausibilitätskontrollen durch und macht bei erkannter fehlerhafter Eingabe (z.B. Wuchsklasse kleiner als 1 oder größer als 5, etc.) durch ein akustisches Signal aufmerksam. Derartige Eingaben werden vom System nicht akzeptiert.

Die Interpretationsergebnisse werden in ein datenbankähnliches Speichersystem aufgenommen. Aus den Bestandesdaten können weitergehende Analysen abgeleitet werden. Sie bilden eine Grundlage für die Kartendarstellung.

Das Programmsystem DTVOR umfaßt darüberhinaus Einzelprogramme, die einer weiteren statistischen Bearbeitung, etwa durch die Programmpakete MINITAB und BMDP, dienen. Auch das Löschen von Bestandesdaten, Korrekturen und andere Funktionen sind möglich.

Photogrammetrische Bearbeitung

Das Bildmaterial wird nach seiner Interpretation mit Hilfe eines photogrammetrischen Auswertesystems (Analytischer Stereoplotter, etc.) aerotrianguliert. Dabei werden die einzelnen Luftaufnahmen räumlich absolut orientiert. Durch einen Auswerter werden die einmal festgelegten Bestandesgrenzen digitalisiert, sodaß sie danach in Form von Polygonzügen nunmehr lagerichtig in maschinenlesbarer Form vorliegen.

Die photogrammetrisch erhaltenen digitalen Bestandesgrenzen werden ebenfalls mit der o. g. Datenbank zusammengeführt. Aus den einzelnen Polygonzügen können schließlich weitere Informationen über

- o Höhenlage
- o Neigung
- o Exposition und
- o Flächenausmaß

der abgegrenzten Bestände erhalten werden.

Die Ergebnisse der in Vorarlberg durchgeführten Untersuchungen sind bei Zirm et al., 1985 detailliert beschrieben. Das dazugehörige Kartenwerk befindet sich zur Zeit in Fertigstellung.

D i s k u s s i o n

Obzwar die EDV nicht unmittelbar in den Bildanalysevorgang eingreift, ist ihre Anwendung absolut erforderlich. Dies gilt in Anbetracht des großen Datenanfalls für die bestandesbezogene Einzelbauminterpretation sowie für die Verarbeitung der photogrammetrisch erhaltenen Grunddaten.

In Zukunft wird der Frage nach der Beschaffenheit der "natürlichen" Vegetation entsprechende Bedeutung zukommen. Die aus unseren Untersuchungen gewonnenen Daten sollen zu ihrer Beantwortung einen entsprechenden Beitrag liefern. Es wird in vermehrtem Maße notwendig sein, möglichst alle Schädigungsfaktoren, sowie biotische Einflüsse, standörtliche und klimatische Gegebenheiten zu berücksichtigen.

Abbildung 4 zeigt zur Verdeutlichung dieser Problematik eine auf der Erfahrung beruhende Darstellung des Existenzbereiches von Nadelwaldbeständen (Pollanschütz, 1981). Selbst völlig gesunde Bestände zeigen darin einen – wenn auch nur geringen – Anteil geschädigter Baumkronen, der mit steigender Vitalitätskennziffer bis hin zu 4 (Abszisse) außerordentlich zunimmt.

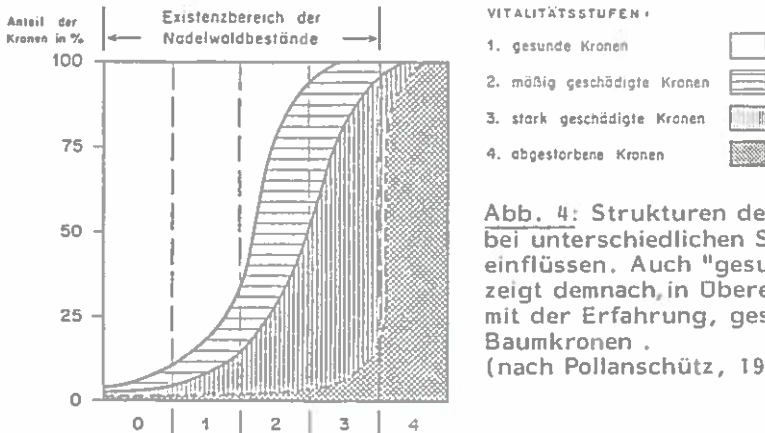


Abb. 4: Strukturen des Nadelwaldes bei unterschiedlichen Schädigungseinflüssen. Auch "gesunder" Wald zeigt demnach, in Übereinstimmung mit der Erfahrung, geschädigte Baumkronen.
(nach Pollanschütz, 1981)

In Abbildung 5 wurde aus Abbildung 4 für die einzelnen Vitalitätskennziffern (1 – 4) ein Mittelwert errechnet und dieser mit unseren Ergebnissen aus Vorarlberg (Bezirk Bludenz) verglichen. Es zeigt sich dabei, daß unsere Ergebnisse mit Erfahrungswerten außerordentlich gut übereinstimmen. Die Frage, wo jedoch ein bestimmter Vitalitätsindex bereits auf eine Waldschädigung hinweist, ist noch offen.

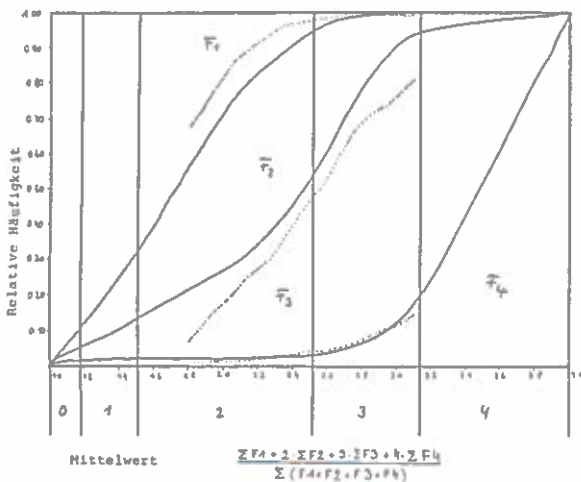


Abb. 5: Gegenüberstellung berechneter "Bestandesmittelwerte" aus Abb. 4 mit tatsächlich erhobenen Daten (Fichte, F1 entspr. etwa obiger Vitalitätsstufe 1) aus dem Bezirk Bludenz (Vorarlberg). Von entscheidender Bedeutung ist sichtlich die Definition des gesunden Waldes durch Festlegung eines Index in Abhängigkeit von Kriterien des Standortes, etc.

Ausblick

Die Nutzung der von uns entwickelten Verfahren wird für die weitere Ursachenerforschung besonders wertvoll sein. In einem nächsten Arbeitsschritt werden am Österreichischen Bundesinstitut für Gesundheitswesen Daten aus den Bereichen Geologie, Meteorologie, Hydrologie sowie weitere standörtliche Informationen gesammelt und in ein geographisches Informationssystem (GIS) eingebaut werden.

Weitere Verbesserungen werden durch interaktive digitale Bildanalyseverfahren sowie durch verbesserte Multispektralaufnahmen möglich sein. Auch ein dreistufiges Stichprobenverfahren, das auch Satellitendaten einschließt, wird neue Aspekte für die Waldzustandsuntersuchung in Österreich mit sich bringen. Auch die bestehende Zusammenarbeit des Bundesinstituts mit in- und ausländischen Institutionen wird weitere Impulse für die Waldschadenforschung mit sich bringen.

Literatur

- KATZMANN, W., 1984: Erhebung von Waldschadensgebieten Tirols mit Hilfe der Fernerkundung und vergleichender Bodenuntersuchungen; Bericht des Österr. Bundesinstitut f. Gesundheitsw.: Umweltbestandsaufnahme durch Fernerkundung und Bodenmessung; Wien, S. 114 - 170
- NOWAKOWSKY, H., 1985: Bildbeschaffung für Waldschadenserhebung, Vortrag 2. Symposium Fernerkundung, Wien, 2. - 4. 10. 1985
- POLLANSCHÖTZ, J., 1981: Großräumige Immissionszonenkartierung in Steiermark und Tirol mit Falschfarbenluftbildern.
In: Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, Heft 135, S. 125 - 133, 1 Abb., Lit.
- POLLANSCHÖTZ, J. et al., 1985: Instruktion für die Feldarbeit der Waldzustandsinventur nach bundeseinheitlichen Richtlinien 1984 - 1988 (Fassung 1985). Hrsg.: Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien. - Wien: Eigenverlag 1985
- ZIRM, K., 1980: Erfahrungen bei der Klassifikation geschädigter Vegetation mit Hilfe von multispektralen Scannerbildern, In: Internat. Archiv für Photogrammetrie, Band 23, Teil 7 - Hamburg 1980, S. 979 - 987
- ZIRM, K., 1984: Einsatz der digitalen Bildverarbeitung bei Waldschadenserhebungen; Bericht des Österr. Bundesinstituts f. Gesundheitsw.: Umweltbestandsaufnahme durch Fernerkundung und Bodenmessung; Wien, S. 171 - 206
- ZIRM, K., FIBICH, F., HACKL, J., MALIN, H., MAUSER, H., WEINWURM, M., 1985: Erhebung der Vitalität des Waldes in Vorarlberg, Hrsg.: Österr. Bundesinstitut f. Gesundheitsw. im Auftrag des Amtes der Vorarlberger Landesregierung, 100 S.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Durchführung von Waldzustandsuntersuchungen mit Hilfe von Luftaufnahmen hat sich vor allem für großräumige Untersuchungen bewährt. Es wird ein Verfahren zur EDV-gestützten Auswertung solcher Luftaufnahmen anhand eines Beispiels aus dem Bundesland Vorarlberg präsentiert. Dabei werden die Luftbilder stereoskopisch mit Hilfe eines Rasters interpretiert. In einem Abstand von 50 m werden einzelne Bäume auf Farbe und Struktur hin untersucht. Besondere Bedeutung wird bei diesem Verfahren der Erarbeitung eines Interpretationsschlüssels beigemessen. Photogrammetrische Verfahren kommen zur lagerichtigen Darstellung und zur flächengetreuen Auswertung ebenfalls zum Einsatz.

Schlüsselwörter: Luftaufnahmen, Vorarlberg, EDV-gestützte Interpretation, Raster, Interpretationsschlüssel

SUMMARY

The observation of forest conditions by means of aerial photographs has proved to be effective especially for extended investigation areas. A computerized method to support visual interpretations of aerial photographs is demonstrated. The procedure which was used in Vorarlberg is explained. Aerial photographs are analyzed by means of a sample method. A transparent raster-overlay allows to analyze every 50 m single trees with respect to their colour and structure. Special emphasis has been put to the development of a interpretation key. Photogrammetric methods were applied for data corrections and cartographic work.

Keywords: Aerial photographs, Vorarlberg, computerized methods, raster-overlay, interpretation key

DANKSAGUNG

Meinen Mitarbeitern Dipl.-Ing. F. Fibich, J. Hackl, H. Malin, H. Mauser und Frau Dipl.-Ing. M. Weinwurm, die mit der Entwicklung und Anwendung des hier dargelegten Verfahrens maßgeblich befaßt waren, sei an dieser Stelle gedankt.

ERGEBNISSE DIGITALER BILDANALYSEVERFAHREN IN DER WALDZUSTANDSUNTERSUCHUNG

F. Fibich

Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen

Stubenring 6, 1010 Wien

EINLEITUNG

In der vorliegenden Arbeit sollen Ergebnisse von Untersuchungen, die am Österreichischen Bundesinstitut für Gesundheitswesen im Rahmen von Forschungsaufträgen des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung in der Forschungsinitiative gegen das Waldsterben erarbeitet wurden, vorgestellt werden.

Es handelt sich dabei um die Analyse von digitalen Bildinhalten, die durch die Digitalisierung von Farb-Infrarotluftbildern erhalten wurden. Sämtliche hier vorgestellte Methoden lassen sich jedoch auch auf direkt digital erhobene Daten anwenden (Scanner, Satellit, etc.).

Die Verfahren beschäftigen sich einerseits mit der statistischen Analyse der Verteilungen der Pixelwerte einzelner interessierender Gebiete und andererseits mit der Untersuchung von Eigenschaften ganzer Bildpunktumgebungen. Dazu werden einerseits statistische Kennwerte und andererseits strukturbeschreibende Merkmale herangezogen.

ANALYSEVERFAHREN

Bildanalysesystem

Sämtliche Berechnungen wurden auf dem Bildanalysesystem des Österreichischen Bundesinstituts für Gesundheitswesen, bestehend aus dem Institutsrechner VAX-11/750 und dem Prozeßrechner LSI-11/23 ausgestattet mit einem DeAnza Videoprozessor durchgeführt. Auf dieser Hardware laufen die einzelnen Bildverarbeitungsprogramme und statistischen Auswertprozeduren, die in dem am Institut erstellten Programmpaket UMIDAS (Umwelt-Informations- und Datenanalyssystem) zusammengefaßt sind. Für die Durchführung von standardisierten statistischen Auswertungen steht das Auswertepaket EMDP (Dixon, 1983) zur Verfügung.

Klassifikationen

Sämtliche Klassifikationsprozeduren, die in den hier vorgestellten Auswertungsverfahren angewendet wurden, beruhen auf folgendem Schema:

1. Aufsuchen eines Testgebiets durch einen Interpreten
2. Extraktion "charakteristischer Zahlen" aus diesem Testgebiet
3. Vergleich dieser Zahlen mit den in analoger Weise gewonnenen Kennwerten aus dem Restbild

Durch diese Vorgangsweise wird der Akt des eigentlichen Erkennens der interessierenden Bildteile dem Interpreten übertragen. Dadurch beschränkt sich die Klassifikation auf einen Vergleich der charakteristischen Zahlen unter Verwendung spezifischer Ähnlichkeitsmaße. Klarerweise ist die problemorientierte Definition des Ähnlichkeitsmaßes und seiner Eigenschaften (z. B.: Rotationsinvarianz) Vorbedingung für die Lösung des Klassifikationsproblems.

Die Rotationsinvarianz des Klassifikationsverfahrens kann durch die Definition zweier verschiedener Funktionen herbeigeführt werden:

1. Definition der Errechnung der charakteristischen Zahlen vom Trainingsgebiet und Untersuchungsfenster
2. Definition des Ähnlichkeits- bzw. Vergleichsmaßes

Während der erste Fall bei der Analyse mittels Quad-trees (s.u.) gegeben ist, da hier auf die Reihenfolge der Bildpunktwerte in dem den Knoten zugeordneten quadratischen Fenster keine Rücksicht genommen wird, ist die Erarbeitung eines invarianten Ähnlichkeitsmaßes bei der Benutzung von Fourier-Analyse-Algorithmen notwendig. Diese erhöhen jedoch weiter den Rechenaufwand der ohnehin sehr rechenintensiven Fourier-Analyse.

A n a l y s e a u f B i l d p u n k t e b e n e

Im folgenden werden einige Verfahren gezeigt, mit deren Hilfe das oben angesprochene Klassifikationsproblem auf der Ebene des einzelnen Pixels gelöst werden soll.

Diskriminanzanalyse

Ein Grundproblem bei der Klassifikation nach Schwellenwerten ist die Frage, wie weit verschiedene Vitalitätsklassen der Vegetation überhaupt nach digitalen Meßwerten des Luftbildes trennbar sind. Zur Aufklärung dieses Fragenkomplexes kann das statistische Verfahren der Diskriminanzanalyse herangezogen werden (vergl. z. B.: Bortz, 1985). Mit der Diskriminanzanalyse können diejenigen Gewichte abhängiger Variablen ermittelt werden, die aufgrund der jeweils angetroffenen wechselseitigen Beziehungen (z. B.: mehrstufige Einteilungen) der abhängigen Variablen zu einer maximalen Trennung der untersuchten Gruppen führen.

Für unseren Anwendungsfall erfolgte die Gruppeneinteilung nach einer vierstufigen Vitalitätsskala in mehreren digitalisierten Bildern des Frühjahrs- und Sommerfluges 1984. Die Analyse wurde getrennt nach Arten (Fichte, Kiefer) durchgeführt. Die digitalen Werte der im Bild markierten Individuen unterschiedlicher Vitalitätsstufe sowie deren Zentroide wurden im Raum der kanonischen Variablen dargestellt.

Es zeigte sich, daß nur jeweils die Vitalitätsstufe 4 gut von den restlichen Vitalitätsstufen trennbar ist. Dies dürfte zum Großteil von der hohen Korrelation der Daten der einzelnen Bildkanäle im digitalisierten Luftbild herrühren.

Die gute Trennbarkeit der Stufe 4 von den Daten der anderen Vitalitätsstufen wird jedoch zum Teil von dem Umstand eingeschränkt, daß Individuen dieser Stufe oft nur sehr schlecht vom restlichen Bildinhalt getrennt werden können.

Vegetations-Index

Für das Problem der Trennung von Vegetation und Nicht-Vegetation bietet sich eine pixelweise Bildtransformation an, die auf die spezifischen Strahlungscharakteristika des Chlorophyll Rücksicht nimmt. Es zeigt sich nämlich, daß das Chlorophyll - im Gegensatz zu den meisten anderen Bildinhalten - im Roten ein niedriges Reflexionsvermögen, im Infraroten ein hohes Reflexionsvermögen aufweist. Es kann daher durch Quotientenbildung zwischen rotem und infrarotem Kanal ein Wahrscheinlichkeitsmaß für das Vorhandensein von Vegetation angegeben werden. Die in dieser Arbeit verwendete Formel nimmt auf bestimmte Vorteile in der rechnermäßigen Darstellung Rücksicht.

Varianzbilder

Dieses Verfahren stellt bereits den Übergang zu Mustererkennungsmethoden dar. Bei dieser rotationsinvarianten Transformation wird jedem Bildpunkt des Ergebnisbildes die Varianz der Bildpunkte des umgebenden Untersuchungsfensters gemäß

$$v(x,y) = 1/(2k+1)^2 \left[\sum_{i=x-k}^{x+k} \sum_{j=y-k}^{y+k} p^2(c_{ij}) - \left(\sum_{i'} \sum_{j'} p(c_{i'j'}) \right)^2 / (2k+1)^2 \right]$$

zugeordnet. Damit ist die Unterscheidung zwischen "rauen" und "glatten" Bildteilen möglich, so z. B. zwischen Waldbeständen und Wiesenflächen, deren Trennung unter alleiniger Verwendung des Vegetationsindex nicht möglich ist.

Mustererkennungsverfahren

Quad-trees

Bei der Quad-tree-Zerlegung eines binären Bildes (ein Bild, das nur zwei Grauwertstufen enthält) geht man folgendermaßen vor:

1. Das Bild wird in 4 gleich große Quadranten geteilt.
2. Weisen alle 4 Quadranten die gleiche Grauwertstufe auf, so ist das Ende des Zerlegungsvorganges erreicht. Das ganze Bild erhält dann die Knotenbezeichnung "Stufe 1" oder "Stufe 2".
3. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so wird der Zerlegungsvorgang auf die einzelnen Teilquadranten weiter angewendet.

Dadurch kann eine Kompression des gesamten Bildes für den Fall erreicht werden, daß das Bild aus relativ großen, homogenen Bildteilen besteht. Je mehr benachbarte Bildteile bzw. Bildpunkte unterschiedliche Grauwertstufen aufweisen, desto tiefer wird der dem zugehörigen Bildteil zugeordnete Quad-tree. Ein Beispiel für diese Quad-tree-Zerlegung eines binären Bildes zeigt Abbildung 1.

Um reale Bilder, die in unserem Fall bis zu 256 Graustufen aufweisen, mit diesem Verfahren analysieren zu können, wird der Zerlegung des Bildes in einen Quad-tree eine Homogenitätsbedingung zur Verallgemeinerung des Binärbildes zugrunde gelegt. Als einfachste Form einer solchen Homogenitätsbedingung wurde vorgeschrieben, daß diejenigen Bildteile als homogen gelten sollen, deren Streuung unter einem vorgegebenen Schwellenwert liegt. Dadurch wurde das Bild in Homogenitätsklassen eingeteilt und konnte in einen Quad-tree übergeführt werden. Um mit dem Quad-tree in einem Klassifikationsverfahren arbeiten zu können, wurden in jedem Knoten des Baumes Merkmale abgelegt, die das zugeordnete Bildfenster beschreiben (Mittelwert, Streuung).

Da die Quad-tree-Zerlegung erst dann abbricht, wenn alle Knoten unterster Stufe homogen sind, kann die Nachfolgeranzahl eines einzelnen Knotens sehr schnell anwachsen. Es wurde daher die Baumtiefe künstlich begrenzt, sodaß Bildteile von der Größe 16x16 Punkten nicht weiter zerlegt wurden. Zu solchen Knoten wurde die Nachfolgeranzahl zwar bestimmt und gespeichert, jedoch keine Werte zu den einzelnen Nachfolgern abgelegt. Gerade diese Nachfolgeranzahl stellt nämlich zusätzlich zu den restlichen im Knoten gespeicherten Merkmalen ein wesentliches Klassifizierungskriterium dar.

Fourieranalyse

Ein besonderes Anliegen von Bildtransformationen als Vorbereitung zur Klassifikation ist die Generierung von standardisierten Bildern bzw. die Errechnung von Merkmalen, die sich gegenüber vielen Transformationen als invariant erweisen. Zusätzlich sollen diese Bildtransformationen Kennwerte über spezifische Muster - im Sinne der Mustererkennung - ergeben.

Eines dieser Verfahren ist die im Rahmen der Signalanalyse häufig eingesetzte Fouriertransformation. Sie ist im eindimensionalen Fall definiert als

$$F(u) = \int f(x) e^{-i 2 \pi u x} dx$$

wobei i die imaginäre Einheit bedeutet. Faßt man das Integral als Lebesgue-Integral auf, so gilt die gleiche Formel im nichtstetigen Fall, wie er z. B. in digitalen Meßwertdarstellungen vorliegt. Dieser Fall wird dann als die diskrete Fourieranalyse bezeichnet.

Im zweidimensionalen Raum lautet die Transformationsgleichung

$$F(u,v) = \iint f(x,y) e^{-i2\pi(ux+vy)} dx dy$$

wobei u und v als Frequenzvariable bezeichnet werden und das Gesamtspektrum durch

$$|F(u,v)| = (R(u,v)^2 + I(u,v)^2)^{\frac{1}{2}}$$

errechnet werden kann.

Genau dieses Spektrum in Abhängigkeit der beiden Frequenzvariablen, kann nun zur Beschreibung von Mustern in Bildfenstern verwendet werden. Wie bereits aus der Formulierung der Transformation ersichtlich, ist diese Formel nicht rotationsinvariant, was zwar den Vorteil sehr feiner Musterdifferenzierung mit sich bringt, jedoch zu einer Reihe von Fehlklassifikationen führt, wenn das Ähnlichkeitsmaß nicht (durch Verschwendung von Informationen) diese Invarianz wiederherstellt. Es ist also gerade bei diesem Verfahren eine sorgfältige und auch rechenzeitoptimale Formulierung des Ähnlichkeitsmaßes notwendig.

Die Umsetzung der Fourieranalyse in ein Computerprogramm erfolgte aus Effizienzgründen über die Fast-Fourier-Transform.

D u r c h f ü h r u n g

Beide Analysen (Quad-tree, Fourier) wurden im Rahmen zweier Diplomarbeiten am Österreichischen Bundesinstitut für Gesundheitswesen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte und Numerische Mathematik der Technischen Universität Wien durchgeführt (Fesl, K.; Friedrich, G.; 1985)¹⁾.

Quad Tree

Da die Anzahl der Nachfolgerknoten eines Punktes bereits ein Maß für die im betrachteten Segment angetroffene Rauigkeit ist, wurde als Vorbedingung für die weitere Untersuchung eine Schranke für die Mindestanzahl von Nachfolgern eingeführt. Dadurch konnten homogene Bildteile wie z.B. Wiesen und Wasserflächen zu einem sehr frühen Stadium der Analyse ausgeschieden werden.

Zusätzlich zu diesem Kriterium wurden Konfidenzintervallvergleiche der spektralen Signatur über

a) Mittelwert +/- Streuungsvielfaches

1) Betreuung am Institut für Angewandte und Numerische Mathematik durch Univ.-Doz. Dr. Ch. W. Überhuber

b) Medianvergleich über Q1/Q3 Fraktil

zur Klassifikation herangezogen.

Die Quad-tree-Analyse wurde in Form eines Pascal-Unterprogrammes implementiert um die Rekursivität der Zerlegung ausnützen zu können. Das Interface zu der am Bundesinstitut verwendeten Bilddatenstruktur UBD (UMIDAS-Bilddatei) wurde über das rufende FORTRAN-Hauptprogramm geschaffen.

Folgende Fragen wurden genauer untersucht:

- Einfluß der Größe des Schwellenwertes beim Baufbau
- Nachfolgekriterium (Mindestnachfolger eines Knotens)
- Wahl des Referenzgebietes
- Größe des Streuungsfaktors für die Klassifikation in Intervallen.

Fourier-Analyse

Die Fourier-Analyse wurde in einem FORTRAN-Programm realisiert, wobei auch eine bildmäßige Darstellung des zweidimensionalen Frequenzspektrums zur Einblendung in ein digitales Bild vorgesehen wurde. So ist es möglich, bereits in der visuellen Betrachtung Anhaltspunkte für mögliche Ähnlichkeitsmaße finden zu können.

Es wurde eine Reihe von solchen Maßen für Vergleichstests herangezogen. Dazu zählen u.a. die absolute bzw. quadratische Spektraldifferenz im Frequenzraum :

$$\Delta = \left| |F(u,v)| - |F_0(u,v)| \right|^n \quad n = 1, 2, \dots$$

Besondere Untersuchungsschwerpunkte bei diesem Klassifikationsalgorithmus waren

- Einfluß der Fensterlänge der Fourier-Analyse
- Wahl der Schranke des Ähnlichkeitsmaßes
- Wahl des Referenzgebietes

Abbildung 2 zeigt die Abhängigkeit des Fehlers von der Toleranzschranke. Sowohl sehr kleine (strikte Ähnlichkeitsforderung) als auch sehr große Werte (geringe Anforderung) führen zu deutlichen Fehlklassifikationen.

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Entsprechend der Zweiteilung der Methodik fallen auch unterschiedliche Ergebnisse zu beiden Bereichen an:

Statistische und einzelpunktorientierte Methoden

Die Transformation der Pixelwerte in Vegetation-Index-Werte liefert ein gutes Maß zur Erkennung sonnenbeschienener Kronenteile im digitalisierten Farbinfrarotluftbild. Die Trennung von homogenen Flächen ähnlicher spektraler Signatur von Waldbeständen kann durch die Hinzunahme eines Kanals, der Streuungswerte enthält, wesentlich verbessert werden.

Die Interpretierbarkeit verschiedener Schädigungsstufen aufgrund der spektralen Signatur kann zum Teil stark eingeschränkt sein. Relativ gut gelingt die Trennung der Schadstufen 3 und 4 von den Stufen 1 und 2. Die Trennbarkeit dürfte zusätzlich stark vom betrachteten Ort abhängen.

Bei der Vitalitätsuntersuchung unbekannter Baumarten leidet die Genauigkeit der Klassifikation besonders unter dem Umstand, daß die einzelnen Schadklassen verschiedener Arten sich gegenseitig stark überdecken. Bei einer Klassifikation der Fichtenvitalitätsklasse 3/4 kommt es daher zu einer Vermischung mit Kiefern aller Vitalitätsstufen.

Mustererkennungsverfahren

Trotz stark unterschiedlichem Aufbau zeigten sie Verfahren der Quad-Tree-analyse und der Fourier-Klassifikation eine ganze Reihe ähnlicher Eigenschaften:

- Im Wald befindliche Schattenflächen werden als zur Struktur gehörig erkannt und nicht wie bei bildpunktweiser Klassifikation der Klasse "Nicht-Wald" zugeschlagen.
- Die Fenstergröße des Verfahrens, also die unmittelbare Verarbeitungseinheit, hat großen Einfluß auf die Genauigkeit des Ergebnisses. Hier muß ein Kompromiß zwischen scharfer Trennung von Objektklassen an im Bild verlaufenden Kanten und Häufung von Fehlklassifikationen im Inneren von Strukturen durch Fehlinterpretation kleinerer Strukturschwankungen gefunden werden. Bei den Bildern des bearbeiteten Maßstabes 1:4.000 (Digitalisierung 100µm) lag ein guter Wert bei 32x32 Pixeln. Eine weitere Verbesserung konnte durch Nachklassifizieren der Ränder mit kleinerer Fenstergröße erreicht werden

Ausblick

In Anlehnung an die erhaltenen Ergebnisse wird im Österreichischen Bundesinstitut für Gesundheitswesen versucht werden, durch Erarbeitung besserer (rotationsinvarianter) Ähnlichkeitsmaße, durch Kombination der beiden besprochenen Klassifikationsmethoden und durch dynamische Konfiguration der einzelnen Auswerteprozeduren die Genauigkeit der Waldzustandserfassung weiter zu erhöhen. Dadurch soll das Fernziel einer produktionsmäßigen Auswertung von Nadelwaldbeständen - ähnlich dem bereits erfolgreichen großflächigen Auswerten von Auvegetationen (vgl. Zirm, Fibich, Knappitsch, Margl, 1984) - in greifbare Nähe rücken.

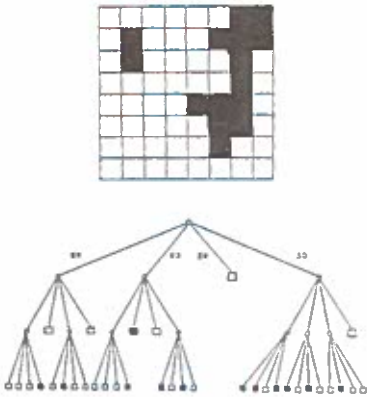


Abb. 1: Prinzip der Quad-Tree Zerlegung

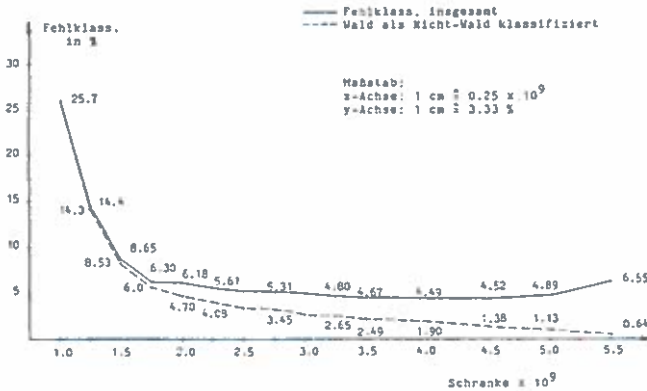


Abb. 2: Fehlerverhalten der Fourier-Klassifikation

ZUSAMMENFASSUNG

Mit Hilfe des am Österreichischen Bundesinstitut für Gesundheitswesen erstellten Programmpakets UMIDAS wurden digitalisierte Farbinfrarot-Luftbilder aus dem Raum Ranshofen hinsichtlich der Trennbarkeit von Wald/Nicht-Wald bzw. verschiedener Vitalitätsklassen durch teilautomatisierte Computerverfahren untersucht. Dabei kamen einerseits statistische Verfahren (Diskriminanzanalyse, etc.) hinsichtlich der Verteilung einzelner Bildpunktwerte und andererseits Mustererkennungsverfahren (Quad-Tree-Zerlegung, Fourier-Analyse), angewendet auf ganze Bildteile, zum Einsatz. Es zeigte sich dabei, das insbesondere das Problem der Strukturerkennung des Licht/Schattenwechsels im Wald von den beiden letzteren Verfahren mit guter Genauigkeit bewältigt wird.

Summary

With the Software package UMIDAS, developed at the Austrian Federal Institute for Health, digitized IRC-photographs were analyzed. The images were taken in 1984 near Ranshofen in Upper Austria. The analysis aimed to discriminate forested from non-forested area and between different classes of vitality by means of digital image processing. Statistical methods (e.g. discriminant analysis) as well as pattern recognition algorithms (quad tree analysis, Fourier transforms) were employed. The latter methods revealed good ability to recognize forest parts, even when partially sun lit, partially under shadow.

LITERATUR

FESL, K., FRIEDRICH, G.: Automatische Erkennung von Waldgebieten in digitalisierten Luftbildern, Diplomarbeit ausgeführt am Österreichischen Bundesinstitut für Gesundheitswesen und am Institut für Angewandte und Numerische Mathematik. Institutsbericht 60/85, Wien 1985.

BORTZ, J.: Lehrbuch der Statistik für Sozialwissenschaftler, Berlin 1985.

DIXON, W.: BMDP Statistical Software Package, University of California at Los Angeles. Los Angeles 1983.

ZIRM, K., FIBICH, F., KNAPPITSCH, E., MARGL, H.: Analyse der Vitalität der Donauauen von Hainburg bis Wien. Unveröffentlichter Endbericht. Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen. Im Auftrag der Österreichischen Donaukraftwerke AG. Wien 1984.

Datum der Fertigstellung: 14. Oktober 1985

FERNERKUNDUNG VON SCHNEE UND EIS MITTELS NEUER SENSOREN

Helmut Rott
Institut für Meteorologie und Geophysik
Universität Innsbruck

EINLEITUNG

Fernerkundungsverfahren in verschiedenen Wellenlängenbereichen des elektromagnetischen Spektrums bieten hervorragende Möglichkeiten zur Erfassung und kontinuierlichen Überwachung von Schnee und Eis im globalen und regionalen Bereich. Die Entwicklung der opto-elektronischen Sensoren ist weit vorangeschritten: auf Satelliten sind Sensoren im Einsatz, die für den Großteil der Schnee- und Eisanwendungen in Bezug auf räumliche und spektrale Auflösung als hervorragend anzusehen sind. Photogrammetrische Kameras, die bei kurzfristigen Missionen auf der Weltraumfähre im Einsatz sind, vervollständigen das Datenangebot.

Aus Gründen der Wetterunabhängigkeit und der Möglichkeit, in Schnee und Eis einzudringen, sind Mikrowellenverfahren zur Fernerkundung kryosphärischer Parameter besonders interessant. Auf dem Mikrowellengebiet ist zur Zeit die Entwicklung von Sensoren und die Definition zukünftiger Missionen voll im Gange. Mit dem Einsatz hochauflösender Mikrowellensensoren (abbildende Radarsysteme) für Landanwendungen ist jedoch erst in den neunziger Jahren zu rechnen. Passive Mikrowellensensoren (multispektrale Radiometer) bieten ebenfalls hervorragende Möglichkeiten zur Schnee- und Eiskartierung. Die zur Zeit in Erdumlauf befindlichen Mikrowellenradiometer haben jedoch nur eine geringe räumliche Auflösung.

SENSOREN IM OPTISCHEN BEREICH

Mit den Starts von Landsat 4 im Juli 1982 und Landsat 5 im März 1984 gelangte ein neuer Sensor, der "Thematic Mapper" (TM) in Erdumlauf, der bedeutende Verbesserungen in spektraler und räumlicher Auflösung gegenüber den vorhergehenden Sensoren aufweist. TM arbeitet in 7 Kanälen, 6 davon (Kanal 1, 2, 3, 4, 5, 7) erfassen die reflektierte Sonnenstrahlung im Sichtbaren und Infraroten und haben eine räumliche Auflösung von 30 m, Kanal 6 arbeitet im thermischen Infrarot und hat eine Auflösung von 120 m.

Die Spektralbereiche der TM-Kanäle können für die Schneekartierung als optimal angesehen werden, wie Abbildung 1 verdeutlicht. Während das Reflexionsvermögen von schneefreiem Boden, wie auch von Vegetation, vom Sichtbaren zum nahen Infrarot ansteigt, zeigt Schnee eine starke Abnahme der Reflexion bei Wellenlängen größer als $0.8 \mu\text{m}$ (O'Brien and Munis, 1973). Das geringe Reflexionsvermögen von Schnee bei Wellenlängen größer als $1.4 \mu\text{m}$ erlaubt eine deutliche Unterscheidung von Schnee und Wolken unter Verwendung der TM-Kanäle 5 oder 7. Das Reflexionsvermögen

im sichtbaren Bereich (TM-Kanäle 1, 2, 3) wird neben der Korngröße vor allem vom Verschmutzungsgrad des Schnees bestimmt, während die Schneefeuchtigkeit auf die Reflexion in den Infrarot-Kanälen 4, 5 und 7 wesentlichen Einfluß hat. TM-Kanal 4 erlaubt eine optimale Unterscheidung von Schnee und Gletschereis.

Abbildung 2 zeigt als Beispiel den Ausschnitt eines TM-Bildes der Ötztaler Alpen vom 7. Juli 1984 in den TM-Kanälen 2 (0.52 bis 0.60 μm) und 5 (1.55 bis 1.75 μm). Zu diesem Termin waren die Gletscher wie auch höhere unvergletscherte Gebiete schneebedeckt. Den linken unteren Teil des Bildes nimmt der Hochjochferner ein, entlang des rechten Bildrandes, an einem ostwärts gerichteten Berghang, ist kleinräumige Cumulusbewölkung zu sehen. Während die Wolken sowohl im sichtbaren als auch im infraroten Kanal starke Reflexion zeigen, erscheint die Schneedecke im Kanal 5 nahezu schwarz, da das Reflexionsvermögen sehr gering ist. Auch die schneefreien Hänge reflektieren in Kanal 5 stärker als die Schneedecke.

Mit dem Start des französischen Satelliten SPOT, der für Ende 1985 vorgesehen ist, wird sich das Angebot an hochauflösenden Daten der Erdoberfläche noch erweitern. Der optische Sensor auf SPOT wird zwar die spektrale Auflösung von TM nicht erreichen, die räumliche Auflösung wird jedoch besser sein und soll im panchromatischen Modus 10 m betragen und im multispektralen Modus mit 3 Kanälen (0.50 - 0.59 μm , 0.61 - 0.69 μm , 0.79 - 0.89 μm) 20 m. Die Spektralkanäle erlauben keine so gute Unterscheidung zwischen Wolken und Schnee wie bei TM. Ein Vorteil des SPOT Sensors ist jedoch die Möglichkeit, das Gesichtsfeld innerhalb eines Winkels von $\pm 27^\circ$ links und rechts des Subsatellitenpunktes vom Boden aus zu steuern. Deshalb ergibt sich die Möglichkeit, dasselbe Gebiet an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen aufzunehmen. Zusammen mit TM, der einen Wiederholungszyklus von 16 Tagen hat, ist deshalb ab Winter 1985/86 eine deutliche Verbesserung der Aufnahmefolge für Schneekartierungen auch im kleinräumigen Maßstab zu erwarten.

Erweitert wird das Angebot hochauflösender optischer Daten durch verschiedene Missionen von Space Shuttle, bei denen spezielle photogrammetrische Kameras eingesetzt werden. Ein interessantes Anwendungsgebiet ist zum Beispiel die Erstellung von Karten für Gletschergebiete, wobei man hofft, in Zukunft bis auf Kartenmaßstäbe von 1:50.000 zu kommen.

PASSIVE SENSOREN IM MIKROWELLENBEREICH

Falls Aufnahmen der Erdoberfläche in regelmäßigen Zeitabständen oder mit hoher zeitlicher Folge benötigt werden, sind Mikrowellensensoren am besten geeignet, da die Aufnahmen durch Bewölkung kaum beeinträchtigt werden. Solche Anwendungen wären zum Beispiel Schneekartierungen für kurzfristige Abflußprognosen. Ein weiterer Vorteil der Mikrowellen ist die Eigenschaft, in die Schneedecke einzudringen. Deshalb bietet sich die Möglichkeit, neben der Ausdehnung der Schneedecke auch Information über das

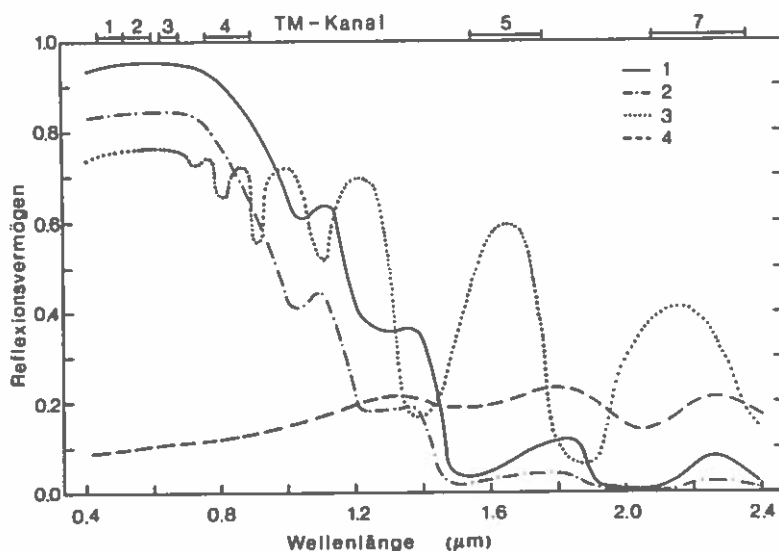


Abb. 1: Typische Werte des spektralen Reflexionsvermögens von (1) Neuschnee, (2) schmelzendem Schnee, (3) stratiformer Bewölkung, (4) feuchtem Sandboden.

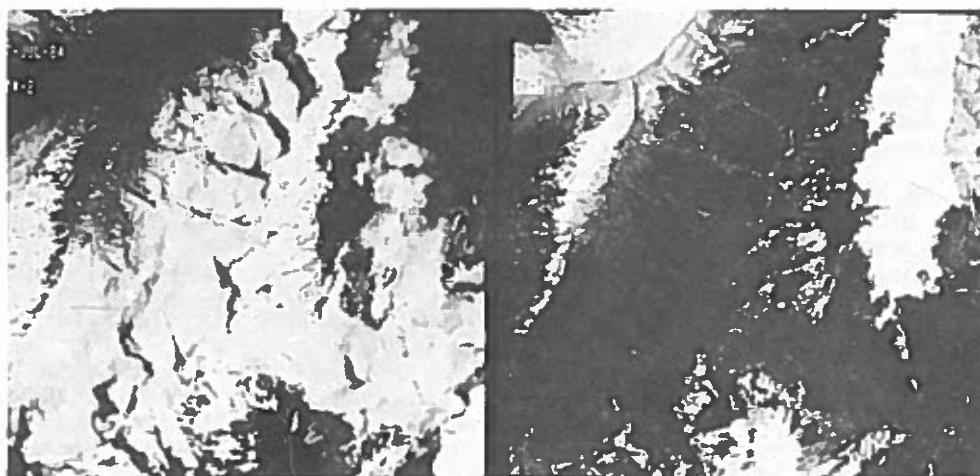


Abb. 2: Ausschnitt eines Landsat-5 Thematic Mapper Bildes aus den Ötztaler Alpen. Links: Kanal Nr. 2 (0.52 - 0.62 μm), rechts: Kanal Nr. 5 (1.55 - 1.75 μm), Größe 8x8 km².

Wasseräquivalent bzw. die Schneehöhe sowie über den Schmelzzustand abzuleiten.

Sowohl aktive als auch passive Sensoren im Mikrowellenbereich sind für Schnee- und Eiskartierungen von Interesse. Die passiven Sensoren (abtastende Radiometer) messen die emittierte Strahlung, die sich im Mikrowellenbereich mit Hilfe der Strahlungstemperatur T_B aus dem Produkt von frequenzabhängigem Emissionsvermögen ($e \leq 1$) und der physikalischen Temperatur T darstellen läßt:

$$T_B(\nu) = e(\nu)T \quad (K)$$

Typische Werte der Strahlungstemperatur verschiedener Oberflächen zeigt die Abbildung 3. Zufolge von Streueffekten in der Schneedecke nimmt die Strahlungstemperatur von schneebedecktem Boden bei trockenem Schnee mit zunehmender Frequenz ab. Messungen im Frequenzbereich von etwa 10 GHz bis 40 GHz erlauben Rückschlüsse auf die Gesamtmasse des am Erdboden liegenden Schnees (das Wasseräquivalent). Die Anwesenheit von Wasser in der Schneedecke bewirkt eine starke Erhöhung der dielektrischen Verluste. Nasser Schnee hat deshalb ein hohes Emissionsvermögen und ist im Mikrowellenbereich von schneefreiem Boden kaum zu unterscheiden.

Ein Problem der Mikrowellenradiometer ist die geringe räumliche Auflösung, die durch die Antennendimension und Wellenlänge bestimmt ist. Gute Möglichkeiten für großräumige Schneekartierungen zeigt das "Scanning Multichannel Microwave Radiometer" (SMMR), das im Oktober 1978 auf Nimbus-7 in Erdumlauf gelangte und 1985 noch im Einsatz ist. SMMR arbeitet in 5 Frequenzen (6.6, 10.7, 18.0, 21.0, 37.0 GHz) in horizontaler und vertikaler Polarisation, die Auflösung der einzelnen Kanäle beträgt zwischen $151 \times 97 \text{ km}^2$ (6.6 GHz) und $28 \times 17 \text{ km}^2$ (37 GHz). Zur Schneekartierung wurde ein automatisches Verfahren entwickelt, das auf den 18 GHz und 37 GHz Kanälen beruht (Künzi et al., 1982; Rott and Künzi, 1983). Das Verfahren erlaubt die Kartierung von Ausdehnung und Wasseräquivalent trockenen Schnees und des Beginns der Schneeschmelze. Die Einbeziehung von Oberflächenkategorien (z.B. Waldgebiete, Seen, Sümpfe) ermöglicht eine verbesserte Berechnung des Wasseräquivalents (Hallikainen, 1984). Zufolge der räumlichen Auflösung des Sensors sind die Schneeanalysen von SMMR vor allem für großräumige klimatologische Studien von Interesse.

Ein SMMR ähnlicher Sensor, genannt Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I) soll 1986 auf dem amerikanischen DMSP Satelliten in Erdumlauf gelangen. Ein weiterer Kanal bei 85.5 GHz mit 15 km Auflösung auf SSM/I bedeutet eine gewisse Verbesserung gegenüber SMMR, die Auflösung der übrigen Kanäle wird ähnlich wie bei SMMR sein. Mikrowellenradiometer mit wesentlich größeren Antennen, mit denen man eine Auflösung von wenigen Kilometern erreichen kann, sind nicht vor Mitte der neunziger Jahre zu erwarten, wenn die Erdbeobachtungsprogramme auf polaren Plattformen anlaufen.

ABBILDENDE RADARSYSTEME

Aktive Systeme im Mikrowellenbereich ermöglichen eine wesentliche Verbesserung der räumlichen Auflösung gegenüber

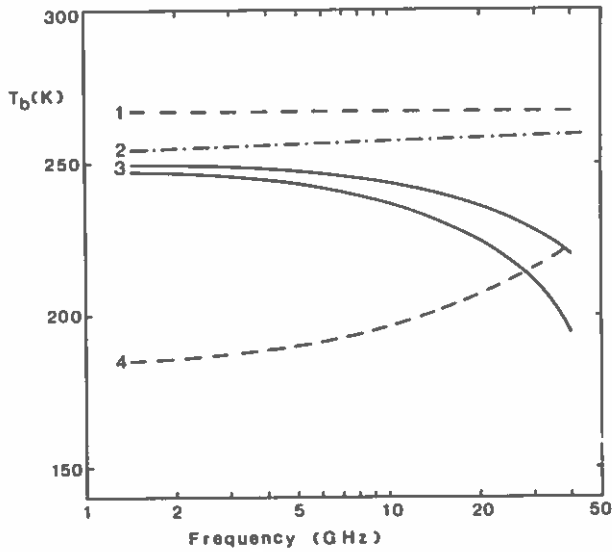


Abb. 3: Typische Werte der Strahlungstemperatur (hor. Polarisation, $\theta = 50^\circ$), für (1) trockenen Boden, (2) nassen Schnee, (3) trockenen Schnee unterschiedlicher Tiefe, (4) sehr nassen Boden.

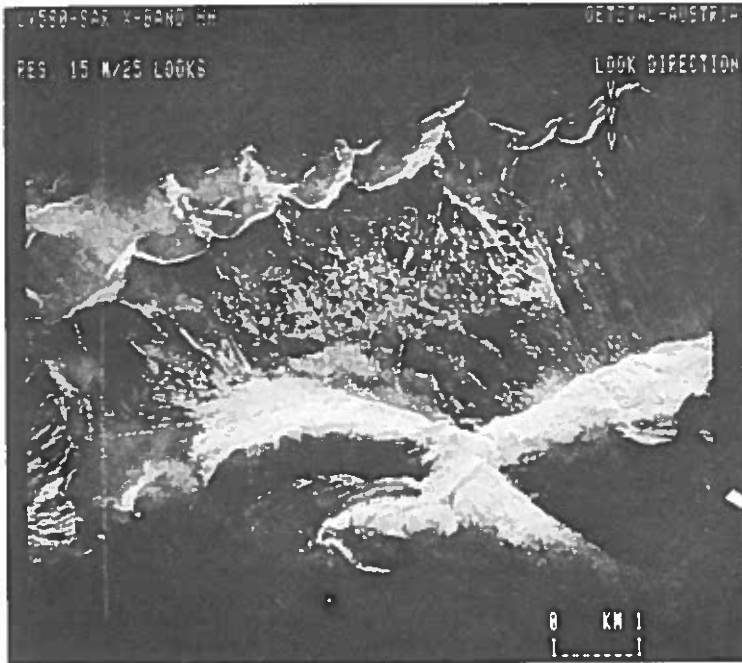


Abb.4: Wiedergabe eines digital prozessierten SAR-Bildes vom Flugzeug-Experiment SAR-580, 5 x 5 Bildpunkte gemittelt. Die Radar-Beleuchtung im Bild ist von oben.

Radiometern durch die Technik der Apertur-Synthese. Mit Synthetisch-Apertur-Radar (SAR) Systemen auf Satelliten kann man eine Auflösung um 10 m erreichen. Für die Klassifizierung flächenhafter Objekte ist jedoch im allgemeinen eine Mittelung über eine größere Zahl von Bildelementen nötig, was eine Reduktion der Auflösung im Vergleich zu optischen Systemen bedeutet (Rott, 1983).

Die Helligkeit in Radarbildern stellt ein relatives Maß für die Intensität der Rückstreuung des vom Sensor ausgesandten Signals dar. Abbildung 4 zeigt als Beispiel ein Bild, das am 7. Juli 1981 über einem Testgebiet in den Ötztaler Alpen vom flugzeuggetragenen SAR-580 System aufgenommen wurde. Über die Ergebnisse des Experiments, bei dem die Möglichkeiten von SAR zur Schneekartierung im Gebirge untersucht wurden, liegen Veröffentlichungen vor (Rott, 1984; Rott and Domik, 1985). Das Testgebiet erstreckt sich über Meereshöhen von 2.000 m bis 3.600 m und ist teilweise vergletschert. Die Topographie erscheint im Radarbild zufolge der Abbildungsgeometrie verstärkt. Hänge, die in Richtung der Radarantenne exponiert sind, erscheinen hell; Hänge, die vom Radar weggerichtet sind, zeigen niedrigere Rückstreuung oder liegen im Radarschatten. Zur Zeit des Überfluges waren die Gletscher großteils schneebedeckt, auch in höheren unvergletscherten Lagen waren Schneeflächen anzutreffen. In der Mitte des unteren Bildrandes ist die Zunge des Marzellferners zu sehen, entlang des oberen Bildrandes erstrecken sich mehrere Kargletscher. Auf Grund der geringen Intensität des rückgestreuten Signals erscheinen die Schneeflächen wesentlich dunkler als die schneefreien Bergkämme und Hänge.

Bei schneebedecktem Boden tragen folgende Komponenten zur Rückstreuung bei: i) Streuung an der Schneeoberfläche, ii) Volumsstreuung in der Schneedecke, iii) Streuung am Erdboden unter der Schneedecke. Die Größe der einzelnen Beiträge hängt unter anderem von der Wellenlänge des Radarsystems, von der Rauigkeit der Oberflächen und von den dielektrischen Eigenschaften der Medien ab. Bei nassem Schnee sind die dielektrischen Verluste groß und die Eindringtiefe ist nur in der Größenordnung einer Wellenlänge. Deshalb zeigt nasser Schnee niedrigere Werte der Rückstreuung. Im Frequenzbereich von etwa 5 bis 15 GHz liegen die Rückstreuwerte von nassem Schnee bei Einfallswinkeln $\geq 25^\circ$ (von der Vertikalen) deutlich unter den Werten der meisten natürlichen Oberflächen mit Ausnahme von Wasserflächen und Sümpfen. Dieser Frequenzbereich ist deshalb gut zur Kartierung von nassem Schneedecke geeignet.

Bei trockenem Schnee ist bei Frequenzen < 15 GHz der Einfluß der Schneedecke auf das Radarsignal gering; im rückgestreuten Signal dominiert der Anteil, der von der Bodenoberfläche unter der Schneedecke stammt. Die Frequenzbänder unterhalb 11 GHz (X, C, S, L), in denen die heutigen SAR Systeme arbeiten, sind deshalb zur Kartierung trockenen Schnees nicht geeignet. Eine Möglichkeit für die Erfassung trockenen Schnees könnte sich bei Frequenzen oberhalb 15 GHz ergeben, weitere Untersuchungen sind jedoch nötig, um diese Frage zu klären. Aus technischen Gründen werden SAR-Systeme mit so hohen Frequenzen auch für die nächste

Generation von Erdbeobachtungssatelliten nicht in Erwägung gezogen.

Spezifikationen für ein satellitengetragenes SAR System für Schnee- und Eisanwendungen wurden in einer Studie für die Europäische Weltraumorganisation erarbeitet (Rott et al., 1985). Die Untersuchungen zeigen, daß das SAR-System des ERS-1 Satelliten auf Grund der Beobachtungsgeometrie zur Erfassung von Schnee und Landeis nicht günstig sein wird. Es wurde jedoch ein SAR System definiert, das im X-Band arbeitet und zur Kartierung von schmelzenden Schneeflächen und Gletschern geeignet ist. Die Resultate dieser Untersuchungen sollen in die Definition eines SAR Systems für Landanwendungen eingehen, das von der Europäischen Weltraumorganisation für zukünftige Erdbeobachtungssatelliten nach ERS-1 und ERS-2 geplant wird.

ZUSAMMENFASSUNG

Satelliten-Sensoren zur Fernerkundung von Schnee und Eis im Sichtbaren und Infraroten und im Mikrowellenbereich werden beschrieben und Anwendungsmöglichkeiten werden anhand von Beispielen diskutiert. Der "Thematic Mapper" auf Landsat erlaubt eine optimale Trennung von Schnee und Wolken und ermöglicht auf Grund der Auflösung von 30 m auch kleinräumige Schneekartierungen. Mit Mikrowellenradiometern kann man die Ausdehnung und das Wasseräquivalent von trockenem Schnee sowie den Beginn der Schneeschmelze kartieren, die räumliche Auflösung ist jedoch nur für großräumige klimatologische Untersuchungen geeignet. SAR-Systeme bieten die Möglichkeit zur Erfassung schmelzender Schneeflächen, geeignete Systeme sind jedoch erst auf Erdbeobachtungssatelliten der neunziger Jahre zu erwarten.

Schlüsselwörter: Schnee, Erdbeobachtungssatelliten, Thematic Mapper, Mikrowellenradiometer, Radar mit synthetischer Apertur.

SUMMARY

Satellite sensors for snow and ice monitoring in the visible, infrared, and microwave part of the spectrum are described and applications are shown. Landsat's Thematic Mapper enables optimum separation of snow and clouds and can be used for small scale snow mapping due to the high spatial resolution. Spaceborne microwave radiometers can provide information on the extent and water equivalent of dry snow and on the onset of snowmelt; the resolution, however, is adequate only for large scale climatological studies. Synthetic aperture radar can be useful for mapping melting snow, but SAR systems for land applications will not be launched before 1990.

Keywords: Snow, Earth Observation Satellites, Thematic Mapper, Microwave Radiometer, Synthetic Aperture Radar.

LITERATUR

- Hallikainen, M.T., 1984: Retrieval of snow water equivalent from Nimbus-7 SMMR data: effect of land-cover categories and weather conditions. IEEE J. of Oceanic Eng., Vol. OE-9(5), p.372-376.
- Künzi, K., Patil, S., and Rott H., 1982: Snow cover parameters retrieved from Nimbus-7 Scanning Multi-channel Microwave Radiometer (SMMR) data. IEEE Trans. Geosc. Rem. Sens., Vol. GE-20, p.452-467.
- O'Brien, H.W., and Munis, R.H., 1973: Red and near-infrared spectral reflectance of snow. US Army Cold Regions Research and Eng. Lab. (CRREL), Res. Rep. 332.
- Rott, H., 1983: Snow and ice monitoring by microwave techniques. Proc. of ESA Summer School on Remote Sensing, Alpbach, 1983, ESA SP-205, p.75-86.
- Rott, H., 1984: The analysis of backscattering properties from SAR data of mountain regions. IEEE J. of Oceanic Eng., Special Issue on Microwave Signatures of the Sea, Sea Ice, and Snow. Vol. OE-9(5), p.347-355.
- Rott H., and Künzi, K., 1983: Properties of the global snow cover and of snow free terrain from the Nimbus-7 SMMR first year data set. Proc. of the Specialist Meeting on Microwave Radiometry and Rem. Sens., Roma, March 1983, p.7-18.
- Rott H., and Domik, G., 1984: The SAR experiment on snow and glaciers at the Austrian test site. Final Report of the European SAR-580 Campaign, JRC, Ispra, Italy, S.A.I.04, E 2.85.12/2, p.265-278.
- Rott, H., Domik G., Mätzler, C., and Miller H., 1985: Study on use and characteristics of SAR for land snow and ice applications. Final Report to ESA, Mitteilungen des Inst. für Meteorologie und Geophysik, Univ. Innsbruck, Nr.1.

DIE VERWENDUNG VON FERNERKUNDUNGSDATEN FÜR KURZFRISTIGE WETTERVORHERSAGEN

Günter Mahringer

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

Hohe Warte 38

A - 1190 Wien

ZUSAMMENFASSUNG

Ein Hauptproblem bei der Erstellung von Wettervorhersagen für den Zeitraum bis 12 Stunden stellt die Erfassung des aktuellen Wetterzustandes dar. Dabei ist eine hohe zeitliche und räumliche (verglichen mit den synoptischen Meldestellen) Auflösung notwendig. Die Wettersatelliten (insbesondere die geostationären) und Radarsysteme (in Österreich noch im Aufbau) haben als Datenlieferanten große Bedeutung erlangt.

Die Prognose erfolgt durch Vorhersage der Verlagerung bestehender und der Entwicklung neuer Wettersysteme und hat eine Abschätzung der Auswirkungen auf das örtliche Wettergeschehen zu beinhalten. Im Kurzfristzeitraum wird Wert auf räumliche und zeitliche Präzision der Aussagen gelegt.

An der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik wurde eine Methode entwickelt, mit der vorwiegend die Verlagerung erfaßt werden soll. Ergebnisse eines umfassenden Tests werden präsentiert.

SUMMARY

One of the main problems with weather forecasts for the 12 hours period is the analysis of the present weather conditions. Compared to the data of the synoptic network, a high spatial and temporal resolution is required. Data from satellites and radar networks (in Austria in construction) are very important.

The forecast consists of predicting the displacement of observed and the development of new weather systems as well

as their impact on the local weather. Short-range forecasts are expected to be precise in respect of time and place.

A method for the prediction of the displacement of weather systems has been developed at the Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Results of an operational test are presented.

EINLEITUNG

In diesem Bericht soll dargestellt werden, wie Fernerkundungsdaten an der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik zur Erstellung kurzfristiger Wettervorhersagen für den Zeitraum der nächsten 12 Stunden verwendet werden. Es sollen die spezifischen Probleme dieses Vorhersagezeitraumes erläutert, die Ergebnisse eines Tests dargestellt und Arbeitsgebiete der Forschung angedeutet.

PROBLEME BEI DER ERSTELLUNG KURZFRISTIGER WETTERVORHERSAGEN BIS 12 STUNDEN

Der Vorhersagezeitraum bis 12 Stunden ist entgegen der naheliegenden und weitverbreiteten Ansicht weder der Bereich, in dem sich das Wetter nur selten ändert, noch jener, für den Wettervorhersagen am leichtesten zu erstellen sind. Dies hat seinen Grund in den hohen Anforderungen, die an derartige Vorhersagen gestellt werden, was die zeitliche und räumliche Differenzierung betrifft.

In verschiedenen Gebieten der Erde sind die Fragestellungen der Benutzer kurzfristiger Wettervorhersagen sehr unterschiedlich. Allgemein wird hohe Exaktheit und Zuverlässigkeit gefordert, man nimmt in Kauf, daß die Aussagen nur für ein relativ kleines Gebiet gültig sind. In Europa besteht beispielsweise Bedarf an Warnungen vor Sturm (Seen, Kranfirmen) und Vorhersagen von Schneefällen und Glatteis (Straßendienst, Luftfahrt), Nebel und Sichtweite (Verkehr, Luftfahrt), Frost (Landwirtschaft), Niederschlag (Bau- und Landwirtschaft) und vieles mehr. Der direkte Kontakt zwischen den Meteorologen und Benutzern ist notwendig, um die Möglichkeiten der Meteorologie und die Erfordernisse zu koordinieren.

Der erste Schritt bei der Erstellung kurzfristiger Prognosen ist die Erfassung des aktuellen Wetterzustandes. Da die Vorhersagen für kleine Gebiete exakt gültig sein sollen, muß er mit möglichst guter zeitlicher und räumlicher Auflösung beobachtet werden. Hier stellt die Fernerkundung wichtige Daten-

quellen zur Verfügung: Geostationäre Satelliten beobachten die Bewölkung großräumig alle 30 Minuten, wobei im IR-Bereich eine Auflösung von ca. 8 km, im VIS-Bereich ca. 4 km erreicht wird. Dies ist meist ausreichend, obgleich eine Auflösung von ca. 1 km wünschenswert wäre. Die zeitliche Auflösung ist ebenfalls meist ausreichend.

Radaranlagen liefern mit noch höherer zeitlicher und räumlicher Auflösung Beobachtungen von Niederschlagsgebieten im Umkreis von ca. 200 km. Ein gesamtösterreichisches RadarNetz ist im Aufbau.

Für den Meteorologen ist es wichtig, die Daten möglichst rasch und in möglichst übersichtlicher Form zur Verfügung zu haben. Einfache digitale Bildbearbeitungsverfahren finden bei der Aufbereitung Verwendung.

Bei der Erstellung der Prognose treten drei Fragenkomplexe auf:

1. Wie verlagern sich die beobachteten Wettersysteme,

2. In welchen Gebieten und zu welcher Zeit kommt es zur Verstärkung bzw. Abschwächung bestehender oder zur Entwicklung neuer Systeme,

3. Welche Wettererscheinungen verursachen die Systeme im Vorhersagegebiet?

KURZFRISTIGE WETTERVORHERSAGEN (BIS 12 STUNDEN) AN DER ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK

An der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik wurde während der letzten Jahre eine Methode entwickelt und getestet, die vor allem die Prognose der Verlagerung bestehender Wolkensysteme ermöglicht. Sie wird hier anhand eines Beispiels dargestellt.

Abb. 1 zeigt eine Serie von Satellitenbildern vom 7. Mai 1985. Es soll anhand des Bildes von 06 GMT unter Verwendung von Beobachtungen synoptischer Meldestellen und Berechnungen numerischer Prognosemodelle eine Vorhersage erstellt werden. Sie soll eine Charakterisierung des Wetterzustandes um 12 GMT und 18 GMT sowie des Wetterverlaufs von 06 GMT bis 18 GMT für den Prognosenort Wien beinhalten.

Im Satellitenbild von 06 GMT fallen zwei Wolkenbänder (helle Bereiche) auf. Das nördliche hat Wien (markiert durch Kreuz) während der Nacht von Süden nach Norden überquert, das südliche nähert sich.

Die von Wien ausgehende Linie verbindet jene Positionen, von denen die Luft bis 18 GMT nach Wien strömt (Trajektorien-Bezugspunkte). Sie ist ein Ergebnis von Berechnungen aufgrund prognostizierter Windfelder, wobei ein wesentliches Problem darin liegt, daß die Windverhältnisse in verschiedenen Höhen oft sehr unterschiedlich sind. Man muß daher jenes Niveau auswählen, in dem die beobachtete Verlagerung mit den Winden gut übereinstimmt. In das Bild von 6 GMT wurden weiters Niederschlagsbeobachtungen eingezeichnet.

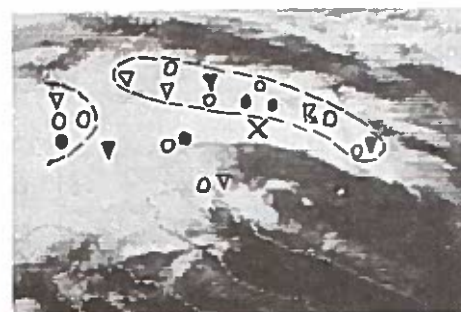
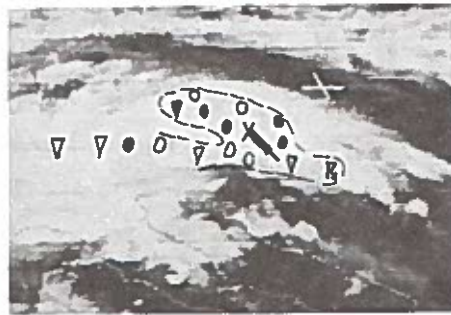
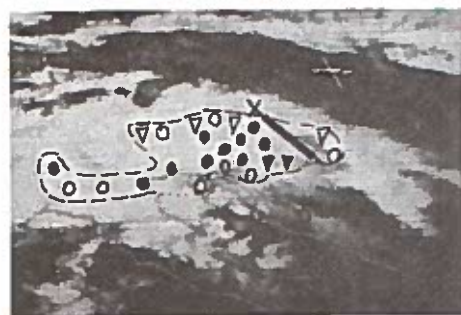
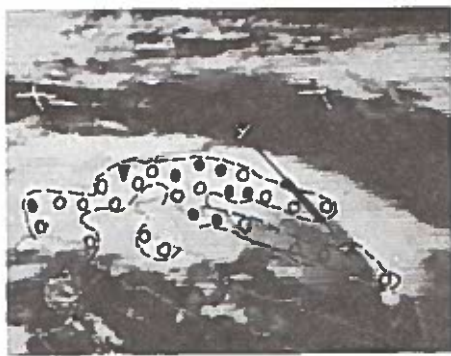
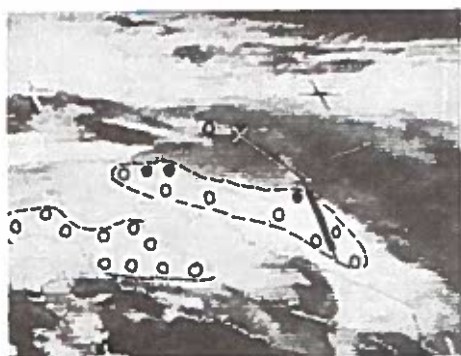


Abb. 1: Serie von Satellitenbildern METEOSAT 2, IR (10.5-12.5 μ m)
 Niederschlagsbeobachtungen:
 = leichter Regen
 = mäßiger od. starker R.
 = leichter Regenschauer
 = mäßiger od. starker RS.

Die Vorhersage wurde in das Formblatt (Abb. 2) eingetragen. Es wurde damit gerechnet, daß die Bewölkung ab 11 GMT geschlossen sein und von 12 GMT bis 18 GMT Niederschlag fallen wird. Tatsächlich war es ab 10 GMT bedeckt und es regnete von 12.45 bis 17 GMT (Abb. 2, Abschnitte c,d).

Zusätzlich wurde versucht, die zu erwartende Niederschlagsmenge abzuschätzen. Die Zahlen in Abb. 3 geben die beobachteten Niederschlagsmengen während der letzten 6 Stunden an.

DATUM: 7.5.85		12 Z aus DZ 7		12 Z aus DZ 2		18 Z aus DZ 7		18 Z aus DZ 2		18 Z aus DZ 2	
WOLKENSYSTEME (Beschreibung)		Vorderer Rand des Wolken- bandes		Wie vorher		Innerhalb des Wolken- bandes		Hinterer Rand des Wolken- bandes		Naher hin- terem Rand des Wolken- bandes	
a)	Kategorie	N+	Modifikation verbleibend	N+	Modifikation verbleibend	N+	Modifikation verbleibend	N+	Modifikation verbleibend	N+	Modifikation verbleibend
b)	Trajektorien: Richtung	1/2	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3
	Geschwindigkeit	1/2	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3
	Niederschlag: 200	1/2	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3
c)	WOLKENART: Tief oder mehrsch. hoch - feuerig sektular	1/2	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3
	Intensität: gering aufgelockert intensiv - bedeckt	1/2	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3
	NIEDERSCHLAG: kein Ja	1/2	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3
d)	ZEITRAUM	6-8	8-12	12-18	18-24	24-30	30-36	36-42	42-48	48-54	54-60
	WOLKENART: Tief oder mehrsch. hoch - feuerig sektular	1/2	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3
	Intensität: Gering aufgelockert intensiv - bedeckt	1/2	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3
e)	NIEDERSCHLAG: kein Ja	1/2	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3
	ZEITRAUM	6-8	8-12	12-18	18-24	24-30	30-36	36-42	42-48	48-54	54-60
	WOLKENART: Tief oder mehrsch. hoch - feuerig sektular	1/2	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3
f)	Intensität: Gering aufgelockert intensiv - bedeckt	1/2	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3
	NIEDERSCHLAG: kein Ja	1/2	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3	2/1	3/3
	ZEITRAUM	6-8	8-12	12-18	18-24	24-30	30-36	36-42	42-48	48-54	54-60

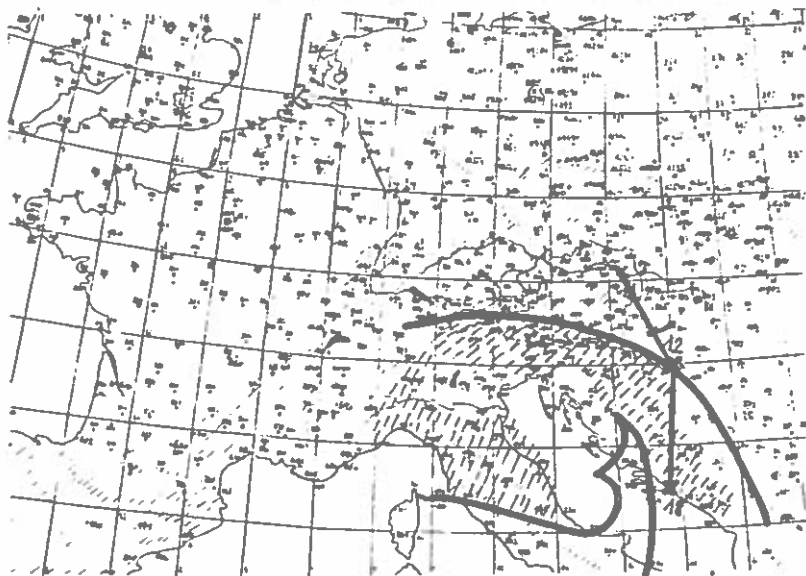


Abb. 2: Formblatt. x Prognose, o Verifikation
M Prognose: "möglich"
— Wolkenkonturen 6 GMT
— Trajektorienbezugspunkte
Niederschlagsgebiete um 6 GMT

Um 6 GMT konnte man damit rechnen, daß in Wien bis 18 GMT etwa 2 bis 5 mm Regen fallen werden. Um 12 GMT schien auch eine Menge von 10 mm oder etwas mehr möglich. Tatsächlich fielen 16 mm, was über dem Durchschnitt der Umgebung lag.

Es sei deutlich darauf hingewiesen, daß quantitative Niederschlagsvorhersagen derzeit noch mit großen Fehlern behaftet sind, insbesondere in Ländern wie Österreich, wo die Gebirge entscheidende Einflüsse auf das lokale Wettergeschehen ausüben.

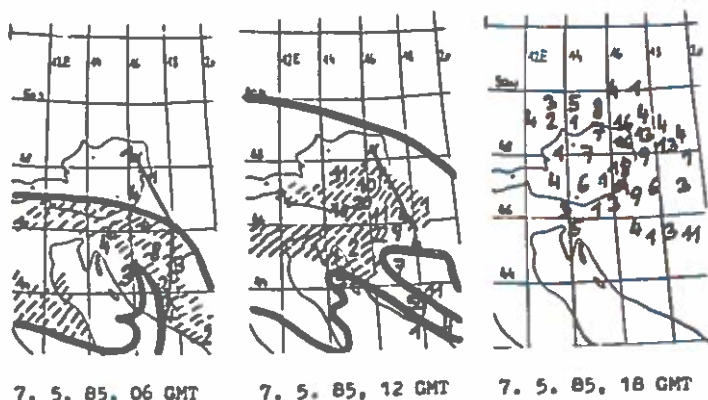


Abb. 3: Niederschlagsanalysen

// Niederschlagsgebiete
 — Wolkenkonturen
 → Trajektorien
 1... Niederschlagsmengen in mm/6 Std

ERGEBNISSE EINES ROUTINEMÄSSIGEN TESTS

Im Zeitraum Oktober 1984 - September 1985 wird täglich eine Prognose in der Art des obigen Beispiels erstellt. Die vorläufige Auswertung für den Zeitraum Oktober bis März ergab, daß die Methode in 80 % der Fälle angewendet werden konnten und in 20 % der Fälle Wolkensysteme auftraten, die sich nicht entlang der berechneten Zugbahnen verlagerten (hauptsächlich Nebelfelder). Die Wetterelemente Bewölkungsart und Bedeckungsgrad (in jeweils 3 Kategorien, siehe Abb. 2) sowie Niederschlag wurden in ihrem genauen zeitlichen Verlauf vorhergesagt.

Die Wolkenart wurde fast immer richtig vorhergesagt, während beim Bedeckungsgrad für Zeiträume bis 6 Stunden 6 - 15 % und für Zeiträume 9 - 12 Stunden 20 - 25 % Fehler auftraten. Das Auftreten von Niederschlag wurden für kurze Zeiträume in 90 %, für längere in 70 - 75 % der Fälle richtig vorhergesagt, wobei nur wenige Niederschlagsereignisse übersehen wurden. Bei der Vorhersage von Wetteränderungen traten im Mittel relative Zeitfehler von 10 - 15 % auf.

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE IM ZUSAMMENHANG MIT KURZFRISTIGEN WETTERVORHERSAGEN

In Zukunft soll vor allem dem Problem der Modifikationen von Wolkensystemen größere Aufmerksamkeit gewidmet werden, es sollen Korrelationen zwischen abgeleiteten meteorologischen Parametern und kurzfristigen Struktur- und Intensitätsveränderungen ermittelt werden.

Die Methode der quantitativen Niederschlagsvorhersage soll routinemäßig nutzbar gemacht werden. Dazu ist es notwendig, die Auswerteprozesse zu automatisieren. Weiters wäre ein engerer Kontakt mit Benützern wünschenswert. Benutzerorientierte Vorhersagen sollen mehr als bisher verbreitet werden.

DIE BEDEUTUNG VON SATELLITENFILMEN IN DER METEOROLOGIE

Veronika Zwatz - Meise
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien

Summary

Some remarks on a Meteosat satellite film.

Satellitenfilme, die aus den halbstündigen Bildern geostationärer Satelliten angefertigt werden, sind seit der Existenz des meteorologischen Satelliten Meteosat auch für den europäischen Raum möglich. Sie zeigen Ausbildung, Verlagerung und Umformung der Bewölkungskonfigurationen und sind somit für den Meteorologen ein neues, zusätzliches Hilfsmittel.

- Es gibt zwei Haupteinsatzgebiete für Satellitenfilme:
- 1.) Die meteorologische Forschung, denn viele Entwicklungen und Vorgänge im Bereich der Bewölkung können durch die Bewegung überhaupt erst erkannt u/o besser verstanden werden. Insbesondere ist die Möglichkeit, den Film nach rückwärts laufen zu lassen geeignet, den Ursprung interessanter Bewölkungskonfigurationen zu erfassen.
 - 2.) Die sehr kurzfristige Vorhersage (Vorhersage für 0 bis 12 Stunden), denn durch die Verfolgung der Verlagerung von Wolkengebieten und den mit ihnen verbundenen Wettererscheinungen kann man advektiv herangeführte Systeme sinnvoll etwa bis 12 Stunden vorhersagen.

Da in den Datenarchiven vieler Wetterdienste zwar das benötigte Grundlagenmaterial, die IR - Bilder, vorhanden ist, meist aber die technischen Möglichkeiten, hochwertige Filme zu produzieren, fehlen, wurde an der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien versucht, mit extrem einfachen Mitteln einen Meteosatfilm für Studien- und Lehrzwecke anzufertigen.

Es wurden die an der Anstalt aufgenommenen halbstündigen Bilder an drei fixen Marken (Koordinatenkreuze) mittels Nadeln befestigt, um immer den gleichen Bildausschnitt zu erhalten und sodann mit einer einfachen Super 8 Filmkamera aufgenommen. Dabei wurde jedes Bild mehrmals (3 bis 5 mal) photographiert. Praktische Zusatzinformationen wie z.B. die Landkonturen von Österreich und des Alpenhauptkammes können eingetragen werden.

Der Zeitraum des Filmes ist der 17. - 21. 9. 1984. Trotz der reduzierten Qualität, die eine Folge der einfachen Aufnahmetechnik ist, kann eine Fülle sowohl bekannter klassischer als auch unkonventioneller Vorgänge beobachtet und mittels physikalisch - meteorologischer Parameter untersucht werden.

Im Rahmen dieses Symposiums wurden folgende Phänomene gezeigt und erläutert:

- 1.) Die Entstehung von nichtfrontalen Wolkenbändern hinter den Wetterfronten und deren Hineinwandern in den Frontbereich.
- 2.) Die explosionsartige Entwicklung von kleinen Wolkenzellen zu Wolkenbändern von 10 Grad Länge.
- 3.) Die Ausbildung von Wolkenbändern mit typischer Spiralstruktur aus genetisch völlig unterschiedlichen Wolkenmassen.
- 4.) Ein Beispiel für die "sehr kurzfristige Vorhersage" im Bereich Südengland, London.

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN ZUR AUFLÖSUNG DES THEMATIC MAPPER

R.Kalliany

Institut für Photogrammetrie
Technische Universität Wien

EINLEITUNG

Seit Beginn des Landsat-Programms in den frühen 70er-Jahren hat die Fernerkundung aus Erdumlaufbahnen immer mehr an Bedeutung gewonnen und für manche Aufgabenbereiche bereits eine Vormachtstellung errungen. Die Vorteile der Aufnahmen des Landsat-Sensors "Multi-Spectral Scanner"(MSS) lagen vor allem in großen Wiederholungskapazität, der Multispektralität, sowie der EDV-gerechten Bereitstellung des Datenmaterials. Damit waren gute Voraussetzungen für die computergestützte Klassifikation und Bildanalyse gegeben. In letzter Zeit, vor allem seit dem Einsatz des neuen Multispektralscanners "Thematic Mapper"(TM) an Bord von Landsat-4 und Landsat-5, rückt auch die Detailauflösung für topographische Aufgaben in den Blickpunkt des Interesses. Während die Scanner einerseits sich der photographischen Qualität annähern, wurden andererseits an Bord des Space-Shuttle auch erstmals konventionelle photogrammetrische Kammeren in eine Erdumlaufbahn gebracht: Die "Metric Camera"(MC) der ESA und die amerikanische "Large Format Camera"(LFC). Ein Vergleich der Detailauflösung der verschiedenen Sensoren soll die theoretischen und praktischen Grenzen von orbitalen Fernerkundungssystemen beleuchten.

THEORIE

Unter dem generell gebräuchlichen Begriff "Auflösung" versteht man meist eine Summe unterschiedlicher physikalischer Parameter. Tabelle 1 ist eine Übersicht mit den wichtigsten Einflußgrößen für die Leistungsfähigkeit von Fernerkundungssystemen.

<u>AUFLÖSUNGSTYPEN:</u>	<u>EINFLUSSGRÖßEN:</u>	
	<u>SCANNER:</u>	<u>PHOTOGRAPHISCHE SYSTEME:</u>
GEOMETRISCHE AUFLÖSUNG	- PIXELGRÖSSE - ABTASTMODUS	- TYP UND ABBILDUNGSQUALITÄT DER AUFNAHMEOPTIK - LINIENAUFÖSUNGSVERMÖGEN UND KÖRNUUNG DES FILMMATERIALS - KOMPENSATION DER FLUGBEWEGUNG
SPKTRALE AUFLÖSUNG	- BANDBREITE DES SYSTEMS - ANZAHL DER KANÄLE	- BEREICH DER FILMSENSIBILISIERUNG - FARB- ODER SW-EMULSION
SENSITOMETRISCHE AUFLÖSUNG	- EMPFINDLICHKEIT UND ANSPRECHZEIT DER EINZELNEN SENSOREN - KENNLINIE DER SENSOREN (AUFNAHMEBEREICH, LINEARITÄT, ALTERUNG) - DIGITALISIERUNGSTUFEN (ANZAHL DER BIT/PIXEL)	- EMPFINDLICHKEIT UND ENTWICKLUNGS-ART DES FILMES - BELICHTUNGSSPIELRAUM UND KONTRAST-VERHALTEN DES FILMES - DIFFERENTIELLE GRAUWERTWIEDERGABE

Tab.1: Einflußparameter für die Auflösung von Fernerkundungssystemen

Die "geometrische" Auflösung hängt bei photographischem Material sowohl von der Abbildungsleistung der Optik, als auch vom Filmtyp ab und wird in Linienpaaren pro mm (lp/mm) angegeben. Bei Scannern hingegen ist der Öffnungswinkel der Sensoroptik der limitierende Faktor. Je nach Flughöhe ergibt sich die Bodenauflösung bzw. die Pixelgröße.

Der Begriff "spektrale" Auflösung steht für Größe und Unterteilung des vom Sensorsystem erfaßten Fensters im Spektrum der elektromagnetischen Strahlung. Bei Scannern drückt sich das in der Bandbreite und Anzahl der Kanäle aus. Photographische Systeme sind, je nach Filmsensibilisierung, auf den Bereich des sichtbaren Lichtes samt nahem Infrarot beschränkt.

Unter "sensitometrischer" Auflösung versteht man den Grad und die Abstufung der Sensibilisierung des Aufnahmesensors für die einfallende Strahlung. Im photographischen Prozeß wird sie durch die bekannte Schwärzungskurve beschrieben, die den Belichtungsspielraum und die Gradation eines Filmes beschreibt. Bei Scannern entsprechen dem die Kennlinien der einzelnen Sensoren und man spricht in diesem Zusammenhang auch von "radiometrischer" Auflösung. Schwellwerte und Anstieg der Kurven charakterisieren die Empfindlichkeit, den Aufnahmebereich, den Kontrast und die Linearität der einzelnen Photodioden, die zusätzlich einem Alterungsprozeß unterworfen sind. Ein wichtiger Parameter ist auch noch die Ansprechzeit des Sensors, da z.B. eine Photodiode des TM in der Sekunde ca.90000 Pixel verarbeiten muß.

Bei Satellitenscannern ist in diesem Zusammenhang auch die Genauigkeit der Signalcodierung von Bedeutung. So stehen z.B. beim TM 8 Bit zur Codierung des Strahlungswertes eines Pixels zur Verfügung, was 256 Grauwertstufen entspricht; beim MSS sind es hingegen nur 64. Bei Filmemulsionen, als analoges Speichermedium, fällt im Prinzip diese Beschränkung weg; allerdings gibt es auch hier in Abhängigkeit von Filmtyp, Gradation und Verarbeitung Unterschiede in der Grauwertabstufung.

Photographische Aufnahmesysteme

Für Filmmaterial wird die geometrische Auflösung in Linienpaaren pro Millimeter (lp/mm) angegeben. Ein Linienpaar besteht jeweils aus einem weißen und einem gleich breiten schwarzen Balken, was maximalen Kontrast garantiert. Ein Auflösungsvermögen von z.B. 100 lp/mm bedeutet also, daß

innerhalb von 1 Millimeter auf dem Film gerade noch 100 dunkle Linien auf hellem Grund (oder, analog: helle Linien auf dunklem Grund) zu differenzieren sind. Über den Bildmaßstab errechnet sich dann die Bodenauflösung, womit man auf die kleinste erkennbare Linienstruktur schließen kann.

Voraussetzung für die Gültigkeit dieses Wertes ist aber ein sehr hoher Kontrast zwischen den unmittelbar benachbarten Strukturen. Ein Objekt das sich in seinem Remissionsverhalten im betrachteten Spektralbereich nicht von seiner Umgebung unterscheidet, kann, auch wenn es relativ groß ist, nicht erkannt werden. Bei geringen Grauwertunterschieden kommt es auf das Kontrastverhalten und die Belichtung des Films an, je nach Anstieg der Schwärzungskurve im Aufnahmebereich. Die rein geometrische Auflösung wird somit von der sensitometrischen und der spektralen Auflösung des Filmes beeinflusst.

Scanner

Während bei photographischen Aufnahmen das Auflösungsvermögen nur physikalische, aber theoretisch keine geometrischen Grenzen hat, sind der Auflösung von Scannern a priori konstruktionsbedingte Limits gesetzt. Sie ergeben sich aus dem Öffnungswinkel der Abtastoptik, der in Abhängigkeit von der Flughöhe einen entsprechenden großen Abtastfleck auf der Erdoberfläche ergibt. Die Scanneraufnahme entsteht als lückenloses Mosaik dieser Bildelemente, die allgemein als "Pixel" bezeichnet werden. Jedes Pixel repräsentiert den Mittelwert der innerhalb des Abtastflecks von der Erdoberfläche remittierten elektromagnetischen Strahlung eines bestimmten Spektralbereichs.

Um die Grenzen des geometrischen Auflösungsvermögens von abtastenden Systemen zu erkennen muß man sich vergegenwärtigen, daß der Detektor des Scanners während des Abtastens nur einen gleitenden Mittelwert der tatsächlich in Scanrichtung auftretenden Strahlung empfangen kann. Abb.1 zeigt schematisch diesen Vorgang.

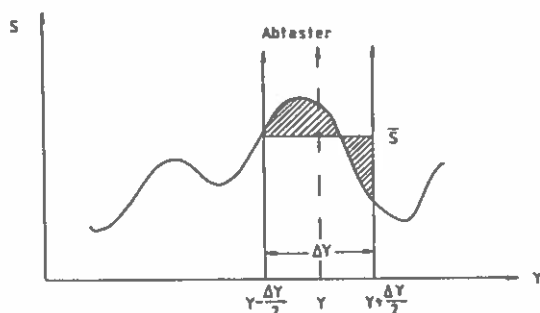


Abb.1: Gleitende Mittelwertbildung (nach K.KRAUS)

Die Funktion $S(Y)$ ist der zu jedem Punkt Y gehörige tatsächliche Strahlungswert. Der Scanner der mit einer Pixelgröße ΔY abtastet kann nur die Funktion $\bar{S}(Y)$ empfangen, die sich aus dem Integral von $S(Y)$ innerhalb von ΔY ergibt. Die Pixelgröße ist abhängig von der Abtastgeschwindigkeit sowie der Detektorempfindlichkeit und kann daher nicht

beliebig minimiert werden.

Eingehende theoretische Untersuchungen zur Grenze des geometrischen Auflösungsvermögens von Scannern basieren meist auf der harmonischen Analyse, wie z.B. bei P.NOWAK(1979). Dabei wird das Bodensignal $S(Y)$ als Summe von periodischen Sinusschwingungen unterschiedlicher Frequenz in eine Fourierreihe entwickelt. Die Funktion des gleitenden Mittels $\bar{S}(Y)$ ergibt sich als Fourier-Integral über die Pixelgröße. Durch Variieren der Pixelgröße in Relation zu den vorkommenden Signalwellenlängen erhält man die Auflösungsgrenze für hochfrequente (= fein strukturierte) Details. Aus Anschaulichkeitsgründen wird aber hier ein einfacherer Weg gewählt, der auch den Zusammenhang mit der Auflösung von Photos herstellt. Unter der leicht idealisierten Annahme quadratischer Pixel und von Sensoren mit streng linearer Kennlinie wird das Abscannen von Linienpaaren simuliert.



Abb.2: Simulierte Scans über ein Balkenmuster der Breite 1 Lp = 4 Pixel

Abb.2 zeigt 2 verschiedene Varianten der Aufnahme eines quer zur Scanrichtung angeordneten Balkenmusters. Dabei wird auch ein noch nicht erwähnter Verwaschungseffekt deutlich, der durch die Digitalisierung des Detektorsignales entsteht: Das vom Sensor aufgenommene gleitende Mittel wird an zufällig liegenden Stellen als Pixel digitalisiert. Je nachdem wie der Scan in Relation zum Objekt verschoben ist, gibt es günstige und ungünstige Konfigurationen. In Abb.2 sind die beiden in diesem Fall extremen Möglichkeiten eingezeichnet: Während der obere Scan das Muster unverfälscht wiedergibt, ist es in der 2.Variante zwar noch eindeutig, aber schon stark verwaschen dargestellt. Diese Darstellung soll aber nicht bedeuten, daß die Pixel von benachbarten Scans gegeneinander verschoben sind. Es werden nur beispielhaft verschiedene Möglichkeiten der Situierung des Objektes in Bezug zu den Bildelementen gezeigt.

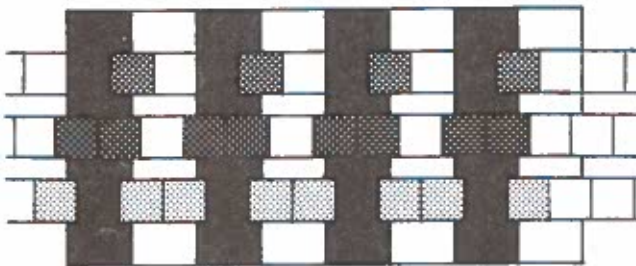


Abb.3: Scanvarianten für 1 Lp = 3 Pixel

In Abb.3 wurden schmalere Balken gewählt, sodaß nur mehr 3 Pixel auf 1 Linienpaar kommen. Wie man sieht, wird das Muster auf jeden Fall wiedergegeben, allerdings unter Verlust von Schärfe und Kontrast. Objekte die von sich aus wenig Kontrast aufweisen werden daher schwerer zu erkennen sein. Trotzdem ist der von den meisten Autoren, wie z.B. H.P.BÄHR(1985) angegebene Richtwert "3 Scannerpixel 1 Linienpaar" plausibel.

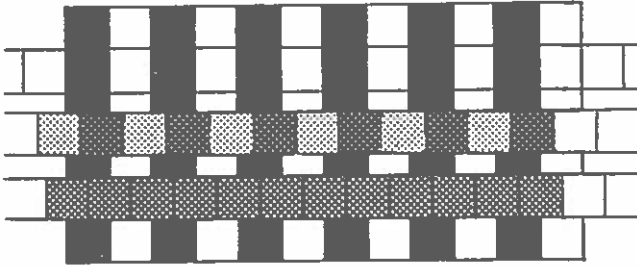


Abb.4: Scanvarianten für 1 LP = 2 Pixel

In Abb.4 wurde offenbar die Grenze des geometrischen Auflösungsvermögens überschritten. Zwar ist es, wie der obere Scan zeigt, sogar möglich das Bodenmuster unverfälscht zu empfangen; andererseits kann es genauso völlig verschwinden (siehe letzter Scan).

Während regelmäßige oder engmaschige Strukturen nicht mehr eindeutig erkennbar sind, können, wie Abb.5 zeigt, einzelne noch schmalere Linien unter bestimmten Umständen doch abgebildet werden.

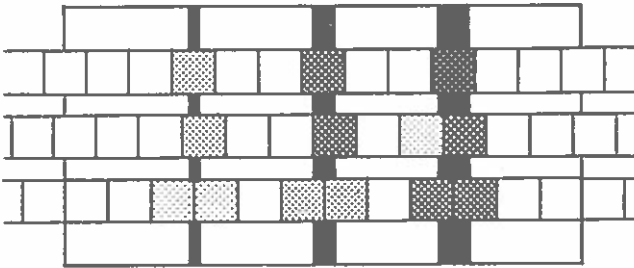


Abb.5: Abscannen von einzelnen Linienstrukturen

In den obigen Beispielen sind Linienstrukturen bis sogar 1/3 der Pixelgröße noch zu erkennen. Voraussetzung dazu ist aber ein sehr hoher Kontrast gegenüber einer großen strukturlosen Hintergrundfläche. Dasselbe Prinzip gilt auch für punktförmige Objekte; allerdings wird man eine linienhafte Struktur, die sich über mehrer Bildelemente erstreckt, viel eher erkennen und interpretieren können als einen singulären Grauwert.

Die bisherigen Überlegungen zur Auflösung innerhalb eines einzelnen Scans gelten vollinhaltlich auch in Flugrichtung. Nur wird hier kein gleitendes Mittel gebildet, sondern in jedem Scan unmittelbar der diskrete Pixelgrauwert aufgenommen. Da die Bildelemente mit hoher Genauigkeit regelmäßig aneinander gereiht sind, könnten die gezeigten Testbalken mit demselben Resultat auch quer zur Flugrichtung angeordnet sein. Wie allerdings M.KÄHLER/P.LADSTÄTTER(1984) nachweisen, nimmt das Auflösungsvermögen unter einem Winkel von 45° ab. Dies wird unmittelbar einsichtig wenn man bedenkt daß quadratische Pixel in Diagonalrichtung um den Faktor 2 länger sind.

Auch bei den in letzter Zeit aufkommenden Array-Scannern (CCD), wie er z.B. im SPOT-Satelliten verwendet werden wird, gelten die hier getroffenen Aussagen. Da jeder Scan auf einmal durch eine ganze Reihe von Detektoren aufgenommen wird (was u.a. eine längere Belichtungszeit ermöglicht), kommt es hier zu keiner "gleitenden" Mittelwertbildung. Trotzdem ergibt sich wie bei den abtastenden Systemen jedes Pixel als Mittelwert der entsprechenden Fläche am Boden.

PRAKTISCHE BEISPIELE

Anhand verschiedener Szenen von MSS, TM sowie von Bildern der MC wurden Vergleiche der Aufnahmesysteme durchgeführt. Der Schwerpunkt der Untersuchung lag auf Siedlungsgebieten und Verkehrswegen, da hier die Objekte anhand von topographischen Karten eindeutig zu verifizieren sind. Land- und forstwirtschaftliche Bodenmerkmale hingegen unterliegen einem zu großen jahreszeitlichen Wandel sodaß kaum Aussagen über tatsächliche Größe und Erscheinungsform zum Aufnahmezeitpunkt zu treffen sind.

Die Abb.6-9 zeigen Beispiele von MSS im Vergleich zu TM sowie TM gegenüber der MC. Bei den Scannern wurden Kanäle im nahen Infrarot gewählt, während in der MC ein panchromatischer SW-Film verwendet wurde. Es wurde auf einen Maßstab von 1:50000 vergrößert, womit unmittelbar auf die Eignung des Materials für Herstellung bzw. Revision eines gleichartigen Kartenwerkes geschlossen werden kann.

Multi-Spectral Scanner (MSS)

Der in Abb.6 vorgestellte Bildausschnitt ist im vorliegenden großen Maßstab ohne Vergleich mit der analogen TM-Szene kaum zu interpretieren. Auch wenn man bedenkt, daß eine Farbkomposition zumindest eine großflächige Unterscheidung zwischen Wald-, Landwirtschafts- und Siedlungsflächen ermöglichen würde, bleibt der Gesamteindruck dürftig. Flächen mit differenzierter Struktur, wie das Ortsgebiet von Neunkirchen, werden infolge der Pixelgröße von 80 m flächenhaft wiedergegeben und verlieren völlig ihren Charakter. Die Auflösung von Linienstrukturen ist nur in günstigen Fällen möglich. So sieht man einen Teil der Schwarza (1), solange sie zufällig in der gesamten Breite genau unter einem Scan liegt; nach der Kurve wird der Fluß von den Nachbarpixeln zugedeckt. Sogar die Autobahn ist nur bei maximalem Umgebungskontrast, wie im Waldstück (2), zu erkennen. Hingegen erscheint Abgrenzung der Waldflächen in geometrischer Hinsicht als für Übersichtszwecke ausreichend.

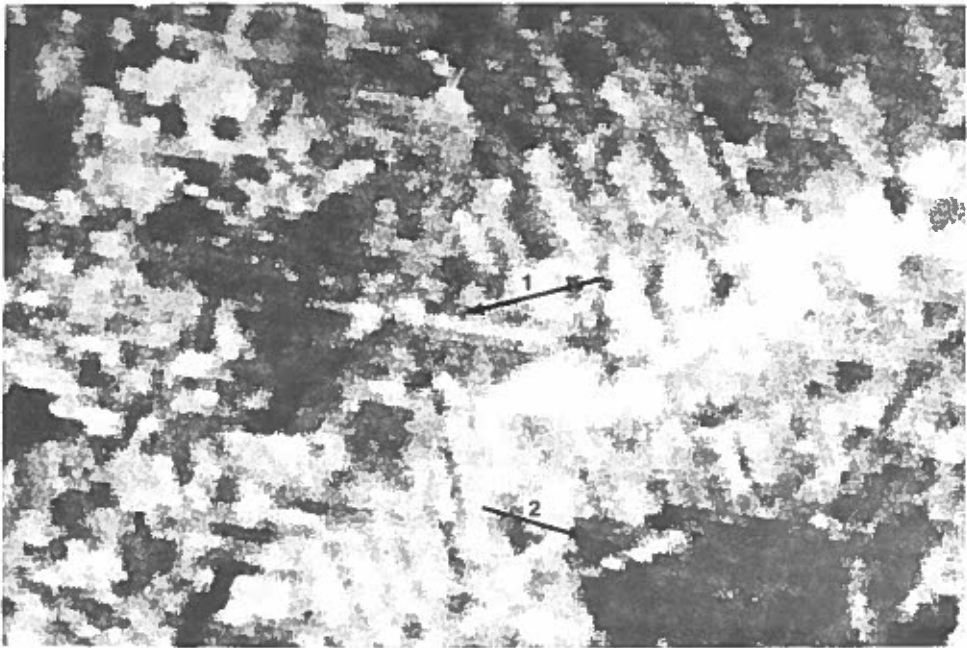


Abb.6: Neunkirchen (NÖ), M = ca.1:50000, MSS-Kanal 7 (IR), 1975-09-26



Abb.7: Neunkirchen (NÖ), M = ca.1:50000, TM-Kanal 4 (IR), 1984-08-05

Thematic Mapper (TM)

Der TM-Scanner liefert ein Bild das fast mit einer generalisierten topographischen Karte zu vergleichen ist (Abb.7). Mit den 30m-Pixeln werden Siedlungen, Verkehrswege, Ackerflächen usw. differenziert wiedergegeben. Die Auflösung liegt in vielen Fällen, aufgrund guter Kontrastverhältnisse, unter dem theoretischen Richtwert von 1lp/90m. Manche untergeordnete Verkehrswege sind aufgrund der auf beiden Seiten verschiedenen Feldstruktur auszumachen, wie z.B. die Verbindungsstraßen zwischen Natschbach und Loipersbach (3). Sehr kleinräumige Texturen wie die Gartensiedlung (4) am Nordrand von Loipersbach werden zwar noch angedeutet, sind aber, zumindest in einem Kanal allein, nicht mehr als solche zu erkennen.

Die Möglichkeit den Kontrast unter den 256 Grauwertstufen des Originals selektiv aufzuspreizen erweist sich als wichtiges Hilfsmittel für die Bildverbesserung. Der Szenenausschnitt aus dem Rheintal (Abb.8) zeigt aber auch die Grenzen derartiger Manipulationen: Während das intensiv bewirtschaftete Flachland wieder sehr gut zur Geltung kommt, sind die beschatteten Hänge des Bregenzerwaldes völlig schwarz.

Metric Camera (MC)

Aus einem SW-Bild der MC (Originalmaßstab 1:830000) wurde die Abb.9 herausvergrößert. Augenfällig ist das grobe Korn, da infolge schlechter Beleuchtung (Dezemberflug !) und fehlender Bewegungskompensation ein hochempfindlicher Film verwendet werden mußte. Gemäß einer Untersuchung von M.SCHROEDER(1985) erreichte der panchromatische SW-Film in der Metric Camera eine Auflösung von, je nach Kontrast, 25 bis 40lp/mm, was einer Bodenauflösung von 33-21m entspricht. Mit dem über Österreich leider nicht eingesetzten Farb-Infrarot-Film wurde dieselbe geometrische Auflösung erzielt.

Das gewählte Beispiel (Abb.9) erreicht diese Werte allerdings nur bei singulären Objekten, wie es hier vor allem die markanten Kanäle und Verkehrsbänder des Rheintales sind. Die Ortsgebiete von Hohenems und Diepoldsau (in der Flußschlinge) sind etwas schlechter als beim TM wiedergegeben. Allerdings muß man bei einem Vergleich der beiden Aufnahmen die extremen jahreszeitlichen Unterschiede berücksichtigen: Während die TM-Szene aus der Vegetationsphase stammt, wurden die Spacelab-Photos bei leichter Schneebedeckung geflogen. Letzteres ist für das Erkennen von Verkehrswegen sogar ein Vorteil, da die geräumten Straßen einen maximalen Kontrast gegenüber den umgebenden Schneeflächen erreichen. Auch war es, wie die dieser Publikation beigelegte Orthophotokarte zeigt, sehr gut möglich die Waldflächen abzugrenzen.

Der bislang entscheidende Vorteil der MC liegt aber vor allem in der Möglichkeit der stereoskopischen Betrachtung und Auswertung. Auch wenn einzelne Objekte wie Bäume, Häuser, Wege infolge des kleinen Maßstabes selbstverständlich keine Detailstereoskopie aufweisen können, können sie doch oft erst im Zusammenhang mit der Geländestruktur richtig erkannt und interpretiert werden.



Abb.8: Hohenems (Vibg), M = ca.1:50000, TM-Kanal 4 (IR), 1984-09-02

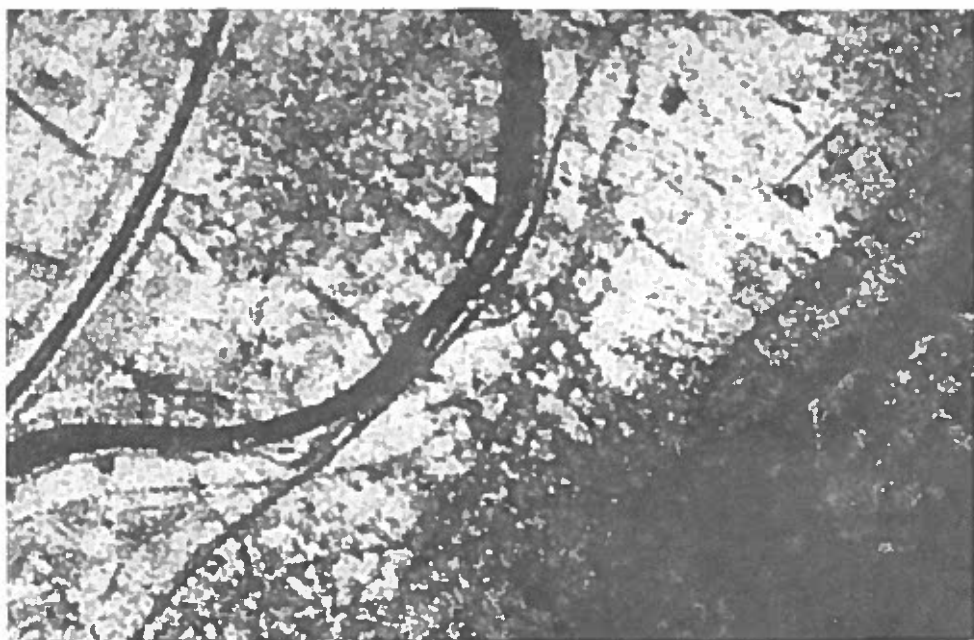


Abb.9: Hohenems (Vibg), M = ca.1:50000, MC-SW (panchrom), 1983-12-05

VERGLEICH UND RESUMEE

Zusammenfassend ergeben sich die folgenden Features für die Beurteilung von orbitalen Fernerkundungssensoren, wobei anhand der technischen Daten auch der demnächst gestartete SPOT einbezogen wird. Die Bewertung mit + und - in dieser Aufstellung ist nicht absolut, sondern in Relation zu den Konkurrenzsystemen zu sehen.

- MSS:** + Großer Aufnahmebereich von 185x185km auf einer Szene
+ Wiederholungskapazität alle 18 Tage
- Pixelgröße von 80m relativ schlecht
- Nur 4 Aufnahmekanäle unter Verzicht auf blau und fernes IR
- Schlechtere radiometrische und Digitalisierungsauflösung (6 Bit)
- Keine Stereoskopie
- TM:** + Pixelgröße 30m (außer 120m für den Thermalkanal)
+ Große spektrale Bandbreite von blau bis zur IR-Thermalstrahlung
+ Verbesserte radiometrische und digitale (8 Bit) Auflösung
+ Wiederholungskapazität alle 16 Tage
- Keine Stereoskopie
- MC:** + Stereoskopie und Möglichkeit zur exakten geometrischen Auswertung
+ Bodenauflösung ca. 1Lp/7m bei Einsatz einer Bewegungskompensation
+ Aufnahmegebiet 190x190km pro Bild
- Spektrale Auflösung auf Filmmaterial beschränkt
- Sehr unregelmäßige Wiederholungskapazität
- SPOT:** + Stereoskopie möglich
+ Pixelgröße 10m panchromatisch und 20m im multispektralen Modus
+ Große Wiederholungskapazität (5 Tage) durch Seitenblick möglich
- Nur 3 multispektrale Kanäle, entsprechend IR-Filmmaterial
- Szenengröße mit 60x60km vergleichsweise klein

Bei der MC wurde schon der für die Wiederholungsflüge geplante Einsatz einer Bewegungskompensation, der die Verwendung von Filmmaterial mit einer Auflösung von ca. 120Lp/mm erlauben wird, berücksichtigt. Mit dieser Einrichtung, die in der Large Format Camera schon verwirklicht ist, werden die photographischen Systeme noch einmal einen deutlichen Vorteil in der geometrischen Auflösung gegenüber den Satellitenscannern erzielen. Stereoauswertungen im Maßstab 1:50000 werden realistisch.

Während der MSS nur mehr für langfristige Projekte in kleinen Maßstäben aber kurzer Zeitlicher Abfolge sinnvoll einzusetzen sein wird, ist der TM mit Einschränkungen auch für kartographische Arbeiten geeignet. Das Auflösungsvermögen ist prinzipiell für eine Karte im Maßstab ca. 1:100000 geeignet; das Problem bleibt aber die Interpretation und Klassifikation der erkennbaren Merkmale. Es sind daher, bei Verwendung der TM-Daten als Lagekartierung (unter Vernachlässigung geringer geländebedingter Verzerrungen) umfangreiche Verifizierungen am Boden erforderlich. Als möglicher Einsatz dieser Methode käme z.B. die rasche Herstellung von großmaßstäblichen Karten in schlecht erschlossenen Gebieten bzw. die kurzfristige Nachführung von bestehendem Kartenmaterial in Frage. Für die letztgenannte Aufgabe wäre auch der Einsatz von automatisierten Verfahren zum Erkennen von Veränderungen der topographischen Inhalte von Szenen verschiedenen Datums denkbar. Der Spot-Satellit wird eine weitere deutliche Verbesserung der geometrischen Auflösung bringen, ist aber im multispektralen Bereich schlechter als der TM.

Interpretationen von umweltrelevanten Parametern werden die Satelliten wegen deren großen spektralen und temporären Auflösung bevorzugen. Die geometrische Auflösung von Luftbildern, die Objektdetails wie beispielweise Kronenstrukturen von Bäumen erkennen läßt, werden die weltraumstationierten Fernerkundungssysteme kaum je erreichen können.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Auflösung des Satellitenscanners "Thematic Mapper" (TM) wird mit dem Vorgängermodell "Multispectral Scanner" (MSS) und mit der "Metric Camera" (MC) der ESA verglichen. Der theoretische Teil der Arbeit bringt eine kurze Kategorisierung und Erklärung des Begriffes "Auflösungsvermögen", sowie Beispielsmodelle zur geometrischen Auflösung von abtastenden Detektoren. Im praktischen Teil wurden visuelle Vergleiche von großmaßstäblichen Ausschnitten vorgenommen. Als Resultat erscheint der Einsatz des TM für die Herstellung und Nachführung von Karten im Maßstab 1:100000 mit Einschränkungen möglich. Das Problem liegt dabei nicht in der Erkennbarkeit der Details, sondern in deren richtigen Interpretation und Klassifikation. Für die MC, bei Einsatz einer Bewegungskompensation, sowie auch den neuen SPOT-Satelliten werden, nicht zuletzt wegen deren stereoskopischen Eigenschaften, noch bessere Resultate erwartet.

SUMMARY

The resolution of the satellite-scanner "Thematic Mapper" (TM) is compared to its predecessor "Multispectral Scanner" (MSS) and ESA's "Metric Camera" (MC). The theoretical part of the work offers a short classification in categories and explanation of the term "resolution", as well as models corresponding to the geometrical resolution of scanning detector-systems. In the practical part, visual comparisons of large-scale sections have been made. As a result, the application of the TM for mapping and revision in a scale of 1:100000 with reservation seems to be possible. The problem is not reasoned by the recognizability of the details, but by the possibility for correct interpretation and classification. With the MC by using forward-motion-compensation, as well as with the new SPOT-satellite even better results are expected, not at least because of their possibility for stereoscopic viewing.

LITERATUR

BÄHR, H.-P., 1985: Digitale Bildverarbeitung. Wichmann Verlag, Karlsruhe.

KÄHLER, M. und LADSTÄTTER, P., 1984: Zur Abhängigkeit des geometrischen Auflösungsvermögens von der Abtastrichtung. B.u.L., 6/1984, S.289-295.

KRAUS, K.: Fernerkundung. Vorlesungsmanuskript des Institutes für Photogrammetrie der TU Wien

NOWAK, P., 1979: Bildverbesserung an multispektralen Scanneraufnahmen mit Hilfe digitaler Filterverfahren. Dissertation der TU Wien.

SCHROEDER, M., SCHUHR, W., SCHÜRING, A., 1985: Linemapping and Resolution Tests with Metric Camera Data. ESA SP-209, pp.87-93.

F O R S T K L A S S I F I K A T I O N M I T
L A N D S A T - D A T E N
E I N E F A L L S T U D I E A U S
D E R S T E I E R M A R K

G. Q. Xu

Institut für Digitale Bildverarbeitung und Graphik
Forschungsgesellschaft Joanneum
A-8010 Graz, Wastiangasse 6

EINLEITUNG

Die Klassifikation von Waldtypen mit Hilfe von Landsat-TM und -MSS-Daten ist in den meisten Gebieten Österreichs aufgrund der topographischen Gegebenheiten eine schwierige Aufgabe.

Einige Autoren untersuchten die Möglichkeit, MSS- bzw. TM-Daten zur Kartierung von Waldgebieten zu verwenden. Hume (1984), Philipson (1985) u.a. versuchten die Klassifikation von Obstbäumen und Gemüseanbauflächen mittels TM-Daten. Diese bieten im Vergleich zu MSS-Daten eine Verbesserung hinsichtlich der spektralen und radiometrischen Charakteristik sowie der spatialen Auflösung.

In der vorliegenden Arbeit wird die Eignung von TM- und MSS-Daten sowie die beste Kombination von Bändern für die Waldklassifikation durch Feldvergleich untersucht.

DATEN UND TESTGEBIET

Das Testgebiet erstreckt sich von 15 Grad 00 Minuten bis 15 Grad 25 Minuten östliche Länge und von 46 Grad 55 Minuten bis 47 Grad 25 Minuten nördliche Breite. Im wesentlichen sind im Testgebiet westlich von Graz zwei Waldklassen zu unterscheiden, nämlich Nadel- und Laubwald. Diese beiden Waldklassen treten jedoch, bedingt durch Aufforstung und Schlägerung, zumeist in Mischform auf.

Das verwendete MSS-Bild wurde am 13. September 1981, das TM-Bild am 5. August 1984 aufgenommen. Der Bereich um die Stadt Voitsberg, in deren Umgebung Kohlebergwerke liegen, war von Dunst bedeckt. Im Südosten des Testgebietes liegt das Kainachtal mit ungefähr 350 m Seehöhe. Der gebirgige Norden weist Seehöhen von 700 - 1450 m auf.

Das Landsat MSS-Bild wurde mit einem Entzerrungsalgorithmus (Diarra, 1982) in die Gauß-Krüger-Projektion entzerrt, wobei 14 Paßpunkte verwendet wurden. Die mittleren Abweichungen betrugen 9,6 m in x- und 20,9 m in y-Richtung. Die Landsat TM-Daten wurden nicht vorverarbeitet, Band 6 des TM-Bildes wurde wegen seiner vergleichsweise geringen Auflösung von 120 m nicht verwendet.

Als Referenzdaten wurden Infrarot-Luftbilder (IR), aufgenommen im September 1985, und neueste Waldbewertungsunterlagen der Behörden verwendet. Die Maßstäbe der Luftbilder liegen zwischen 1 : 9 000 und 1 : 10 000. Durch Interpretation der IR-Luftbilder wurde eine Waldkarte mit den einzelnen Waldklassen im Maßstab 1 : 10 000 hergestellt. Eine weitere Forstkarte 1 : 25 000 eines Teilgebietes wurde ebenfalls von der Forstbehörde zur Verfügung gestellt.

DURCHFÜHRUNG DER KLASSIFIZIERUNG

Zur automatischen Klassifizierung von Waldtypen aus TM- und MSS-Daten wurde die sogenannte überwachte Klassifikation (Methode der größten Wahrscheinlichkeit) verwendet. Bewaldete und unbewaldete Gebiete konnten durch Schwellwertbildung getrennt werden. Die Trainingsgebiete wurden im IR-Luftbild ausgewählt und im Satellitenbild identifiziert und markiert.

Es wurden zwei Klassifikationsebenen eingeführt, wobei in der ersten Ebene zwischen 4 und in der zweiten zwischen 8 Klassen unterschieden wurde. Tabelle 1 faßt diese zusammen.

Tabelle 1: Waldklassen

Klassifikationsebene I	Klassifikationsebene II
PC reiner Nadelwald	FI Fichte
	KI Kiefer
PD reiner Laubwald	LHO älterer Birkenbestand
	LHY jüngerer Birkenbestand
	BUO älterer Buchenbestand
	BUY jüngerer Buchenbestand
MC Mischwald	MC Mischwald
Überwiegend Nadelbäume	Überwiegend Nadelbäume
MD Mischwald	MD Mischwald
Überwiegend Laubbäume	Überwiegend Laubbäume

Statistische Bewertungsmethode der Daten

Die Korrelationen zwischen den einzelnen Spektralbändern und die Transformierte Divergenz (TD, Swain und Davis, 1978) wurden berechnet und analysiert. Die Untersuchungen zeigen, daß

sowohl zwischen den MSS-Kanälen 4 bzw. 6 und 7 als auch zwischen den TM-Kanälen 1, 2 und 3 signifikante Korrelationen bestehen, was auf Redundanzen im Informationsgehalt der Landsat-Daten in Bezug auf die Waldbedeckung hinweist. Es erscheint daher nicht notwendig, alle Bänder für die Klassifikation zu verwenden, wodurch der Rechenaufwand entsprechend verringert wird. Jene Bandkombination mit dem größten TD-Wert wurde als optimal betrachtet und in weiterer Folge für die Klassifikation benutzt.

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Bewertung der Spektralbänder des TM. Der Anteil der richtig klassifizierten Bildpunkte der Trainingsgebiete wird hier als Average Performance (AP) bezeichnet.

Sowohl die 4- als auch die 6-kanalige Kombination weisen geeignete TD-Werte auf, um die einzelnen Klassen paarweise zu unterscheiden. Sie zeigen auch ähnliche APs: Die Verwendung von 6 Kanälen erbrachte lediglich eine Genauigkeitssteigerung von 1 -2 % im Vergleich zu jenen Ergebnissen, die mit 4 Kanälen erzielt wurden. Abb. 1 zeigt die Ergebnisse der Kanalkombination TM 2457, in Abb. 2 und 3 werden für einen Ausschnitt die Kombinationen TM 2457 und TM 123457 verglichen.

Tabelle 2: Analyse der transformierten Divergenz (TD)
Bewertung der Kanalkombinationen

Klassifikationsebene I				Klassifikationsebene II			
Kanäle	TD	AP%		Kanäle	TD	AP%	
(TM Daten)							
4-3 4-7	1.7332	80-85		4-5 4-7	1.7635	80-78	
4-5 4-2	bis			4-3 4-2	bis		
	1.6800				1.7280		
4-5-3	1.8006	bis		4-5-2	1.8151	82-79	
4-7-3		86-83		4-7-1	to		
4-7-1	1.7506			4-7-3	1.7618		
4-3-7-1	1.8270			4-5-7-2	1.8452	86-81	
4-5-3-1	bis	85-87		4-5-3-2	bis		
4-5-7-2	1.7700			4-5-3-1	1.8000		
4-5-3-2				4-7-2-3			
				4-5-7-3-2	1.8661	86	
				1-2-3-4-5-7	1.9000	87	
(MSS Daten)							
4-7 6-3	1.5367	bis					
	1.4960	78-79					
4-5-7	1.7000	81-83					

Beste Kombinationen der Kanäle
Klassifikationsebene II

Anzahl	Nummern	TD	AP %
1	TM4	1.6242	76
2	TM45	1.7331	79
3	TM452	1.7916	82
4	TM4572	1.8452	86
5	TM45732	1.8661	86
6	TM457321	1.9000	87

ANALYSE DER SPEKTRALEN UNTERSCHIEDBARKEIT

Tabelle 3 zeigt die Trennbarkeit der einzelnen Klassenpaare. Sie gibt die Anzahl der Kanäle an, die bei der Analyse der TD-Werte verwendet wurden. Bei TD-Werten von weniger als 1.5 wurde das jeweilige Klassenpaar als nicht trennbar betrachtet. In der 1. Klassifikationsebene konnten die Klassen MD und MC auch bei Verwendung aller zur Verfügung stehenden Kanäle nicht getrennt werden. Die Klassen MC und PC konnten erst bei Verwendung aller 4 MSS Kanäle unterschieden werden.

In der 2. Klassifikationsebene konnten die Nadelbaumklassen FI und KI mit TM-Daten leicht unterschieden werden. Bei der MSS-Klassifikation war KI jedoch mit MD gemischt. Der Grund hierfür liegt nicht nur in den unterschiedlichen Auflösungen, sondern auch in der spektralen Charakteristik von TM- und MSS-Daten. FI und KI können bei Verwendung von TM-Daten mit Hilfe von Kanal 4 und 5 unterschieden werden, wohingegen bei MSS-Daten keine vergleichbaren Kanäle vorhanden sind. Bei Kombination der MSS-Kanäle 4, 5 und 6 weisen die Trainingsgebiete für die Klassen KI und MD dieselben TD-Werte auf. Nur in MSS-Kanal 7 existieren zwischen diesen beiden Klassen Unterschiede. Bei Laubwald konnten junge und alte Buchenbestände mit 4 TM-Kanälen leicht unterschieden werden. Hingegen waren die Klassen LHO und BUO bzw. MC und MD kaum zu trennen. Bei der Kombination der TM-Kanäle mußten spektrale Überlappungen festgestellt werden.

Die mittels digitaler Bearbeitung erhaltenen Klassifikationsergebnisse stellen eine wichtige Beurteilungsgrundlage dafür dar, ob es sich hier um eine sinnvolle Vorgangsweise handelt oder nicht. Beide Vergleichsmethoden zusammen erlauben eine Beurteilung der erhaltenen Klassifikationsergebnisse.

Um das gesamte Gebiet zu überprüfen, wäre ein zeitaufwendiger Feldvergleich notwendig. In dieser Arbeit wurden daher nur zwei ungefähr je 1 km² große Testgebiete mit Hilfe von IR-Luftbildern und drei kleinere Gebiete von ca. je 20 ha durch Feldbegehungen auf den tatsächlichen Bestand hin überprüft.

QUALITATIVE UND QUANTITATIVE KLASSIFIKATIONSBEWERTUNG

Die Klassifikationsergebnisse wurden visuell mit einer aus IR-Luftbildern angefertigten Waldkartierung verglichen. Der Grad der Übereinstimmung gab einen generellen Aufschluß über die Klassifizierungsgenauigkeit, jedoch konnten auf diesem Weg keine genauen quantitativen Vergleiche angestellt werden. Qualitativ schienen die Ergebnisse zufriedenstellend genau zu sein.

Um die Waldklassenverteilung quantitativ zu bestimmen, wurden Bewertungen, die auf der Gesamtheit der Pixel aller als Wald klassifizierten Gebiete beruhen, mit den durch Interpretation der IR-Luftbilder und durch eine teilweise Feldbegehung erhaltenen Waldklassen verglichen.

Kontrolle der ersten Klassifikationsebene

Zur Kontrolle der Ergebnisse der ersten Klassifikationsebene wurden zwei Wege beschritten. Zuerst wurde die aus der Anzahl der klassifizierten Pixel errechnete Fläche mit den Unterlagen der Forstbehörden verglichen. Letztere wurden digitalisiert und den Ergebnissen der klassifizierten MSS-Daten überlagert. Hierbei wurde eine zufriedenstellende Übereinstimmung festgestellt. Des weiteren wurden die Waldklassen in zwei Testgebieten, die anhand der IR-Luftbilder ausgewählt worden waren, überprüft. Zu diesem Zweck wurde ein Gitter im Pixel-Koordinatensystem auf Transparentpapier gezeichnet, den Luftbildern überlagert und sinnvoll interpretiert. Die Pixel jeder Waldklasse wurden gezählt und mit den Klassifikationsergebnissen verglichen. Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse dieses Vergleichs.

In Tabelle 4 wurde als Einheit ein Pixel gewählt, A und B sind die beiden Testgebiete. Die Spalten IA und IB repräsentieren jene Pixel, die aus den MSS- bzw. TM-Daten klassifiziert wurden. Spalte 4 ist die Differenz zwischen Spalte 3 und 1, Spalte 6 jene zwischen 5 und 2. Mit + oder - wurden Über- bzw. Unterklassifikationen gekennzeichnet. UN ist die Anzahl der unklassifizierten Pixel. Die Prozentangaben beziehen sich auf den Gesamtanteil der richtig bzw. falsch klassifizierten Pixel.

Es ist ersichtlich, daß bei der Klassifikation von Waldgebieten nicht nur TM- sondern auch MSS-Daten eine zufriedenstellende Zuverlässigkeit zeigen. Die Genauigkeit liegt zwischen 94 % und 89 %. Die Prozentwerte für falsch klassifizierte Pixel bewegen sich zwischen 16 % und 19 %. Weiters zeigt sich eine Abhängigkeit der Klassifikationsgenauigkeit von den Waldklassen. Nadelwald wurde zwar relativ genau erkannt, jedoch ein wenig überklassifiziert. Mischwald mit überwiegendem Laub-

Tabelle 3: Trennbarkeit der Klassen für TM und MSS
Anzahl der Merkmale, bei denen noch keine
Trennung möglich war (TD kleiner 1.5)

(Klassifikationsebene I)								
MSS Data				TM Data				
	PC	PD	MD	MC	PC	PD	MD	MC
PC								
PD								
MD	3			4			6	
MC	3				4			
(Klassifikationsebene II, TM Daten)								
	FI	KI	LHO	LHY	BUO	BUY	MD	MC
FI								
KI								
LHO								
LHY								
BUO				6				
BUY						4		
MD								
MC								6

waldanteil weist ebenfalls eine hohe Genauigkeit auf. Mischwald mit überwiegendem Nadelwaldanteil hingegen wurde ungenau bestimmt und unterklassifiziert. Dies deutet darauf hin, daß Pixel, die eigentlich in die Klasse Mischwald mit überwiegendem Nadelwald-Anteil fallen, als Nadelwald klassifiziert wurden. Für reinen Laubwald und Lichtungen können aufgrund der zu kleinen Flächen keine diesbezüglichen Aussagen gemacht werden.

Da die Auflösung der Landsat-MSS-Daten rund 80 m beträgt und im Testgebiet überwiegend Mischwald auftritt, kann eine Klassifikationsgenauigkeit von 80 % für diese Satellitendaten als zufriedenstellend bezeichnet werden.

Kontrolle der zweiten Klassifikationsebene

Die Ergebnisse der zweiten Klassifikationsstufe wurden mittels Geländearbeit, die im Juli 1985 durchgeführt wurde, überprüft. Kleine und rasch erreichbare Testgebiete im Bereich der Ortschaften Rohrbach, Neudorf und Thal bei Graz wurden ausgewählt. Die Grenzen der Testgebiete wurden den IR-Luftbildern entnommen. Anschließend wurden in diesen Referenzbereichen die einzelnen Waldklassen entsprechend gekennzeichnet und die jeweiligen Pixel gezählt.

Tabelle 5 zeigt den Vergleich der Klassifikationen in zwei Testgebieten mit den tatsächlichen Gegebenheiten.

Der Bereich Rohrbach wurde Pixel für Pixel überprüft, wobei festgestellt wurde, daß die Klassifikationsergebnisse mit 91 % zufriedenstellend waren. Die unklassifizierten Pixel resultierten aus Lichtungen bzw. Gebüsch. Die Mischwaldtypen konnten sogar im Gelände nicht immer genügend genau abgegrenzt werden. Eine Aussage über die Unterscheidbarkeit von Laubwaldtypen läßt sich wegen der zu geringen Größe der einzelnen Bestände in den Testgebieten nicht ableiten.

Tabelle 4: Vergleich zwischen automatischer Klassifikation und IR-Luftbildinterpretation in zwei Testgebieten (vgl. Text)

(Klassifikationsebene I)

	Luftbild						MSS Daten						Luftbild						TM Daten					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	A	B	IA	(3-1)	IB	(5-2)	A	B	IA	(3-1)	IB	(5-2)	A	B	IA	(3-1)	IB	(5-2)	A	B	IA	(3-1)	IB	(5-2)
PC	101	181	111	11	164	-17	282	506	281	-1	515	9	282	506	281	-1	515	9	282	506	281	-1	515	9
MC	44	30	29	-15	17	-13	123	64	124	1	50	-14	123	64	124	1	50	-14	123	64	124	1	50	-14
MD	11	15	9	-2	16	1	31	32	21	-10	11	-21	31	32	21	-10	11	-21	31	32	21	-10	11	-21
PD	2	0	2	0	0	0	6	0	11	5	7	7	6	0	11	5	7	7	6	0	11	5	7	7
UN*	2	0	0	-2	5	5	6	0	6	0	2	2	6	0	6	0	2	2	6	0	6	0	2	2
SUM	160	226	151	30	02	36	448	603	463	17	585	53	448	603	463	17	585	53	448	603	463	17	585	53
%			94%	19%	89%	16%			99%	3%	97%	9%			99%	3%	97%	9%			99%	3%	97%	9%

UN = unklassifiziert

Tabelle 5: Vergleich von TM Daten und Feldbegehungen

(Klassifikationsebene II)

Klassen	Klassifikation		Begehung		Klassifikation : Begehung (in %)	
	Thal	Neudorf	Thal	Neudorf	Thal	Neudorf
FI	24	58	27	60	89	96
KI	36	120	33	118	110	102
LHO	1	4	0	3		
BUO	1	0	1	0		
BUY	0	4	0	2		
MD	1	10	1	12		83
MC	45	99	50	95	90	104
UN*	7	18	7	11	100	160

UN = unklassifiziert

ANMERKUNGEN

Wie erwartet, enthalten die im infraroten Bereich des Spektrums liegenden Kanäle die meiste Information zur Klassifikation der verschiedenen Waldtypen. Für MSS-Daten wird die Kombination 1, 3, 4 und für TM die Kombination 2, 4, 5, 7, unter Einbeziehung eines weiteren im grün-orange-Bereich liegenden sichtbaren Kanals die besten Resultate liefern. Diese Beurteilung leitet sich aus der Analyse der Separabilitätswerte ab.

Die Unterscheidbarkeit von Laubwaldklassen ist aufgrund derselben Analyse prinzipiell möglich, jedoch müßten weitere Studien in einem Gebiet mit größerem Laubwaldanteil durchgeführt werden, um dies mit den beschriebenen Methoden zu verifizieren. Der Übergang Nadelwald - Mischwald mit überwiegendem Nadelbaumanteil - Mischwald mit überwiegendem Laubwaldanteil - Laubwald ist naturgemäß fließend. Eine genaue Abgrenzung muß auch bei der Luftbildinterpretation immer subjektiv bleiben. Es zeigte sich, daß bei der automatischen Klassifikation die "reinen" Klassen etwas überbewertet und die Mischwaldklassen unterbewertet werden. In Summe sind diese Nachteile jedoch unbedeutend.

TM-Daten sind, wie ebenfalls zu erwarten, tatsächlich besser für die Klassifikation geeignet als MSS-Daten. Sie bieten nicht nur eine höhere räumliche und radiometrische Auflösung, sondern bieten auch die Möglichkeit, neue Spektralbereiche in die Untersuchungen einzubeziehen. Eine hinreichend genaue Bearbeitung in Richtung einer Unterscheidung einzelner Arten ist sicherlich nur mit TM-Daten gegeben.

Den Herren M. Buchroithner und H. Ranzinger, Institut für Digitale Bildverarbeitung und Graphik der Forschungsgesellschaft Joanneum, sei an dieser Stelle für ihre zahlreichen Anregungen und ihre Hilfeleistung gedankt.

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurden in einem Testgebiet in der Steiermark, nahe Graz, Landsat-TM und -MSS-Daten bezüglich ihrer Eignung zur Klassifikation verschiedener Waldtypen untersucht. In zwei Detailliertheitsgraden wurden unter Anwendung einer überwachten Maximum Likelihood-Klassifikation Waldtypen bestimmt.

Die Genauigkeit der Waldklassifikation wurde basierend auf Interpretationen und Geländebegehungen von IR-Luftbildern mit ca. 90 % bestimmt. Zur Messung der spektralen Trennungsgrade der Klassen wurde die Transformed Divergenz (TD) herangezogen. Bei TD-Werten über 1.5 wurden die betreffenden Klassen einem Waldtyp zugeordnet, um unabhängige spektrale Klassen und genauere Klassifikationsergebnisse zu erhalten.

Für die Klassifikation des gesamten Gebietes wurde die beste Bandkombination (TM 2 bzw. 3, 4, 5, 7) ausgewählt und der größte Wert der TD sowie die besten Klassifikationsergebnisse bezüglich der Referenzgebiete zur Beurteilung herangezogen.

Erwartungsgemäß zeigte der Vergleich von Klassifikationsergebnissen von TM und MSS-Daten eine erheblich bessere Eignung der TM-Daten zur Kartierung von Waldtypen.

SUMMARY

For a test area in Styria, west of Graz, Landsat TM and MSS Data have been investigated for their applicability to forest classification. Using a maximum likelihood classifier, forest types have been determined in two classification levels.

On the basis of interpretation of IR aerial photographs and fieldwork, the classification accuracy could be proved to be approx. 90 %. For the determination of the spectral separability the Transformed Divergence (TD) has been used. TD values above 1.5 were included in one forest type in order to get individual spectral classes and more accurate classification results.

For the classification of the whole test area the best band combination (TM 2 or 3, 4, 5, 7) has been chosen. The highest TD value and the best classification results of the ground truth areas were used for evaluation. As expected, the comparison of TM and MSS Data showed the far better suitability of the TM Data for forest mapping.

LITERATURVERZEICHNIS

- Diarra, G., 1982: A Digital Image Rectification System Description and Example. - DIBAG-Report Nr.10, TU Graz u. Inst. Digit. Bildverarb. u. Graphik, Graz.
- Hume, T., 1984: Landsat-Aided Forest Site Type Mapping. - Photogra. Eng. and Remote Sensing, 50, 8, 1984, S. 1175-1183.
- Philipson, W., 1985: Vegetable and Fruit Tree Inventory with Landsat TM-Data: Preliminary Results. - Tec. Paper 51th Annual Meeting ASP, March 1985, S. 39-45.
- Swain, P., Davis, 1978: Remote Sensing: The Quantitative Approach. - New York, Mc Graw-Hill Inc.

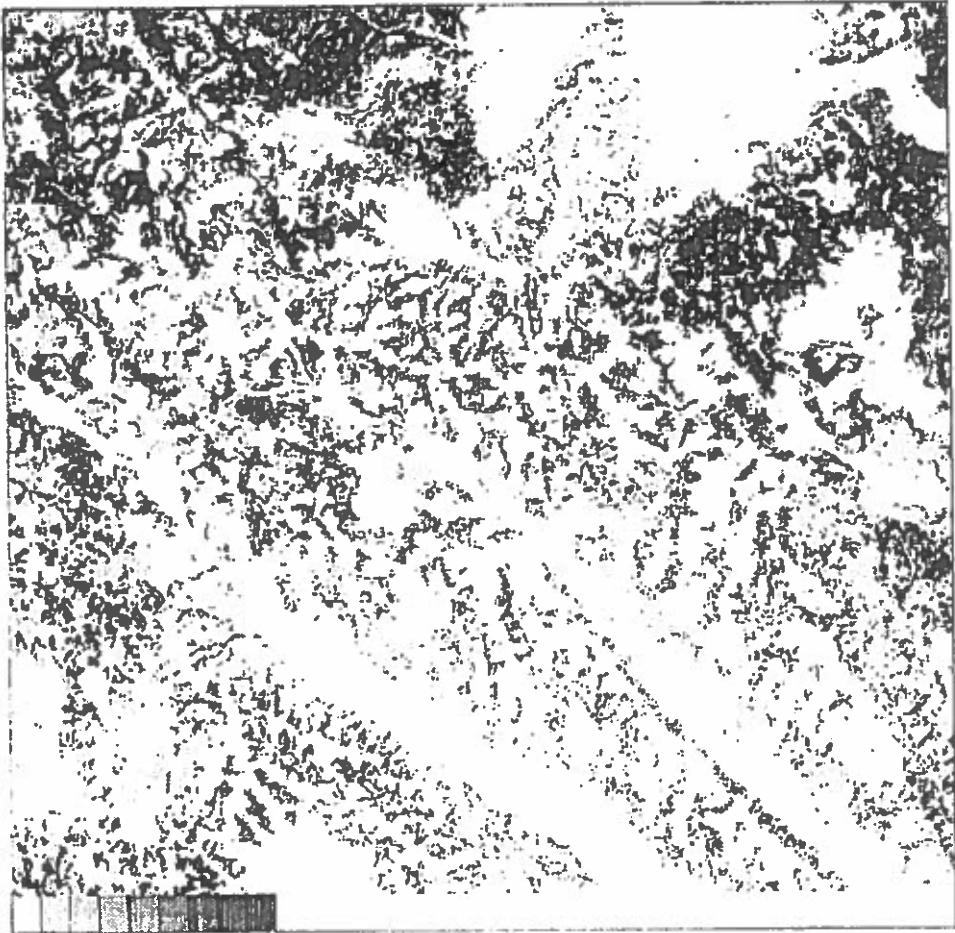


Abb. 1: Klassifikationsergebnis der Ebene II für 4 Merkmale
weiß...unklassifiziert, Referenzskala 1-8: Klassen
in deraus Tabelle 1 ersichtlichen Reihenfolge.

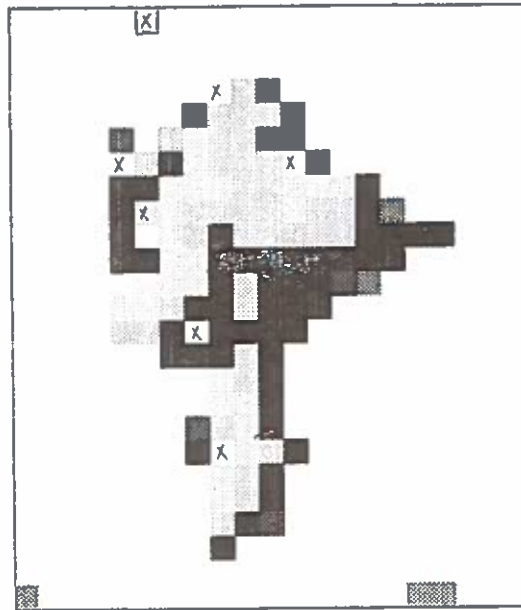


Abb. 2: Klassifikationsergebnis für 4 Merkmale, Gebiet Thal
Differenzen zu Abbildung 4 sind mit x gekennzeichnet
Klassen wie in Abbildung 1.

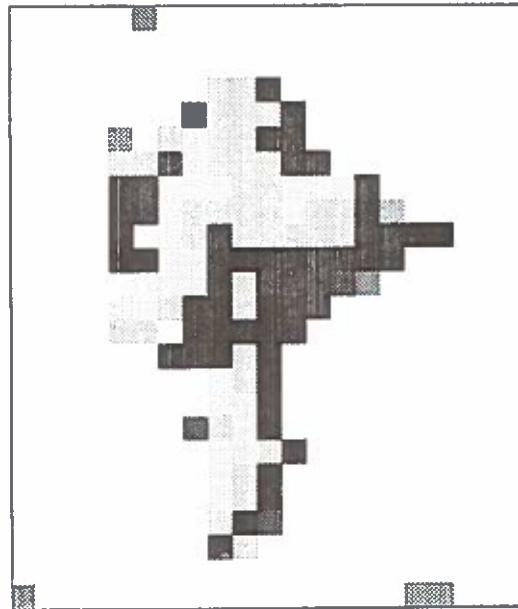


Abb. 3: Klassifikationsergebnis für 6 Merkmale, Gebiet Thal
Klassen wie in Abbildung 1.

STEREO-ORTHOPHOTOS AUS METRISCHEN SPACELAB-AUFNAHMEN (*)

J. Jansa und K. Kraus

(mit einer Kartenbeilage)

Institut für Photogrammetrie
Technische Universität Wien

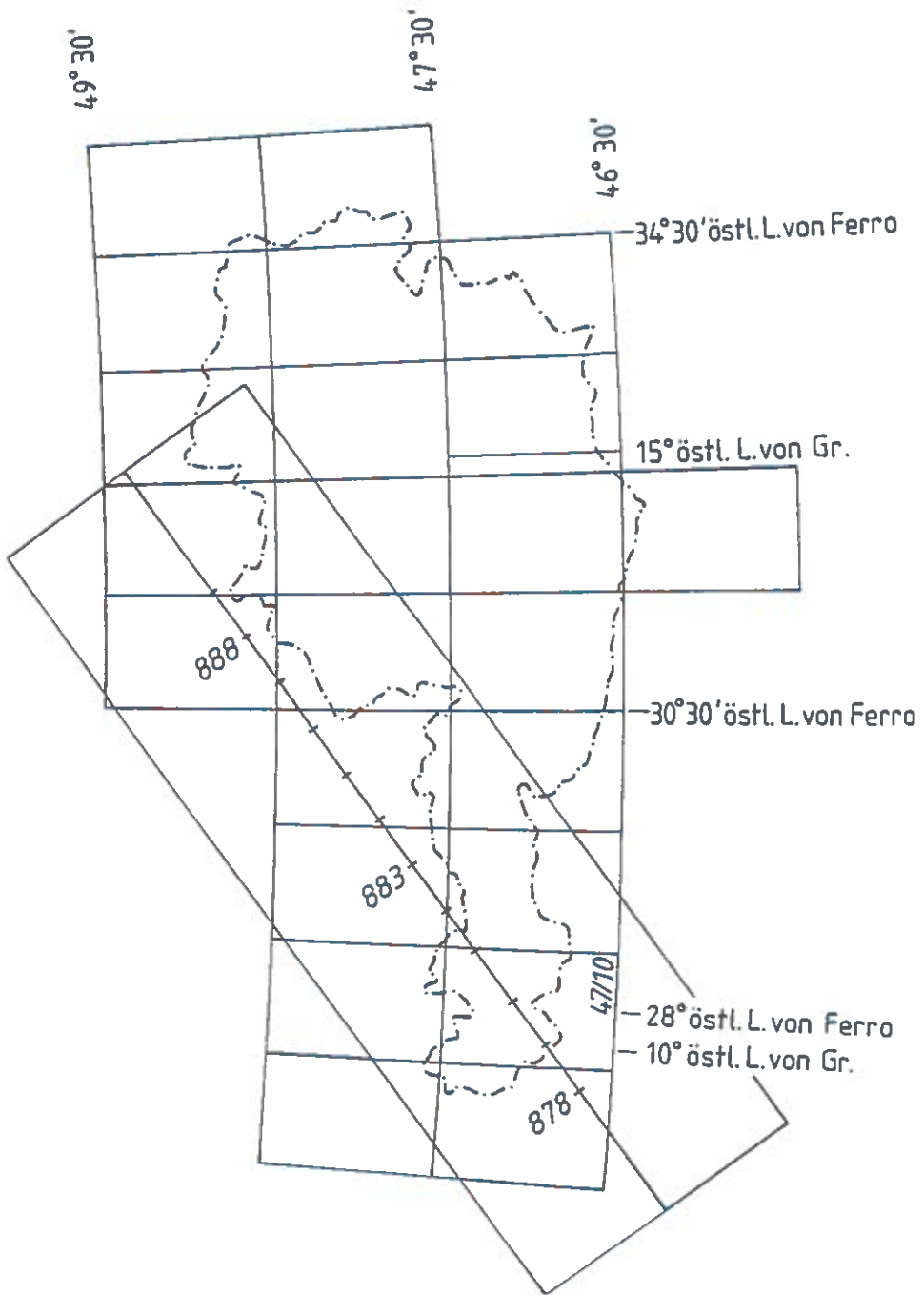
BILDMATERIAL

Am 5.12.1983 wurde mit einer photogrammetrischen Kamera, einer Zeiss RMK 30/23, erstmals aus dem Weltraum österreichisches Staatsgebiet aufgenommen. Diese photogrammetrische Kamera war eines der 37 Experimente an Bord des Weltraumlaboratoriums Spacelab 1, das von der Europäischen Weltraumbehörde (ESA) für den 9. Flug der Weltraumfähre Space Shuttle der NASA entwickelt wurde. Die wissenschaftliche Leitung des Experiments "Metrische Kamera" wurde von Prof. G. Konecny (1984) geleitet. Die ESA hat etwa 100 Experimentatoren für die Auswertung der Aufnahmen akzeptiert, darunter auch das Institut für Photogrammetrie der TU Wien.

Die Flughöhe betrug 243 km. Daraus folgt für eine Kammerkonstante von 30 cm ein Bildmaßstab von 1:810 000 und für ein Bildformat von 23 x 23 cm ein erfaßter Bereich von 186 x 186 km pro Bild. Von den insgesamt etwa 1000 Bildern mit dem Farbinfrarotfilm Kodak 2443 und dem Schwarzweißfilm Kodak Double X Aerographic 2405 gibt es insgesamt 12 Schwarzweißbilder mit 80 % Längsüberdeckung entlang eines Flugstreifens mit einem Azimut von etwa 50 Grad im Westen Österreichs (siehe Abb.).

Betrachtet man die 60%ig überdeckten Bilder, d.h. jedes zweite Bild, unter einem Spiegelstereoskop, hat man einen etwa um den Faktor Zwei

* Dieser Aufsatz ist eine gekürzte Fassung des Aufsatzes "Orthophotos und Stereopartner aus metrischen Weltraumbildern" (G.Fritze, J.Jansa, K.Kraus), welcher in der Österreichischen Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie erscheinen wird.



Lage des Flugstreifens und Blattschnitt der ÖK 1:200 000

überhöhten räumlichen Eindruck (Kraus,1985). Auch die monokular betrachteten Bilder wirken sehr plastisch. Dafür sorgen die ausgeprägten Schatten in der verschneiten Landschaft. Der Sonnenstand zur Aufnahmezeit um 9 Uhr betrug 15 Grad mit einem Azimut von 150 Grad.

AUFGABENSTELLUNG

Einem Schwerpunkt der Entwicklungstätigkeit der letzten Jahre folgend, hat das Institut für Photogrammetrie der TU Wien die Aufgabe übernommen, aus den Spacelabaufnahmen Orthophotos und Stereopartner, also Stereoorthophotos, herzustellen. Mit Hilfe der Stereoorthophotos werden nämlich die Nachbardsziplinen in die Lage versetzt, für ihre Zwecke den Bildinhalt zu interpretieren und die Ergebnisse auf der Basis einer einwandfreien geometrischen Grundlage darzustellen.

Aufgrund langjähriger Erfahrungen mit der Orthophotoherstellung fiel die Entscheidung zugunsten des Orthophotomaßstabes 1:200 000, der etwa einer vierfachen Vergrößerung der Originalbilder entspricht. Von den Bildern 879, 880, 881, 883, 885, 887 wurden Orthophotos und von den Bildern 881, 882, 883, 885, 887, 889 Stereopartner hergestellt, wobei das Orthophoto vom Bild 883 und der Stereopartner vom Bild 885 sowohl im 28-Grad- als auch im 31-Grad-Meridianstreifen angefertigt wurde. Das Kartenblatt 47/10 GLURNS der Österreichkarte 1:200 000 (ÖK 200) wird ganz von dem Orthophoto des Bildes 880 gedeckt. Es war daher naheliegend, dieses Blatt zu einer Orthophotokarte auszugestalten und in einer hohen Auflage zu drucken. Diese Aufgabe hat das Institut für Kartographie und Reproduktionstechnik der TU Wien übernommen (**).

Im folgenden wird die Stereoorthophotoherstellung, die Paßpunkte und ein digitales Höhenmodell vorausgesetzt, beschrieben. Die Herstellung der beiliegenden Orthophotokarte 47/10 GLURNS ist in der Veröffentlichung (Kelnhofer,1985) im Detail beschrieben.

DIE PAßPUNKTE

Für die Orientierung der Weltraumbilder sind Paßpunkte notwendig. Die erforderliche Genauigkeit kann mittels des Endproduktes abgeschätzt werden: ein Fehler von 0.1 mm im Maßstab 1:200 000 ist 20 m in der Natur. Die erforderliche Höhengenaugkeit kann mit Hilfe der aus den Originalbildern möglichen Höhenmeßgenauigkeit abgeschätzt werden: 0.1 ‰ von 243 km Flughöhe sind 24 m. Paßpunkte dieser Genauigkeit kann man ohne weiteres aus topographischen Karten 1:25 000 und 1:50 000 entnehmen.

Eine große Schwierigkeit für die Paßpunktbestimmung ergab sich dadurch, daß Karten aus der Bundesrepublik Deutschland, Italien, der Schweiz und Österreich herangezogen werden mußten. Da jedes Land ein eigenes Landessystem besitzt und auch die Kartenprojektionen der einzelnen Länder verschieden sind, mußten umfangreiche Transformationsrechnungen durchgeführt werden. Außerdem sollten die Orthophotos im österreichischen Landessystem, in einer Gauß-Krüger Projektion, hergestellt werden.

** Einem Teil dieser Ausgabe liegt die farbig gestaltete Orthophotokarte, einem anderen Teil der Schwarzweiß-Druck der Orthophotokarte bei.

Die höhenmäßigen Differenzen infolge unterschiedlicher Höhenhorizonte liegen unter der erforderlichen Genauigkeit und müssen daher weiter nicht mehr beachtet werden. Für die Vereinheitlichung der Lagekoordinaten konnte das System des Europäischen Triangulationsnetzes 1979 (ED79) verwendet werden, da uns von Triangulationspunkten 1. Ordnung sowohl die jeweiligen Landeskoordinaten als auch die ED79-Koordinaten zur Verfügung standen. Alle Koordinaten mußten anschließend noch in ein projektionsunabhängiges kartesisches Koordinatensystem transformiert werden. Zum Zwecke der Paßpunkteverdichtung und der Genauigkeitskontrolle wurde eine Phototriangulation mit dem Programm ORIENT (Kager,1980) durchgeführt. Als mittlerer Fehler ergab sich daraus in der Lage 6 bis 12 m und in der Höhe 16 bis 30 m.

DAS DIGITALE GELÄNDEMODELL

Bei der Orthophotoherstellung benötigt man Informationen über die Form der aufgenommenen Erdoberfläche. Ein digitales Höhenmodell in einer für diese Zwecke ausreichenden Genauigkeit existiert am Institut für Photogrammetrie der TU Wien für ganz Österreich. Es wurde im wesentlichen durch Digitalisieren der Höhenschichtenlinien der Österreichischen Übersichtskarte 1:500 000 gewonnen (Haitzmann,1983). Für Bereiche außerhalb Österreichs wurde das digitale Höhenmodell direkt aus den Spacelabbildern am analytischen Auswertegerät Aviolyt AC1 (Wild Heerbrugg) mittels statischer Rastermessung in einem Punktabstand von 500 m ermittelt. Das erste Höhenmodell lag in der Lambert'schen konformen Kegelp Projektion vor, das zweite entstand im kartesischen Koordinatensystem. Beide Höhenmodelle mußten in das System des Orthophotos, in das österreichische Gauß-Krüger System transformiert werden.

ORTHOPHOTOS UND IHRE GENAUIGKEIT

Orthophotoherstellung

Die klassische Orthophotoherstellung (Kraus,1985), die auf Orthophotos in großen und mittleren Maßstäben ausgelegt ist, würde in folgenden Schritten ablaufen:

- Berechnung eines räumlichen Rückwärtsschnittes für jedes Bild, aus dem das Orthophoto herzustellen ist (-> Transformationselemente für Zentralprojektion).
- Definition eines quadratischen Rasters in der X,Y-Ebene des Landessystems
- Interpolation der Geländehöhen Z bezüglich des X,Y-Quadrat-Rasters
- Transformation der X,Y,Z-Rasterpunkte mit den Abbildungsgleichungen der Zentralprojektion in die Bildebene (-> xi,eta-Bildkoordinaten des deformierten Rasters).
- Erzeugung des Orthophotos im digital gesteuertem Differentialumbildegerät durch optische Umbildung des eingelegten Meßbildes (-> das xi,eta-Raster wird zum quadratischen Raster, -> das Meßbild wird zum Orthophoto in der X,Y-Ebene des Landessystems).

Die Verzerrungen der Gauß-Krüger-Koordinaten und die Erdkrümmung werden bei der Orthophotoherstellung aus Weltraumbildern jedoch so groß, daß der eben erläuterte Verfahrensablauf an einigen Stellen abzuändern ist.

- Der räumliche Rückwärtsschnitt muß in Bezug auf ein kartesisches x,y,z -Tangentialsystem durchgeführt werden (d.h. die Paßpunkte sind nicht im X,Y,Z -Orthophoto-Landessystem sondern im x,y,z -Tangentialsystem zur Verfügung zu stellen)
- Die X,Y -Ebene des Landessystems, in der das Orthophoto entstehen soll und in der das Quadratraster auszubreiten ist, ist durch die österreichische Gauß-Krüger-Projektion gegeben.
- Die Höheninterpolation erfolgt mit Hilfe des Geländemodells, welches ebenfalls in der österreichischen Gauß-Krüger-Projektion vorliegt. Für jeden Rasterpunkt liegen dann die X,Y,Z -Landeskoordinaten vor.
- Die Rasterpunkte werden von den X,Y,Z -Gauß-Krüger-Koordinaten in die x,y,z -Tangentialkoordinaten und dann von diesen über die Formeln der Zentralprojektion in ξ,η -Koordinaten in das Bild transformiert. Dieses deformierte ξ,η -Raster bildet wieder die Steuerdaten für das Differentialumbildegerät.

Genauigkeit des Orthophotos

Eine detaillierte Genauigkeitsuntersuchung wurde für jenes Orthophoto (aus dem Bild 880) angestellt, aus dem die beiliegende Orthophotokarte hergestellt wurde. Insgesamt 54 Paßpunkte wurden in der österreichischen Karte 1:50 000 und in der Orthophotokarte identifiziert. Es errechnete sich ein mittlerer Punktfehler von 0.45 mm im Orthophotomaßstab 1:200 000. Nach Abspaltung eines systematischen Anteils, der im wesentlichen durch Einpaßfehler des Orthophotos in den Kartenrahmen entstanden war, durch Anwendung einer 3-Parameter-Transformation konnte ein mittlere Punktfehler von 0.24 mm erreicht werden, ein Wert, der etwa der Definitionsunsicherheit in einem Orthophoto entspricht.

STEREOPARTNER

Mit Hilfe eines Stereopartners erhält man die dritte Dimension zum Orthophoto. Stereoorthophotos (=Kombination von Orthophoto mit Stereopartner) werden besonders für Interpretationsaufgaben geschätzt, weil der Stereoeindruck das Interpretieren erleichtert und das Interpretationsergebnis geometrisch unverzerrt im Maßstab des Orthophotos anfällt.

Stereopartner weisen gegenüber den Orthophotos in einer Richtung Parallaxen und in der senkrechten dazu keine Parallaxen auf. Damit liegen die Voraussetzungen für die Stereoskopie vor. Die Parallaxen werden in der Regel durch schräge Parallelprojektion erzeugt und sind daher proportional zum Geländehöhenunterschied. Durch einfache Parallaxenmessung kann daher in jedem Punkt die Geländehöhe entnommen werden.

SCHLUSSBEMERKUNGEN

Die Weltraumbilder der metrischen Kamera bringen gegenüber den bereits bekannten und weit verbreiteten Aufnahmen des LANDSAT-Scanners nicht nur den Vorteil der besseren geometrischen Auflösung. Durch die exakt zentralperspektivische Aufnahme erhält man die Möglichkeit geometrisch exakte Orthophotos von hoher photographischer Qualität abzuleiten. Die Experimente mit der metrischen Kamera werden im nächsten Jahr fortgesetzt. Die dabei verwendete Kamera wird eine Bewegungskompensationseinrichtung haben, sodaß die Bildqualität noch besser sein wird. Auf amerikanischer Seite gibt es das wesentlich breiter angelegte Projekt der sogenannten Large-Format-Camera mit einem Format von 23 x 46 cm, die bereits eine Bewegungskompensation besitzt.

Abschließend sei darauf hingewiesen, daß die Aufnahmen der metrischen Kamera über Österreich zwar zu einem aus photogrammetrischer Sicht ungünstigen Zeitpunkt stattfanden, daß aber gerade durch die winterliche Schneebedeckung die Waldflächen in den Alpen besonders hervortreten. Es zeigt sich die für viele vielleicht erstaunliche Tatsache, daß nur ein sehr geringer Teil unserer Alpen mit Wald bedeckt ist und er nur in einem sehr schmalen Streifen zwischen den kahlen Hochgebirgsregionen und den besiedelten Tälern auftritt. Die Schutzfunktion des Waldes wird damit eindrucksvoll demonstriert. Umso wichtiger erscheint es daher, alles für die Gesunderhaltung dieses wenigen Waldes zu unternehmen.

ZUSAMMENFASSUNG

Die ersten photogrammetrischen Meßaufnahmen aus dem Weltraum (Spacelab-Flug, Dez.1983) decken auch den westlichen Teil Österreichs. Das Institut für Photogrammetrie der TU Wien stellte aus diesen kleinmaßstäbigen Photos (1:810 000) Stereoorthophotos im Maßstab 1:200 000 her. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Kartographie und Reproduktionstechnik der TU Wien entstand eine Satellitenbildkarte in Blattschnitt und Projektion der ÖK 1:200 000, Blatt 47/10. Gegenüber der konventionellen Orthophotoherstellung mußte die Erdkrümmung und Projektionsverzerrung berücksichtigt werden. Eine Untersuchung der Genauigkeit des Orthophotos ergab einen Fehler von 0.24 mm.

Schlüsselwörter: Metrische Kamera, Spacelab, Stereo-Orthophotos.

SUMMARY

A part of the first metric imagery from space covers western areas of Austria (Spacelab mission, December 1983). Of these small scale photographs (1:800 000), stereo-orthophotos 1:200 000 have been produced by the Institute of Photogrammetry of the TU Vienna. In co-operation with the Institute of Cartography, a satellite image map 1:200 000 has been created corresponding to the framework, and map projection of the Austrian map system (sheet 47/10). In addition to the usual way of orthophoto production, Earth curvature, and map projection must have been taken into account. Accuracy tests of the orthophoto yielded standard deviation of 0.24 mm.

Keywords: metric camera, Spacelab, stereo orthophotos.

LITERATUR

- Doyle, F.D., 1985: The Large Format Camera on Shuttle Mission 41-G. Photogr.Eng. and Rem.Sens. 51, p.200.
- Haitzmann, H., 1983: Ein digitales Höhenmodell von Österreich. Geod. Arbeiten Österreichs für die Internationale Erdmessung, Neue Folge, Band III, S.147-152.
- Kager, H., 1980: Das interaktive Programmsystem ORIENT im Einsatz. Presented Paper, Kommission V, 14. ISP-Kongreß, Hamburg.
- Kelnhofer, F., 1985: Orthophotokarte aus metrischen Weltraumbildern. Mitt. der Österr. Geogr. Gesellschaft 127 (im Druck).
- Konecny, G., 1984: The Photogrammetric Camera Experiment on Spacelab 1. Bildmessung und Luftbildwesen 52, S.195-200.
- Kraus, K. mit Beiträgen von Waldhäusl, P., 1985: Photogrammetrie. Band 1, 2. Auflage, Dümmler Verlag, Bonn.
- Schröder, M., Schuhr, W., Schüring, A., 1985: Linemapping and Resolution Tests with Metric Camera Data. ESA SP-209, pp.87-93.

ANWENDUNGSBEZOGENE UNTERSUCHUNGEN AN WELTRAUMPHOTOS VON GEBIRGSREGIONEN

R. Kostka

Institut für Angewandte Geodäsie und Photogrammetrie, TU Graz

ZUR PROBLEMSTELLUNG

An der vor mehr als 100 Jahren von Mitteleuropa ausgegangenen Entwicklung der Gebirgskartographie hat Österreich einen wesentlichen Anteil. Lediglich einige Beispiele seien hier in Kürze angeführt:

Zufolge des Gebirgscharakters des Landes wurde die amtliche Kartographie sehr früh mit Problemen der Gebirgskartographie konfrontiert. Einführung der terrestrischen und Aerophotogrammetrie zur Datenerfassung; Gestaltung der Blätter für das flächendeckende Kartenwerk OK 50 000 mit Felsbereichen und hochgelegenen Gletschergebieten.

Mit der speziellen Problemstellung der Darstellung von Gebirgsregionen in den Ostalpen befaßt sich der Österreichische Alpenverein in seiner Alpenvereinskartographie, wobei lediglich die Arbeiten von Ebster und Brandstätter (Darstellungsprobleme der Felsregion) beispielhaft erwähnt werden sollen.

Die kartographische Darstellung außeralpiner Regionen wurde als wesentliches Ziel vieler wissenschaftlicher Expeditionen nicht nur in den asiatischen Hochgebirgsketten angesehen. Namen wie Schneider - Ebster oder Pillewitzer sind damit verbunden.

Entwicklungen der Orthophototechnik am Institut für Photogrammetrie der TU Wien reihen sich an diese Leistungen auf dem Gebiet der Gebirgskartographie.

Durch jahrelange Beschäftigung mit diversen Problemstellungen der Gebirgskartographie an der TU Graz in Zusammenarbeit mit dem Österreichischen Alpenverein und durch Forschungsreisen in die asiatischen Gebirgsketten mit kartographischen Zielsetzungen bin ich mit den Problemen und Schwierigkeiten dieses Fachbereiches konfrontiert worden. Die Entwicklung der erderkundenden Weltraumphotographie habe ich aus diesem Grunde aufmerksam verfolgt, und es wurden und werden von mir Untersuchungen und Überlegungen über die Anwendung dieser Aufnahmen für die Zwecke der Gebirgskartographie angestellt. Bereits an dieser Stelle möchte ich den Instituten und Institutionen danken, bei denen ich bei meinen Arbeiten Unterstützung fand.

DIE AUFGABE DER GEBIRGSKARTOGRAPHIE

Aufbauend auf der Überlegung der Hauptaufgabe der Kartographie, die in der Transformation des Bestandes B in eine graphische, vom menschlichen Betrachter visuell auffaßbare Bestandsinformation I_g besteht, wird eine umfassende, systematische Gliederung des Begriffes Gebirgskartographie (Abb. 1) abgeleitet.

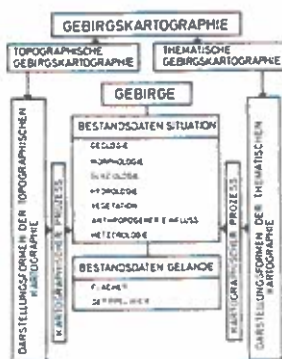


Abb. 1: Die Gliederung des Begriffes Gebirgskartographie

Für die hier angeschnittene Problemstellung des Einsatzes von Weltraum-photos für Zwecke der Gebirgskartographie ist die Erfassung des Bestandes von größtem Interesse. Diese erfolgt mit Hilfe der 3 F

Fremderkundung
Fernerkundung
Felderkundung.

Die Verwendung von Weltraumbildern ermöglicht neben technischer auch die Bewältigung nicht technischer Schwierigkeiten, weist aber in ihrer heutigen Form für viele Aufgaben der Gebirgskartographie noch Mängel auf. Auf eine detaillierte Darstellung der Teilgebiete der Gebirgskartographie wird hier nicht eingegangen.

Zu den üblichen Strich-, Bild- und kombinierten Bild-Strich-Karten werden aber einige Punkte aufgezeigt, die für die Arbeit mit Stereobildern aus dem erdnahen Weltraum wesentlich sind.

1. Für einige Darstellungselemente wird möglichst Grundrißtreue oder -ähnlichkeit gewünscht, für andere wieder nicht (Verwendung von Signaturen); Gleichwertigkeit in der Darstellung ist wesentlich.

2. Bei der Überlagerung von Situation und Geländedarstellung soll erstere nicht durch die zweite verdeckt werden.

3. Zu den schwierigsten Aufgaben der Gebirgskartographie zählt die Geländedarstellung. Da die Geländeform aber nicht nur die Reliefwiedergabe, sondern auch die Geometrie der Situationsdarstellung beeinflußt, unterscheidet man sinnvollerweise 3 Genauigkeitsstufen der Höheninformation:

- Höheninformation zur Unterstützung der Interpretation (Erkennen von Höhenunterschieden, Talsystemen)
- Höheninformation über den Einfluß von Höhenunterschieden auf die Lagegenauigkeit (Entscheidung, ob Orthophotoherstellung sinnvoll ist, Geländehöhendaten zur differenziellen Entzerrung)
- Höheninformation zur Geländedarstellung (zur Angabe von Höhenkoten und Höhenlinien)

4. In vielen Fällen der Gebirgskartographie sind großmaßstäbliche, räumlich begrenzte Karten (Bereichs-, Inselkarten) von Interesse.

5. Der Zeitpunkt der Bestandserfassung spielt zufolge phänologischer Erscheinungen eine große Rolle.

Die Vielfalt der Möglichkeiten in der Gebirgskartographie kann hier selbstverständlich nicht angegeben werden. Im Prinzip läßt sich die gewünschte Darstellungsform im Rahmen des kartographischen Prozesses durch Fernerkundung mit Hilfe von

Maximalverfahren
Hybridverfahren
Näherungsverfahren

erarbeiten. Weltraumstereophotos stellen hierbei ein nützliches Hilfsmittel zufolge der möglichen Raumwahrnehmung, des guten Auflösungsvermögens und der einfachen Manipulierbarkeit dar. Die Beurteilung, wie weit die Bildinformation mit der gewünschten Karteninformation übereinstimmt (Schatten, Schnee) und die Abschätzung der erzielbaren Lage- und Höhengenaugigkeit sind hierfür Voraussetzung.

DIE ERDBEOBACHTENDE WELTRAUMPHOTOGRAPHIE

Synoptische Aufnahmen wurden bereits während der Gemini- und Apollo-Missionen für kartographische Versuchsarbeiten herangezogen. Ihr eigentlicher Anfang für kartographische Zwecke wurde durch das ETC-Experiment der NASA in der SKYLAB 4 Mission 1973 gesetzt (Abb. 2).

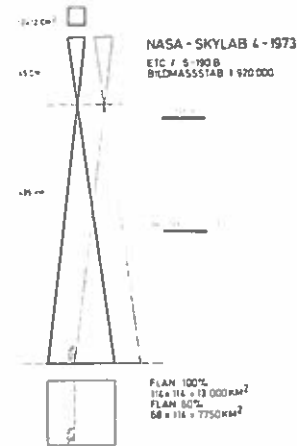


Abb. 2: Aufnahmendisposition des ETC-Experimentes der NASA

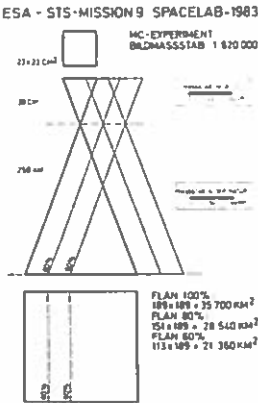


Abb. 3: Aufnahmendisposition des MC-Experimentes der ESA

Zehn Jahre später wurden bekanntlich die ersten echten Meßbilder aus dem erdnahen Weltraum im Rahmen des MC-Experimentes der ESA von der Erdoberfläche belichtet (Abb. 3).

Die angegebenen Flächenäquivalente (FLAN) der Bilder in der Natur sind beachtenswert, da sie zufolge der gewählten Aufnahmekammern und Flughöhen für viele der Problemstellungen der Gebirgskartographie riesige Areale überdecken. Dies kann an einigen Beispielen erläutert werden.



Abb. 4: Beispiele von Kartenblättern, um den Flächeninhalt von Weltraumphotos zu veranschaulichen.

Ein weiteres Experiment der NASA aus dem Jahre 1984 läßt erkennen, daß als Parallelentwicklung zu anderen Sensorsystemen die Weltraumphotographie zunehmende Bedeutung erlangt. Vom letztgenannten Experiment, daß mit Bahnhöhen von 370, 270 und 240 km durchgeführt wurde, ist in der nachstehenden Abbildung 5 die Variante 1 aufgezeigt.

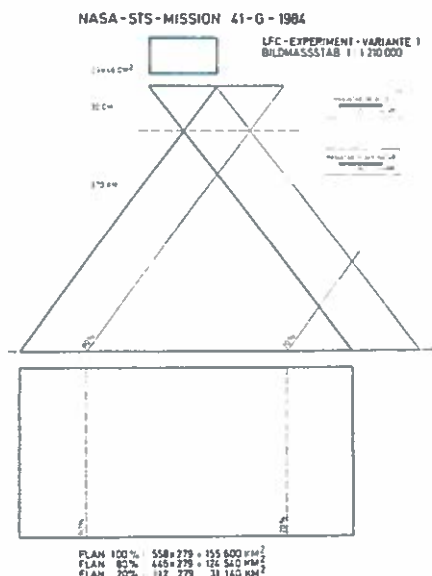


Abb. 5: Aufnahmedisposition der Variante 1 des LFC-Experimentes der NASA

Es liegen also bereits eine Reihe von Experimenten der Weltraumphotographie vor, deren Brauchbarkeit für kartographische Zwecke untersucht wurde oder wird. Beispielhaft seien lediglich Mareich M. 1984: "Paßpunktgenerierung aus Skylabaufnahmen", ESA SP-209 1985: "Metric Camera Workshop" und Kostka R. (in Vorbereitung) "Erderkundende Weltraumphotographie und ihre Anwendung in der Gebirgskartographie" erwähnt.

Das Ergebnis des jeweiligen Experimentes wird, wie allgemein in der Fernerkundung, durch

- objektsbezogene Parameter
- systembezogene Parameter und
- dispositionsbezogene Parameter

bestimmt. Vergleiche der einzelnen Experimente sind schwierig anzustellen, da zu unterschiedliche Voraussetzungen (z.B. die Verwendung von Schwarzweiß-, Farb-, Farbinfrarotfilmmaterial) vorliegen.

In der Gebirgskartographie von besonderem Interesse sind Geländeinformation und Höhenangaben.

Eine allgemeine Formulierung der Abschätzung von Lage- und Höhengengenauigkeit unter Berücksichtigung der verschiedenen im Bild wirksamen Parameter ist erforderlich. Hierdurch kann in Abhängigkeit vom Informationszweck das geeignete Bildmaterial ausgewählt werden oder es können für zukünftige Entwicklungen von der Anwenderseite Wünsche formuliert werden.

DIE ABSCHÄTZUNG VON LAGE- UND HÖHENGGENAUIGKEIT

Lage- und Höhenunsicherheiten in photogrammetrischen Stereomodellen von Luftaufnahmen werden in der Praxis immer getrennt für Lage und Höhe abgeschätzt. Der Literatur (z.B. Kraus 1982, Kraus 1984) kann entnommen werden, daß Lageunsicherheiten durch Streuungswerte in den Bildkoordinaten (mit systematischen und unregelmäßigen Anteilen) sowie Höhenabschätzungen durch Promillewerte der

Flughöhe über Grund angegeben werden. Da für Weltraumphotos bei Auswertearbeiten in der Gebirgskartographie nicht die gleichen Voraussetzungen wie für signalisierte Punkte eines Luftbildmodells bestehen (Identifizierbarkeit, Auswertung von Modellteilen, unterschiedliche Längsüberdeckungen) müssen Schätzformeln darauf abgestimmt sein. Für die Bildkoordinaten kann ein Streuungswert $\sigma_{x,y}$ in Abhängigkeit von der Definitionsgenauigkeit des Objektpunktes, von den Genauigkeitsverhältnissen des Aufnahmesystems und von der erzielbaren Genauigkeit bei der Ausmessung des Bildes angegeben werden.

$$\sigma_{x,y} = \pm \sqrt{\sigma_{x,y}^2 (\text{Def.}) + \sigma_{x,y}^2 (\text{Aufn.}) + \sigma_{x,y}^2 (\text{Mess.})}$$

Die Bildmaßstabszahl m_B vermittelt den Zusammenhang zur Natur.

$$\sigma_{X,Y} = \pm \sigma_{x,y} m_B$$

Eine Form für die Höhenabschätzung kann aus der Höhenformel für Senkrechtaufnahmen abgeleitet werden. Setzt man die Kenntnis der Höhe der Bahnkurve Z , das Bildformat s in Flugrichtung sowie die Prozentzahl $\%$ der Längsüberdeckung voraus, kann der Streuungswert σ_H

$$\sigma_H = \pm \frac{Z}{s(1 - \frac{\%}{100})} \sigma p_x$$

als Funktion der Parallaxengenauigkeit in x angeschrieben werden. Es ergeben sich für die vorhin genannten Experimente die in der Tabelle 1 mitgeteilten Höhenunsicherheiten, die soweit bekannt, mit experimentellen Arbeiten korrespondieren.

Kamertyp	Bildformat s (cm)	Brennweite f (cm)	Bahnhöhe Z (km)	σp_x (cm)	σ_H (m)		
					bei Überdeckung 80 %	60 %	20 %
ETC	12	45	435	0,0013	-	117,8	-
HC	23	30,5	250	0,0008-0,0013	43,5 - 70,7	21,7 - 35,3	-
LFC	46 (23)	30,5	370	0,0008-0,0013	32,2 - 52,3	16,1 - 26,1	8,0 - 13,1
			270	0,0008-0,0013	23,5 - 38,2	11,7 - 19,1	5,9 - 9,5
			240	0,0008-0,0013	20,9 - 33,9	10,4 - 17,0	5,2 - 8,5

Tab. 1: Abschätzung der erreichbaren Höhengenaugkeit bei den durchgeführten erdbeobachtenden Weltraumexperimenten

Die Werte sind für viele Zwecke der Gebirgskartographie brauchbar, wie den vorhin angegebenen Genauigkeitsstufen zu entnehmen ist. Es darf aber nicht vergessen werden, daß das Aufnahmeergebnis sowohl an semantischer als geometrischer Information keineswegs homogen ist. Somit tritt häufig der Fall ein, daß Modellteile, vor allem die positiven Gerippelinien-Kanten auch für großmaßstäbliche Darstellungen 1:50 000 (Langtang Himal-Skylabaufnahmen und Khumbu Himal-Spacelabaufnahmen) brauchbare Genauigkeiten, andere Bildteile hingegen unbefriedigende Information liefern. Durch eine Verkleinerung der Bildmaßstabszahl, Flexibilität im Aufnahmezeitpunkt und Variation in der Aufnahmendisposition könnten die Störeinflüsse in der Bildinformation (Oberstrahlung schneebedeckter Bereiche, Erkennen geringer Kontraste, Sonnenstand und Schattenwurf) bereits bei der Aufnahme wesentlich verringert werden.

ANLIEGEN DER GEBIRGSKARTOGRAPHIE AN DIE ERDERKUNDENDE WELTRAUMPHOTOGRAPHIE

Auf die Problemstellungen der Gebirgskartographie bezogen, ergeben sich für zukünftige Weltraummissionen Anliegen, die als Voraussetzung für einen umfassenden Einsatz dieses Fernerkundungsverfahrens angesehen werden. Eine Erhöhung des Flächenäquivalentes des Bildinhaltes in der Natur im Sinne des LFC-Aufnahmesystems scheint nicht erforderlich. Zum Großteil handelt es sich um räumlich begrenzte Bereiche - Gebirgsmassive, Talsysteme -, für die die Bestandsinformation gewünscht wird. Für diese Gebiete sollte aber sowohl die semantische als auch geometrische Information gesteigert werden können. Dies scheint erreichbar

- durch Anpassung der systembezogenen Parameter an die gestellten Forderungen: lange Brennweite, Bewegungskompensation, Farbfilm mit hoher Auflösung
- durch geeignete Wahl der Aufnahmedisposition wie Zeitpunkt und Basisverhältnis.

Für 2 mögliche Aufnahmevarianten (Abb. 6) erfolgt die Abschätzung der erreichbaren Höhengenauigkeit nach der vorhin angegebenen Formel. Bei einer ähnlichen Aufnahmedisposition wie für die Spacelab 1 Mission ließe sich mit einem 60 cm Objektiv ein Bildmaßstab von 1:417 000 erreichen. Das hierdurch ungünstigere Basisverhältnis könnte durch die Wahl einer 50 % Längsüberdeckung (bzw. 75 % und 25 % bei speziellen Aufgabenstellungen) für Senkrechtaufnahmen verbessert werden.

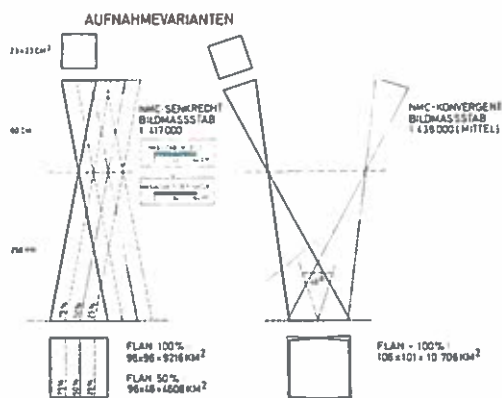


Abb. 6: Mögliche Aufnahmevarianten für die erdbeobachtende Weltraumphotographie

Der Tabelle 2 können die mit dem Maß der Überdeckung variierenden Streuungswerte in den Höhenangaben abgelesen werden. Sie liegen zufolge der Schnittgeometrie der Aufnahmedisposition noch über den mit der LFC erreichbaren Genauigkeitswerten.

Kamertyp	Bildformat s (cm)	Brennweite f (cm)	Bahnhöhe Z (km)	σ_p (cm)	Oberdeckung Z	σ_H (m)
NMC Senkrecht	23	60	250	0,0005	75	21,8
					50	10,9
					25	7,2
NMC Konver- gent	23	60	250	0,0005	100	3,4

Tabelle 2: Höhenschätzung bei möglichen erdkundenden Weltraumprojekten

Eine Steigerung der Höhengenaugigkeit könnte durch die Aufnahme von Konvergentbildern erzielt werden. Bei einer wie in der Abbildung 6 skizzierten Aufnahmedisposition könnten Höhenwerte mit der Genauigkeit von einigen Metern erzielt werden. Bei einem mittleren Bildmaßstab von 1: 438 000 würde die Lageunsicherheit nur unwesentlich verringert werden. Das Aufnahmesystem könnte alternierend in der Flugbahn nach vor- und rückwärts gerichtet werden und auf diese Art und Weise - gleichsam als Janus mit 2 Gesichtern - den interessierenden Bereich der Erdoberfläche erfassen.

Den Genauigkeitsansprüchen der Gebirgskartographie, wie sie in Mitteleuropa seit über 100 Jahren betrieben wird, könnte auf diese Art und Weise entsprochen werden. Es könnte hiedurch aber auch ein Impuls gesetzt werden, detaillierte Umweltinformationen weltweit für abgegrenzte Interessensgebiete auf diese Art und Weise zu erhalten und so automatischen, großflächig arbeitenden Systemen eine Alternative gegenübergestellt werden.

Daß eine Informationssteigerung auf diese Art und Weise aber nur im Rahmen der Möglichkeiten der Fernerkundung erfolgen kann, wodurch nicht alle Bedürfnisse der Gebirgskartographie erfüllt werden können, muß abschließend aber doch erwähnt werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Das Aufgabengebiet der (topographischen und thematischen) Gebirgskartographie ist vielfältig. Probleme der Bestandserfassung können durch Aufnahmen aus dem Weltraum gelöst werden. Stereoaufnahmen liefern Geländeinformation und Höhenangaben. Aufbauend auf den durchgeführten Projekten NASA-SKYLAB 4 - 1973 (Earth Terrain Camera), ESA-STS 9 - SPACELAB - 1983 (Metric Camera) und NASA-STS 41 - G - 1984 (Large Format Camera) werden Genauigkeitsabschätzungen von Höhenangaben durchgeführt. Da das Ergebnis den Vorstellungen der europäischen Gebirgskartographie noch nicht entspricht, werden Vorschläge für effektivere Verfahren unterbreitet, die das angestrebte Ziel in der Darstellung von Gebirgsregionen ermöglichen könnten.

Schlüsselwörter: Gebirgskartographie, erderkundende Weltraumphotographie, Genauigkeitsabschätzungen.

SUMMARY

The problems of topographic and thematic cartography of mountainous regions are numerous. Data acquisition for map production can be carried out from space by means of photographs. Stereophotos give information about surface cover and heights. Accuracy estimations of height values were carried out within the scope of the experiments NASA-SKYLAB 4-1973 (Earth Terrain Camera), ESA-STS 9 - SPACELAB-1983 (Metric Camera) and NASA-STS 41-G-1984 (Large Format Camera), and a general formula for these estimations is presented. As the results of space photography do not yet fulfill the requirements of mountain cartography in the European sense, some suggestions for future experiments are made to obtain higher qualities of photographs and maps.

Keywords: Mountain Cartography, Space Photography for Earth Observation, Accuracy Estimation

LITERATURANGABEN

- ESA SP-209: "Metric Camera Workshop - Oberpfaffenhofen, Germany 11. - 13.Feb. 1985"; Proceedings 1985
- KRAUS, K.: "Photogrammetrie, Band 1", Dümmler Bonn, 1982
- KRAUS, K.: "Photogrammetrie, Band 2", Dümmler Bonn, 1984
- KOSTKA, R.: "Erderkundende Weltraumphotographie und ihre Anwendung in der Gebirgskartographie", in Vorbereitung
- MAREICH, M.: "Paßpunktgenerierung aus Skylabaufnahmen", Diplomarbeit TU Graz, 1984

METHODENVERGLEICH MIT
DEM ERSTEN INTERNATIONALEN
MULTISENSOR-REFERENZDATENSATZ

Walter G. Kropatsch

Institut für Digitale Bildverarbeitung und Graphik
Forschungsgesellschaft Joanneum
A-8010 GRAZ, Wastiangasse 6

METHODENVERGLEICH

Es ist ein nicht nur auf die Fernerkundung beschränktes Problem, Algorithmen und Verfahren, die als "optimal" angesprochen werden, nach objektiven Kriterien zu bewerten. Es gilt allgemein als erwiesen, daß das, was mit einem gegebenen Datensatz gezeigt werden kann, sehr stark von den Charakteristika des Datensatzes abhängt. Das folgende Schema skizziert die Voraussetzungen, wie sich das Problem Methodenvergleich und Methodenauswahl sehr oft darstellt.

Datensatz1 --->	Algorithmus1 --->	Ergebnis1 = "optimal" --->
Datensatz2 --->	Algorithmus2 --->	Ergebnis2 = "optimal" --->
...	...	...
DatensatzN --->	AlgorithmusN --->	ErgebnisN = "optimal" --->

Vergleich?

Um dieses weltweite Problem in den Griff zu bekommen, wurde auf internationaler Ebene eine Initiative gesetzt. Die angesprochenen Methoden der Fernerkundung fallen zu einem nicht unbeträchtlichen Teil in den Bereich der Mustererkennung. Das für Belange der Mustererkennung zuständige Gremium ist die International Association for Pattern Recognition (IAPR). Österreich ist darin durch die Österreichische Arbeitsgruppe für Mustererkennung (ÖAGM) in der Österreichischen Computergesellschaft und in der Österreichischen Studiengesellschaft für Kybernetik vertreten. Für Spezialgebiete innerhalb des recht umfassenden Faches der Mustererkennung hat die IAPR eigene

Technische Komitees eingerichtet, so auch für Anwendungen in der Fernerkundung das Technical Committee 7 (TC7).

Als ein deklariertes Ziel des TC7 gilt der Methodenvergleich für den Bereich der Fernerkundung. Daher wurde von diesem Komitee eine Strategie ausgearbeitet, die vorsieht, zunächst einmal Referenzdatensätze zu schaffen. Diese sollen ein einheitliches Medium für den Methodenvergleich im Anwendungsgebiet Fernerkundung bilden. Die Bewertung der Verfahren kann dann dadurch objektiviert werden, daß die Ergebnisse verschiedener Methoden verglichen werden. Das damit erzielte "beste" Ergebnis läßt einen direkten Schluß auf den "besten" Algorithmus zu, da sich ja alle Ergebnisse auf denselben, einheitlichen Referenzdatensatz beziehen. Unterschiedliche Ergebnisse sind daher nur auf Unterschiede in den Algorithmen zurückzuführen. Das nächste Schema zeigt diese Situation deutlich.

	---	Algorithmus1	---	Ergebnis1	---	Vergleich
	:					
	---	Algorithmus2	---	Ergebnis2	---	Vergleich
einheit-	:					
licher	:					
Datensatz -	:	...		...		...
	:					
	:					
	---	AlgorithmusN	---	ErgebnisN	---	Vergleich

besten Algorithmus <--- bestes Ergebnis

BESCHREIBUNG DES ANDERSON RIVER DATENSATZES

Dr. D.G. Goodenough vom Canada Centre for Remote Sensing (CCRS) hat einen Datensatz zusammengestellt, der dem zuvor erwähnten Zweck dienen soll. Das CCRS stellt diesen Datensatz dem TC7 zur Verfügung. Dieser erste internationale Referenzdatensatz wird über das TC7 der IAPR auf internationaler Ebene verteilt. Die Verteilung auf nationaler Ebene haben die nationalen Vertreter im TC7 übernommen. Als Österreichs Vertreter in diesem Komitee hat der Verfasser die Aufgabe, die Daten in Österreich publik zu machen und an Interessenten weiterzuleiten.

Die Daten stehen auf einem Magnetband zur Verfügung. Sie sind im JSC-Format (Strome et al., 1975) geschrieben und haben folgende Charakteristika:

- 1 Kanal
- 360 Zeilen
- 360 Pixel pro Zeile
- 8 Bit pro Pixel

Das Bild enthält 27 ko-registrierte Bildsegmente, von denen jedes eine Größe von 57 Zeilen x 57 Spalten hat. Der Datensatz umfaßt geo-kodierte Luft- und Satellitenbilder, sowie auch Informationen über das Geländere relief und die Oberflächenbedeckung des betroffenen Gebietes. Im Geokodierungsprozeß wurden die originalen Fernerkundungsbilder auf die UTM Kartenprojektion geometrisch rektifiziert. Die räumliche Auflösung eines Bildelementes beträgt danach 50 Meter. Die Topographie des Gebietes reicht von 275 bis zu 1500 Metern über dem Meeresspiegel. Drei große Täler mit drei unterschiedlichen Ausrichtungen befinden sich in dem Gebiet. Die geographischen Koordinaten des Gebietes sind durch folgende Grenzen beschränkt:

Ost 617100 m. - 619900 m.
Nord 5514100 m. - 5516900 m.

Ziel dieses Datensatzes ist unter anderem der Vergleich von Methoden in folgenden Teilbereichen der Fernerkundung:

Merkmalsauswahl und Erkennung
Hangneigungs- und Hangrichtungskorrekturen
Klassifikation und Clusteranalyse
Kontextabhängige Klassifikation
Extraktion von digitaler Geländeinformation aus Bilddaten
Segmentation von SAR-Daten
Kombination von Daten verschiedener Herkunft.

VERFÜGBARKEIT DES DATENSATZES IN ÖSTERREICH

Interessenten kann der am Institut für Digitale Bildverarbeitung und Graphik der Forschungsgesellschaft Joanneum befindliche Datensatz zur Verfügung gestellt werden. Notwendig ist dafür nur die Zusendung eines 2400 ft. Magnetbandes an die Adresse des Autors. Eine detaillierte Beschreibung der Daten wird dem Magnetband beigegeben werden. Weitere Information kann fünf Artikeln des CCRS entnommen werden, die die Arbeit des CCRS mit dem Datensatz dokumentieren.

Mit der Übernahme des Datensatzes sind folgende Verpflichtungen verbunden: Der Datensatz bleibt Eigentum des CCRS. Die kanadische Regierung hat das Copyright für die Daten. Personen, die den Datensatz erhalten, dürfen die Daten nicht an dritte weiterverkaufen. In Publikationen, die auf die Daten Bezug nehmen, soll auf die Herkunft der Daten, das CCRS und die IAPR, in angemessener Form hingewiesen werden. Des weiteren sollen Ergebnisse, die damit erzielt wurden, veröffentlicht und jenen Organisationen berichtet werden, die die Daten zur Verfügung stellen.

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird der erste international verfügbare Referenzdatensatz im Bereich der Fernerkundung vorgestellt. Dieser Datensatz, der sich aus 27 ko-registrierten Einzelbildsegmenten zusammensetzt, steht nun in Österreich zur Verfügung. Zweck eines solchen Datensatzes ist der Vergleich von Algorithmen, die für die Auswertung von Fernerkundungsinformation eingesetzt werden. Die Aufgabe der Auswahl eines geeigneten Verfahrens für eine gegebene Problemstellung in der Fernerkundung soll damit erleichtert und objektiviert werden.

SUMMARY

The first internationally available reference data set in the field of remote sensing is presented. This data consists of 27 co-registered individual layers and is also at the disposal of the Austrian scientific community. The purpose of such a multiple data set is to compare algorithms to be applied to the evaluation of remotely sensed information. Through this the task of selecting a suitable procedure for a given application problem in remote sensing shall be facilitated and objectivated.

LITERATUR

Die folgenden fünf Beiträge des CCRS beschreiben Erfahrungen, die die Autoren mit der Auswertung von Fernerkundungsdaten verschiedener Herkunft gemacht haben. Zum Teil wird direkt auf den gegenständlichen Datensatz Bezug genommen.

Ein interessantes Faktum steht in engem Zusammenhang mit der derzeit in Österreich sehr intensiv betriebenen Bestandsaufnahme von Waldschäden: Grund für die Auswertungen in Kanada war die Erfassung von Waldbeständen und deren Schäden. Ähnlich wie in Österreich spielt auch in Kanada die Einbeziehung der Geländeformen (digitales Geländemodell) eine wesentliche Rolle.

Goodenough, D.G., Guindon, B. & Teillet, P.M., 1979: Correction of Synthetic Aperture Radar and Multispectral Scanner Data Sets. - Proc. of the 13th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, MI, S. 259-270.
Guindon, B., Harris, J.W.E., Teillet, P.M., Goodenough, D.G. & Meunier, J.-F., 1981: Integration of MSS and SAR Data of Forested Regions in Mountainous Terrain. - Proc. of the 14th International Symposium on Remote Sensing of Environment, San Jose, Costa Rica, S. 1673-1690.

- Guindon, B., Teillet, P.M., Goodenough, D.G., Meunier, J.-F. & Dickinson, K., 1981: Remote Sensing Software for Airborne Image Analysis. - Proc. of the 7th Canadian Symposium on Remote Sensing, Winnipeg, Manitoba, September 8-11, 1981, S. 395-409.
- Guindon, B., Goodenough, D.G. & Teillet, P.M., 1982: The Role of Digital Terrain Models in the Remote Sensing of Forests. - Canadian Journal of Remote Sensing, Vol.8, No. 1, July 1982, S. 4-16.
- Teillet, P.M., Guindon, B. & Goodenough, D.G., 1982: On the Slope - Aspect Correction of Multispectral Scanner Data. - Canadian Journal of Remote Sensing, Vol.8, No.2, December 1982, S. 84-106.

Die folgende Publikation beschreibt im Detail das Format, in dem die Daten zur Verfügung stehen:

- Strome, W.M., Vishnubhatla, S.S. & Guertin, F.E., 1975: Format Specifications for LANDSAT MSS System Corrected Computer Compatible Tape. - Research Report 75-3, CCRS.

3 - DIMENSIONALE AUSWERTUNG VON SPOT - BILDERN

H. Fuchs

Forschungsgesellschaft Joanneum
und
Technische Universität Graz

EINLEITUNG

Durch den Einsatz von analytischen photogrammetrischen Auswertegeräten ist auch eine geometrische Auswertung von Stereobildpaaren möglich, die nicht der zentralperspektiven Geometrie unterliegen. Eine entsprechende Programmierung dieser computer-gestützten Auswertegeräte ermöglicht die Bearbeitung von Bildern mit beliebiger Aufnahmegeometrie. Diese Veröffentlichung beschreibt die Hard- und Software, sowie die geometrischen Beziehungen zwischen Modell- und Bildraum, die für eine Auswertung von SPOT-Bildern notwendig sind.

HARDWARE EINES ANALYTISCHEN AUSWERTEGERÄTES

An Hand eines analytischen Auswertegerätes, das an der Forschungsgesellschaft Joanneum zur Verfügung steht, soll kurz die Hardware und das Prinzip dieser Geräte erklärt werden. Moderne analytische Auswertegeräte (im englischen Sprachgebrauch - Analytical Plotter) zeichnen sich durch die Eigenschaft aus, daß die Bewegung der Bildträger von einem Computer gesteuert wird. Anstelle einer optischen oder mechanischen Rekonstruktion des Projektionsstrahles bei herkömmlichen photogrammetrischen Auswertegeräten wird die Beziehung zwischen x, y - Bildkoordinaten und kartesischen XYZ - Modellkoordinaten durch einen Rechner hergestellt. Dadurch entfällt die Beschränkung auf streng zentralperspektive Geometrien in der Aufnahme. Neben Luftmeßbildern können zum Beispiel nicht-metrische Amateuraufnahmen oder Bilder mit unkonventioneller Aufnahmegeometrie verarbeitet werden. Dies schließt natürlich auch SPOT-Bilder ein.

Das Auswertegerät, das an der Forschungsgesellschaft Joanneum verfügbar ist, zeichnet sich durch das Prinzip der Dezentralisierung aus. Die Echtzeit-Operationen (die Umrechnung

von XYZ - Modellkoordinaten in x,y - Bildkoordinaten) werden in einem eigenen Rechner durchgeführt, während das Anwenderprogramm am Hauptrechner exekutiert wird.

Dieser analytische Plotter (siehe auch Fig. 1) besteht aus zwei voneinander unabhängigen Prozessoren (=Rechner). Diese Prozessoren werden auch als P1 und P2 bezeichnet. Es sind im wesentlichen zwei normale Computer, die durch Standardleitungen miteinander gekoppelt sind.

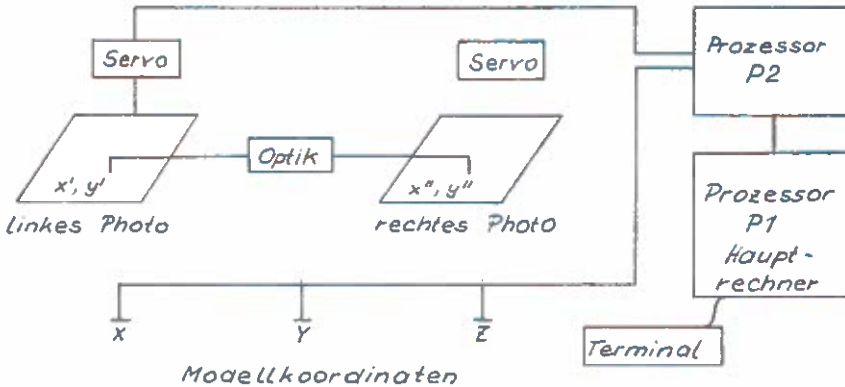


Fig. 1: Hardware eines analytischen Plotters.

Prozessor (oder Rechner) P1 ist der sogenannte Hostrechner (Gastrechner oder auch Hauptrechner). Seine Aufgaben sind im wesentlichen:

- Entwicklung und Exekution von Anwenderprogrammen.
- Berechnung der Orientierungsparameter der Bilder und senden dieser Daten an Prozessor P2.
- Empfangen von Daten vom Prozessor P2 (Modell-, Bildkoordinaten, etc.).
- Senden von diversen Informationen an P2.
- Übermittlung von Daten an ein graphisches Peripheriegerät.

Prozessor P2 rechnet mit bekannten Orientierungsdaten in Echtzeit Modellkoordinaten XYZ in Bildkoordinaten $x'y'$ und $x''y''$ um. Außerdem kann P2 verschiedene Daten wie zum Beispiel Bild-, Modellkoordination oder andere Informationen an den Prozessor P1 (Hauptrechner) senden. Prozessor P2 hat also folgende Aufgaben:

- Empfangen der Orientierungsparameter für die einzelnen Bilder.
- Transformiert in Echtzeit Modellkoordinaten XYZ in Bildkoordinaten in einer endlosen Schleife.
- Schnelle und genaue Steuerung der Plattenträger über die Servomotoren.
- Senden von verschiedenen Daten an Prozessor P1.
- Empfangen und ausführen von Bewegungsanweisungen von Prozessor P1.

Die Verwendung von 2 unabhängigen Computern anstatt eines einzigen scheint den Arbeitsablauf am analytischen Plotter zunächst zu komplizieren. Diese Dezentralisierung der Rechanlagen kann jedoch nur als Vorteil gesehen werden, da die Steuerung der Plattenträger von einem eigenen Rechner nämlich dem Prozessor P2, durchgeführt wird. Dies geschieht in Echtzeit in einem eigenen, speziell für den Rechner P2 entwickelten (Prozessor-) Programm. Dieses Programm muß vor dem Ablauf des Anwenderprogrammes im Rechner P1 in den Prozessor P2, der über kein eigenes Betriebssystem verfügt, geladen und gestartet werden. So werden etwaige Einschränkungen im Echtzeitbetrieb vermieden.

Um eine Stereoauswertung von SPOT-Bildern am analytischen Plotter zu ermöglichen, sind entsprechend den vorherigen Ausführungen im Prinzip zwei Teilprobleme zu lösen:

- (a) Entwicklung eines Prozessorprogrammes für den Plattenprozessor P2, welches die Abbildungsgleichung für die SPOT-Aufnahmegeometrie beinhaltet.
- (b) Entwicklung eines Anwenderprogrammes für den Hauptrechner P1, in welchem unter anderem die Orientierungsparameter gemäß den Abbildungsgleichungen berechnet und in den Prozessor P2 geladen werden.

DER PROZESSOR P2 UND SEINE SOFTWARE

Innerhalb des Plattenprozessorprogrammes werden Modellbewegungen, die der Operator mit Handrädern, Rollkugel, Fußrad oder Rollzylinder ausführt, als digitale Einheiten abgelesen und in entsprechende Plattenträgerbewegungen transformiert, welche von den Servomotoren ausgeführt werden. Dieser Vorgang wiederholt sich in diesem Programm immer wieder in einer endlosen Schleife. Die wichtigsten durchzuführenden Prozeduren dieses Programmes sind:

Initialisiere Prozessordaten

REPEAT

- Aktualisiere Plattenkoordinaten (addiere relative Plattenbewegung zur vorherigen absoluten Plattenposition).
- Lesen von relativen Modellbewegungen und aktualisieren der absoluten Modellkoordinaten.
- Transformiere XYZ Modellkoordinaten in anzusteuernde x', y', x'', y'' Bildkoordinaten bzw. Plattenkoordinaten.
- Berechne Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit aus aktuellen und anzusteuernenden Plattenkoordinaten.
- Ansteuern der gewünschten Plattenkoordinaten mit Hilfe der Servomotoren der Plattenträger.
- Updaten des Prozessor Status.
- Kommuniziere (wenn von P1 erwünscht) mit Prozessor

P1.
UNTIL FALSE.

Alle Operationen innerhalb dieser REPEAT-UNTIL Schleife sollen möglichst innerhalb von 0.02 Sekunden, mit anderen Worten etwa 50 mal pro Sekunde, ausgeführt werden (dieser Wert entspricht der Frequenz von Fernsehgeräten). Dadurch erhält der Auswerter den Eindruck eines homogenen Bewegungsablaufes der Plattenträger.

Der bezüglich Rechenoperationen und folglich Rechenzeit aufwendigste Schritt ist die Umrechnung Modell - in Plattenträgerkoordinaten. Diese Transformation erfolgt nach der Aufnahmegeometrie der SPOT-Bilder, wobei die Orientierungsparameter bekannt sein müssen (anderenfalls werden Initialwerte verwendet). Im Gegensatz zu herkömmlichen perspektiven Abbildungen gibt es bei SPOT-Bildern keinen festen Aufnahmeort, sondern einen Flugweg. Jede Bildlinie quer zur Flugrichtung hat einen eigenen Aufnahmeort (Sensorposition) auf diesem Flugweg. Für die Darstellung des Flugweges wird im Prozessorprogramm, wie auch im Anwenderprogramm in P1, ein Zeitpolynom verwendet. Die Orientierung einer Bildlinie wird durch die Richtung des Geschwindigkeitsvektors im Aufnahmeort bestimmt. Mit sich laufend ändernder Position des Sensors ändern sich auch laufend die Komponenten des Geschwindigkeitsvektors und dadurch auch die Orientierung der Bildlinie. In der Ebene einer Bildlinie besteht die Geometrie der Aufnahme aus einer perspektiven Abbildung mit bekannter Kammerkonstanten (siehe auch Fig. 2).

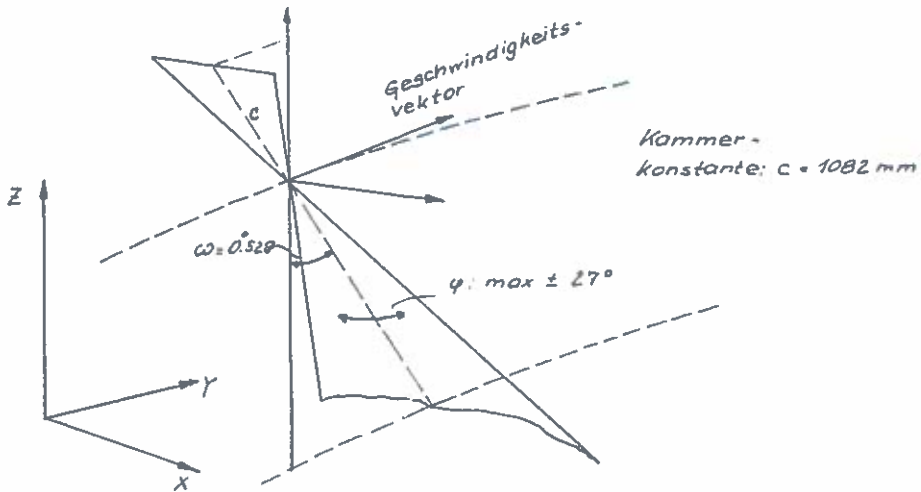


Fig. 2: Geometrie von SPOT-Bildern.

Im Hauptrechner befindet sich das sogenannte Anwenderprogramm. Es sollte eine bedienungsfreundliche Menütechnik besitzen und ist außer der Verwaltung verschiedenster Datenbasen (wie zum Beispiel einer Paßpunktverwaltung) auch noch für die Berechnung von den Orientierungsparametern der SPOT-Bilder zuständig.

Von der herkömmlichen Photogrammetrie ist die stufenweise Orientierung eines Stereomodellens als Folge von innerer, relativer und absoluter Orientierung bekannt und wird auch in dieser Weise auf analogen Stereoauswertegeräten durchgeführt. Bei analytischen Plottern allerdings ist im Gegensatz zu diesen die getrennte Lösung von relativer und absoluter Orientierung nicht mehr unbedingt erforderlich, sondern diese beiden Schritte können auch gemeinsam in "einem Guß" in einen sogenannten Bündelgleichung gelöst werden. Dieser Weg wurde auch für die Berechnung der Orientierungselemente von SPOT-Bildern eingeschlagen.

Somit besteht die Orientierung eines SPOT-Stereobildpaares aus zwei globalen Schritten, nämlich der inneren Orientierung der einzelnen Bilder, sowie einer anschließenden äußeren Orientierung.

a. Innere Orientierung

Die innere Orientierung besteht im wesentlichen aus einer Transformation von SPOT-Bildkoordinaten in Plattenkoordinaten (= Maschinenkoordinaten des analytischen Auswertegerätes). Eine SPOT-Szene entsteht durch einen Streifen von sehr dicht aufeinanderfolgenden metrischen Bildern, wobei von jedem metrischen Bild nur ein kleiner Teil verwendet wird. Figur 3 soll dies veranschaulichen. Der Teil, der von jedem metrischen Bild verwendet wird, beinhaltet den Hauptpunkt (im photogrammetrischen Sinne). Alle Oberflächenpunkte der Erde, die sich in der Ebene Projektionszentrum - Hauptpunkt mit Richtung normal auf den Geschwindigkeitsvektor des Satelliten befinden, werden in einer solchen Bildlinie abgebildet. In dieser Bildlinien werden dann zusammengefügt und ergeben eine SPOT-Szene. In der Praxis haben diese Bildlinien eine Breite von einem Pixel (= 13 micron für den panchromatischen Bereich) und eine Länge von 6000 Pixel. Der Hauptpunkt befindet sich in der Mitte einer solchen Bildlinie. Um die Analogie zwischen der analytischen Geometrie herzustellen kann man jeder Bildlinie ein eigenes Koordinatensystem zuordnen. Der Ursprung ist ident mit dem jeweiligen Hauptpunkt der Bildlinie. Im günstigsten Fall ergibt die Verbindung aller Hauptpunkte eine Gerade. Diese Gerade definiert die y-Achse des eigentlichen SPOT-Bildkoordinatensystems (mit x-Achse normal dazu). Der Ursprung wird sinnvoll in den Hauptpunkt des ersten Bildelementes gelegt. Im ungünstigen Falle ist die Verbindung der Hauptpunkte keine Gerade und für jede Bildlinie gibt es eine andere y-Koordinate (y_0) für den Hauptpunkt (natürlich unter der Annahme daß alle Bildlinien parallel "zusammengefügt" wurden, was jedoch sicher der Fall ist).

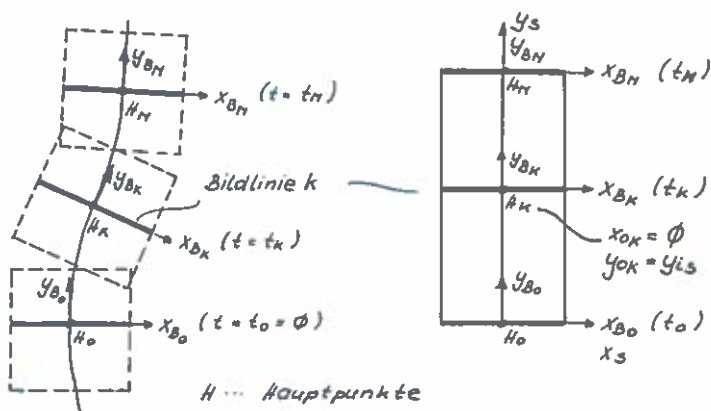


Fig. 3: Innere Orientierung

Für alle weiteren Betrachtungen wird jedoch ersterer Fall (Verbindung aller Hauptpunkte ist eine Gerade) angenommen. Ein Bildpunkt i einer Bildlinie k hat daher in den verschiedenen Systemen folgende Koordinaten:

Bildsystem B:	x_{iB}, ϕ
Spotsystem S:	x_{iS}, y_{iS}
Hauptpunkt im Spotsystem:	ϕ, y_{iS}

Das eigentliche Meßsystem eines analytischen Auswertegerätes sind die sogenannten Plattenkoordinaten. Sie sind in der Regel maschinenabhängig und nicht einmal orthogonal. Aber die Beziehung zwischen Plattensystem und Spotsystem kann leicht durch eine affine Transformation bewerkstelligt werden.

b. Äußere Orientierung:

In der Photogrammetrie sind die Beziehungen zwischen Modellraum (XYZ) und Bildsystem B bekannt und auch linearisierte Formen dieser nichtlinearen Beziehungen sind vorhanden. Für jeden Bildpunkt i einer Bildlinie k gibt es die zwei Beziehungen:

$$x_{iS} = f(x_{0k}, y_{0k}, c, X_i, Y_i, Z_i, x_{0k}, y_{0k}, z_{0k}, R_k)$$

$$y_{iS} = g(x_{0k}, y_{0k}, c, X_i, Y_i, Z_i, x_{0k}, y_{0k}, z_{0k}, R_k)$$

wobei X_i, Y_i, Z_i die Modellkoordinaten des Bildpunktes i , x_k, y_k, z_k die Sensorposition der Bildlinie k und R_k eine Drehmatrix (bestehend aus 3 Drehungen ω, φ, κ) für die Bildlinie k sind. x_{iS}, y_{iS} sind die Koordinaten des Punktes im Spotsystem S. Die Matrix R_k (ω primär, φ sekundär und κ tertiär) wird nach den Formeln für Drehmatrizen für mitgedrehte Achsen aufgestellt.

Mit den bei der inneren Orientierung getroffenen Vereinfachungen lauten sie:

$$x_{is} = -c \frac{(X_i - X_{OK})i_{1k} + (Y_i - Y_{OK})i_{2k} + (Z_i - Z_{OK})i_{3k}}{(X_i - X_{OK})k_{1k} + (Y_i - Y_{OK})k_{2k} + (Z_i - Z_{OK})k_{3k}}$$

$$\phi = -c \frac{(X_i - X_{OK})j_{1k} + (Y_i - Y_{OK})j_{2k} + (Z_i - Z_{OK})j_{3k}}{(X_i - X_{OK})k_{1k} + (Y_i - Y_{OK})k_{2k} + (Z_i - Z_{OK})k_{3k}}$$

Linearisiert:

$$dx_{is} = u_{11} dX_{OK} + u_{12} dY_{OK} + u_{13} dZ_{OK} \\ - u_{11} dX_i - u_{12} dY_i - u_{13} dZ_i \\ + v_{11} d\omega_k + v_{12} d\varphi_k + v_{13} d\kappa_k$$

$$\phi = u_{21} dX_{OK} + u_{22} dY_{OK} + u_{23} dZ_{OK} \\ - u_{21} dX_i - u_{22} dY_i - u_{23} dZ_i \\ + v_{21} d\omega_k + v_{22} d\varphi_k + v_{23} d\kappa_k$$

Um die für jede Bildlinie unterschiedliche Sensorposition und Drehmatrix in den Griff zu bekommen, werden für diese Unbekannten Zeitpolynome eingeführt:

$$U(t) = a + bt + ct^2 + dt^3 + et^4$$

Für ein SPOT-Stereobildpaar werden obige lineare Gleichungen für das linke und rechte Bild aufgestellt. Jeder gemessene Paßpunkt gibt dann Anlaß zu zwei dieser Gleichungspaare. Die linearisierten Gleichungen sind Grundlage für ein Ausgleichsproblem, das mit bekannten Methoden gelöst werden kann. Die neuen Unbekannten des Ausgleiches sind dann die Koeffizienten der Zeitpolynome. In den Ausgleich können folgende Meßdaten und Unbekannte eingeführt werden:

Messungen:

- ... Messungen von Sensorpositionen für den Flugweg des linken oder rechten Bildes.
- ... Bildkoordinaten von homologen Paßpunkten.
- ... Bildkoordinaten von Einzelpaßpunkten im linken oder rechten Bild.
- ... Bildkoordinaten von homologen Punkten.

Unbekannte:

- ... Koeffizienten der Zeitpolynome für den Flugweg.
- ... Koeffizienten der Zeitpolynome für die Drehungen.
- ... Unbekannte XYZ Koordinaten von gemessenen Neupunkten.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Auswertung von SPOT Stereobildern kann an analytischen Stereoauswertegeräten erfolgen, die bereits existieren und kommerziell erhältlich sind. Sie bringt folgende Vorteile:

- ... Die Methode der Modellherstellung an einem analytischen Auswertegerät erzeugt ein parallaxfreies Modell.
- ... Dadurch können Schichtenlinien und planimetrische Informationen ausgewertet werden und zwar in einer Art und Weise wie sie in der Photogrammetrie schon lange üblich ist.
- ... Die Modellherstellung geschieht auf eine dem Auswerter wohlbekannte Methode. D.h. das Einschulen bringt keine zusätzlichen Probleme.

Dieses Verfahren eignet sich besonders gut für die Kartenherstellung und Revision von Karten in einem Maßstab von 1:50000 bis 1:100000. Die Kosten dafür sollten im Vergleich zu bestehenden photogrammetrischen Methoden niedriger sein.

SUMMARY

Stereo mapping of SPOT images can be done on existing and commercial analytical plotters without extra investments in hardware and in an operational mode. The main advantages of stereo mapping with SPOT data on an analytical instrument are:

- ... Stereo-mapping with SPOT images can be done in a traditional well known way as it has been done in photogrammetry since many years.
- ... The model set-up technique creates a parallax-free stereo model and allows one to plot contour-lines and planimetric features at operating speeds that are common in classical photogrammetry.
- ... Operators familiar with methods of common photogrammetry easily can be trained in this new field, due to the possibility of guided man - machine dialogue.

Stereo mapping of SPOT stereo pairs can be a very efficient way for map production and revision of maps with a scale of 1:50000 to 1:100000. The costs should be much lower compared to an application of standard photogrammetric methods.

LITERATUR

- CHAPUIS A. (1980):
"Das Kern-System DSR-1 GP-1.
Analytisches Stereauswertegeraet und Graphisches
Peripheriegeraet".
14 th. ISP Congress, Commission II, Hamburg 1980.
- DE MASSON D'AUTUME G. (1985):
"Triangulation spatiale avec SPOT".
Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 9/85
pp 339 - 342.
- FUCHS H., F. Leberl (1982):
"CRISP - A Software Package for Close Range Photo-
grammetry for the Kern DSR-1 Analytical
Stereoplotter".
Symposium of precision and speed in close range
photogrammetry, York, United Kingdom,
pp. 175 - 184.
- FUCHS H., F. Leberl (1984):
"Universal Analytical Plotter Software for Photo-
graphs with Perspective Geometry (CRISP)".
ASP - ACSM Convention, March 11 - 16, 1984,
Washington D.C., pp. 774 - 781.
- FUCHS H. (1984):
"Interactive Bundle Adjustment with Metric and
Non-Metric Images Including Terrestrial Observa-
tions and Conditions". XV Congress of ISPRS,
17 - 29 June 1984, Rio de Janeiro.
- RAGGAM, H. and F. LEBERL (1984):
"SMART - A program for radar stereo mapping on the
Kern DSR-1".
1984 ASP-ACSM Convention, Washington D.C.,
Technical papers, Vol. 2, pp 765 - 773.

G E O L O G I S C H - G E O T E C H N I S C H E
A N W E N D U N G S B E I S P I E L E V O N
F E R N E R K U N D U N G S D A T E N
V E R S C H I E D E N E R S E N S O R E N

M.F. Buchroithner

Institut für Digitale Bildverarbeitung und Graphik
Forschungsgesellschaft Joanneum
A-8010 Graz, Wastiangasse 6

EINLEITUNG

In der Gemeinschaft der Fernerkunder haben die Geologen im weitesten Sinne stets als Pioniere in Forschung, Entwicklung und Anwendung gewirkt. Aus diesem Grund scheint es angebracht, einige in den letzten Jahren in Österreich durchgeführte Aktivitäten auf dem Gebiet der geologischen bzw. geotechnischen Fernerkundung exemplarisch vorzustellen. Nicht zuletzt hat sich seit der letzten, sehr allgemein gehaltenen österreichischen Darstellung über "die Anwendung der Fernerkundung in der Geologie" (MATURA, 1981) in Österreich einiges auf diesem Gebiet getan. Ein guter Teil der Forschungsergebnisse wurde bereits andernorts publiziert (BUCHROITHNER, 1982, 1984a, 1984d; 1985).

An dieser Stelle sei folgenden Kollegen für die Betrauung mit verschiedenen Fragestellungen, die Bereitstellung von Daten sowie die Publikationserlaubnis gedankt: Frau Dr. G. Domik und Herrn Dipl.Ing. E. Kienegger (Boulder, Col.) sowie den Herren Univ.DoZ. F. Ebner, Dr. R. Kostka und Univ.Prof. G. Riedmüller (Graz), Dr. H. Litscher (Klagenfurt), Dipl.Ing. H.-J. Weber (Salzburg) und Dir. Dipl.Ing. G. Wollmann (Wr. Neudorf).

OPTO-ELEKTRONISCHE BILDDATEN VON LANDSAT

Klärung struktureller Fragen des Basements,
Kartierung sedimentbedeckter Gesteinskörper

Im Zuge einer Studie über die geologische Vorauswahl potentieller Erdgasspeicher der Oststeiermark (Projekt der Bund-Bundesländer-Kooperation STE 30) wurden unter anderem Lineamentuntersuchungen im gegenständlichen Raum durchgeführt (EBNER, ERHART-SCHIPPEK & WALACH, 1985). Eine Betrachtung des oststeirischen Beckens im Satellitenbild sowie ein Vergleich mit der

österreichischen Satellitenbildkarte (BUCHROITHNER, 1984a) ließen im Bereich der geophysikalisch nachgewiesenen Hochzone von Vasoldsberg eine auffallende Häufung von NNE-SSW streichenden Lineamenten (O'LEARY, FRIEDMAN & POHN, 1976) erkennen. Ihre Anordnung deutet auf eine Untergrund-Horstbildung mit flacher West- und steiler Ostflanke hin. Zusätzlich werden die oben genannten Lineamente durch NW-SE-Strukturen zerschnitten und im N und S begrenzt. Auffallend ist, daß auch die geophysikalische Hochstruktur an diesen Querelementen begrenzt ist. Da sich alle diese Strukturen in der Obertagsgeologie nicht auswirken, ist es naheliegend, in ihnen Brüche zu sehen die für die Ausbildung der Schwellenbereiche in Form von Horsten verantwortlich waren und sich in weiterer Folge durch die junge Sedimentbedeckung durchpausten.

Der Bereich der Südburgenländischen Schwelle zeichnet sich durch eine Häufung von SW-NE- und SSW-NNE-Lineamenten ab. Diese Merkmale fallen mit einem markanten gravitativen Abfall an der Westflanke der Südburgenländischen Schwelle, der ebenfalls auch auf Bruchstrukturen hinweist, zusammen.

Auffallend ist ferner, daß zwischen den beiden oben genannten Gebieten im Raum Wildon - Vasoldsberg sowie im Bereich der Südburgenländischen Schwelle in einem bestimmten subzirkulären Areal mit Ausnahme einiger dominanter ESE-WNW-Strukturen, die auch die bereits vorhin genannten Lineamente schneiden, nur kleinräumige Strukturelemente von untergeordneter Ausprägung erkennbar sind. Dieses Gebiet fällt interessanterweise mit der aufgrund von Bohrungen und geophysikalischen Befunden bisher nur grob bekannten untertägigen Verbreitung der Miozänen Vulkanite des Steirischen Tertiärs zusammen. Es läßt sich somit aus dem Lineamentmuster die Umgrenzung dieses großteils von mächtigen Sedimentfolgen bedeckten Tertiären Vulkangesteinskörpers herauslesen. Daraus kann wiederum abgeleitet werden, daß die Platznahme der Vulkanite im großen und ganzen nach dem Ausklingen der Jungsteirischen Gebirgsbildungsphase im jüngeren Karpatien stattfand.

Eine detailliertere Auswertung der Lineamente im fraglichen Raum mit Hilfe digitaler Bildverarbeitungsmethoden durch den Verfasser ist zur Zeit im Gange. Unter Verwendung von multitemporalen Daten der Landsat-MSS-Szene 205-27 sowie von einfachen Kantenoperatoren und Linienverfolgungsalgorithmen wird eine exaktere Erfassung der Änderung des Lineamentmusters, die eine genauere Kartierung der untertägigen Verbreitung der Vulkanite erbringen soll, durchgeführt.

Erkundung von Geothermie-Potential

Im Rahmen eines Projekts zur "Erkundung nutzbarer Warmwässer im Untergrund des Bereiches von St. Johann im Pongau" (Salzburger Landesregierung, Projekt SA 6 d 1982) wurde mit Hilfe von digitalen Landsat-MSS-Daten eine Lineamentstudie durchgeführt (BUCHROITHNER, 1983). Zu diesem Zweck wurde in der Szene 207-27 ein der österreichischen Karte 1 : 50 000, Blatt 125 - Bischofs-hofen, entsprechendes Gebiet ausgewählt. Diese Subszene wurde mittels einer quadratischen Polynomialfunktion und bilinearer Interpolation als Resampling-Algorithmus indirekt auf 1 : 100 000

geometrisch entzerrt (NOWAK, 1981; JANSKA, 1983). Die Restungenauigkeiten lagen bei rund 1,25 Pixel in Flug- und Scanrichtung.

Zur adaptiven Grauwerttransformation der Bilddaten in Hinblick auf Lineamente wurde eine Kontrastverstärkung durch lineare Histogrammspreizung (Stretching) in den Bändern 4, 5, 6 und 7 durchgeführt. Die Ergebnisse von Band 6 und 7 (Schwarz-Weiß) sowie die RGB-Farbkomposite der Bänder 4, 5, und 7 wurden gesondert ausgewertet. Des weiteren wurde eine sogenannte Farbkantenverstärkung (Color Edge Enhancement, MOIK, 1980) in Form einer linearen Transformation an die Bandkombination 4, 5 und 7 gelegt (Algorithmus nach I2S, 1981). Nach dieser Datenumformung mit unterschiedlicher Farbwichtung wurden die Output-Daten auf den Bereich von 3 bis 97 % der Strahlenwerte des Inputbildes beschränkt und linear skaliert.

Die Ergebnisse der diversen Bildverbesserungen wurden am Bildschirm interpretiert und auf die ÜK 50 000 übertragen. Aufgrund der exakten Entzerrung ließ sich die Lokalisierung der Lineamente in der Karte ohne Schwierigkeiten durchführen. Nur jene linearen Elemente, die in mindestens 2 der 3 verarbeiteten Bilder zu erkennen waren, wurden eingezeichnet. Hierbei dienten die Farbkantenverstärkungen teilweise der Bestätigung und vor allem der Ergänzung der oben erwähnten Auswertungen der einfach gestreckten Bilder. Einige in - oft weit getrennten - Teilstücken erkennbare Lineamente konnten nun in ihrer gesamten Erstreckung identifiziert werden. Nichtsdestoweniger wurde so vorgegangen, daß nur dort lineare Elemente eingetragen wurden, wo diese wirklich - zumeist durch morphologische Indizien angezeigt (BUCHROITHNER, 1984d) - in den Bildern ersichtlich waren.

Eine Geländeverification der Lineamente in Hinblick auf ihre tektonische Relevanz war nicht Aufgabe des gegenständlichen Projektes. Aufgrund einer von Seiten der Auftraggeber in der Folge durchgeführten Geländeüberprüfung läßt sich jedoch feststellen, daß rund 80 - 85 % der dargestellten Linien steilstehenden tektonischen Bruchstörungen i.w.S. (vgl. TOLLMANN, 1977; BUCHROITHNER, 1982) entsprechen. Praktisch alle bekannten bruchtektonischen Störungslinien ließen sich erkennen. Einige aus Geländebefunden angeblich nicht bekannte Lineamente im Raum Mühlbach am Hochkönig - Mitterberg (mündl. Mitt. O. Schermann, 1983) dürfte in die aus obiger Fragestellung ableitbaren 15 -20 % fallen. Aus Zeitgründen mußte von einer bedeutungsmäßig gewichteten Darstellung der Lineamente sowie der Deutung genetischer Aspekte Abstand genommen werden.

LANDSAT-DATEN UND LUFTBILDER

Geologische Kartierung entlegener Hochgebirgsmassive

Die Größe der horizontalen und vor allem der vertikalen Entfernungen in den Gebirgen des Himalaya-Systems machen es dem Geländegeologen unmöglich, mit Hilfe der reinen "Hammergeologie", d.h. durch Begehungen des gesamten Gebietes, geologische Kartierungen durchzuführen. Hier sind Satellitendaten und Luftbilder für die flächenhafte Interpolation zwischen den im Gelände

begangenen Punkten bzw. Profilen von unschätzbarem Wert.

Im Rahmen eines Projektes zur Erstellung einer mehrfärbigen geologischen Karte des Tirich Mir-Gebiets, des höchsten Massivs im Hindukusch (7710 m, Nordpakistan) im Maßstab 1 : 50 000 (Projekt des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung Nr. 4669) wurden Schwarz-Weiß-Luftbilder von mäßiger bis schlechter Qualität in einem mittleren Bildmaßstab von 1 : 58 000 mit Unterstützung von Landsat 1-MSS-Daten der Szene E-1354-05233-7 02 zur geologischen Kartierung eines Gebietes, das dem Verfasser nur randlich bekannt war, verwendet (BUCHROITHNER 1985a, BUCHROITHNER & GAMERITH 1985). In einem Gebiet von rund 38 km x 22 km, ca. 860 km², mit Höhenunterschieden bis um 5 000 m, wurden in einem vergleichsweise geringen Zeitraum 17 verschiedene lithologische Einheiten sowie 14 unterschiedliche Typen junger Oberflächenbedeckungen (einschließlich der Gletscher) mit Fernerkundungsmethoden kartiert. Abgesehen vom detaillierten geologischen Inhalt der Karte wird diese aufgrund der detaillierten Höhenliniendarstellung mit m Isolinien (erstellt von R. Kostka, Graz, und Mitarbeitern) erstmals auch für Alpinisten eine brauchbare topographische Unterlage bilden. Die bisher genauesten publizierten geologischen Karten dieses Gebietes hatten einen Maßstab von 1 : 250 000 (GAMERITH, 1980).

Die gegenständliche Karte zeigt, daß mit einem Minimum an Geländekenntnissen unter Verwendung einer Kombination von (in diesem Falle der schlechten) konventionellen Luftbildern sowie einer einfachen überwachten Klassifikation von multispektralen Landsat-Daten und visueller Interpretation von Landsat-Film-Farbkompositen eine qualitativ hochwertige geologische Hochgebirgskarte hergestellt werden konnte.

Ingenieurgeologische Auswertungen für Straßenbau

Im Zuge der Vorerhebungen für eine neue Trassenführung der Semmering-Schnellstraße wurden im Raum Mürzzuschlag-Semmering-Maria Schutz geologische Luftbilddauswertungen im Maßstab 1 : 25 000 durchgeführt. Bei den für die Auswertungen zur Verfügung stehenden Luftbildern des sogenannten "Wechselfluges" aus dem Jahre 1981 mit einem mittleren Bildmaßstab von 1 : 32 500 mußte hinsichtlich Schärfe und vor allem Kontrast eine nur mäßige Qualität in Kauf genommen werden (BUCHROITHNER 1984b). Als zusätzliche erschwerende Kriterien für eine photogeologische Interpretation stellten sich die intensive anthropogene Nutzung sowie die landwirtschaftlich überprägte mächtige Handschuttbedeckung dar.

Insgesamt wurden 12 Luftbilder aus 2 Flugstreifen ausgewertet. An ingenieurgeologisch relevanter auswertbarer Information wurden ausgeschieden: alluviale Talfüllungen (auch ausgeprägte Fächerbildungen), Kolluvium größer Mächtigkeit (wobei die bergseitige Grenzlinie fast überall gleichzeitig die Grenze zu steilerem, nicht oder kaum mit Hangschutt bedecktem Gelände bildet), alte fluviatile Schotterterrassen, anstehender Fels, Hangrutschungen, Bodenkriechen, Photolineamente mit äußerst wahrscheinlicher Implikation von steilstehender Tektonik (Störungen, Zerrüttungszonen), Photolineamente mit vermuteter steilstehender

Tektonik sowie Vernässungsstellen und Quellaustritte. Erosionserscheinungen wie gullies, rills und sheets konnten (als lithologische bzw. Gebirgsklassen-Indikatoren) in den Flugaufnahmen keine festgestellt werden. Die Lagerung der ausgeschiedenen anstehenden Karbonat-Gesteinskomplexe war nicht erkennbar. Aufgrund dieser Kriterien wurde von einer Ausscheidung (wenn auch nur vermuteter) rock mass strength-Einheiten Abstand genommen.

Für eine Wichtung der eingezeichneten Photolineamente wurden multitemporale Papierkopien der Landsat-MSS Szene 205-27 herangezogen. Ein Vergleich mit dem Blatt Mürzzuschlag der amtlichen geologischen Karte im Maßstab 1 : 75 000 von CORNELIUS 1936 ergibt eine auffallende Übereinstimmung in der Anordnung der Kartenstörungen und der durch Satelliten- und Luftbildinterpretation ermittelten Lineamente.

Ingenieurgeologische Auswertungen für Stollenbau

Im Rahmen der Voruntersuchungen für die Trassenführung eines neuen Zuleitungsstollens der Kraftwerksgruppe Fragent vom Zirknitztal zum Speicher Feldsee wurden photogeologische Auswertungen von Luftbildern im mittleren Bildmaßstab von 1 : 28 000 im Bereich der Roten Wand (2855 m) durchgeführt (BUCHROITHNER 1984c). Die Luftbilddauswertungen, welche mit Befunden von Geländebegehungen aus früheren Jahren verglichen wurden, wurden primär in Hinblick auf bruchtektonisch relevante Lineamente durchgeführt. Eine Satellitenbilddauswertung der Landsat-MSS-Szene 207-27 diente in diesem Zusammenhang sowohl dem Einbau des lokalen Lineamentmusters in den überregionalen Rahmen als auch, dadurch bedingt, einer Wichtung der Photolineamente. Die Satellitenbildinterpretation erfolgte direkt vom Bildschirm auf einer grob entzerrten (siehe Kap. Geothermie) Landsat-MSS Subszene, mit deren Daten einfache Grauwertspreizungen durchgeführt worden waren. Die durch Geländebefunde in Hinblick auf steilstehende Störungen erhärteten Luft- und Satellitenbilddauswertungsergebnisse wurden in einer Karte im Maßstab 1 : 10 000 zusammengezeichnet und führten u.a. im Endeffekt dazu, daß die ursprünglich geplante Stollenführung um einen deutlichen Betrag verlegt werden sollte.

PHOTOGRAMMETRISCHE WELTRAUMAUFAHMEN (METRIC CAMERA)

Für einführende, allgemeine Bemerkungen über das im europäischen Spacelab der amerikanischen Space Shuttles geflogene Metric Camera-Aufnahmesystem sei auf die Arbeiten von KONECNY 1984 und GIERLOFF-EMDEN, DIETZ & HALM 1985 verwiesen.

Geologische Kartierung entlegener Bergsteppengebiete

Im Rahmen des ESA Metric Camera-Experiments "High Mountain Research in Southern Central Asia" sowie des Forschungsprojektes Nr. 5668 des Fonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung wurden anhand der Metric Camera Aufnahmen 01-5545-13 und 01-5546-13, aufgenommen am 3. Dezember 1983 mit einer Überlappung von 60 % in der Provinz Badakshan in Nordost-Afghanistan geologische Auswertungen im Maßstab 1 : 100 000 durchgeführt (BUCHROITHNER 1984d, 1985b). Das 45 km x 45 km, d.s. 2 025 km², große Gebiet nordöstlich des Städtchens Taloquan, im Bereich des markanten Knies des Kokča-Flusses, welches bisher nur sehr kleinmaßstäbig geologisch erfaßt worden war (MIRZAD et al. 1967), bot sich deshalb für eine geologische Auswertung an, weil der Verfasser es von einer Durchquerung entlang des Kokča persönlich kannte und weil es im Süden an den von DESIO, MARTINA & PASQUARE 1964 im Maßstab 1 : 150 000 kartierten Bereich angrenzt und somit, ausgehend von geologischen Fixpunkten, die Möglichkeit der interpretativen Extrapolation bietet.

Im gegenständlichen Gebiet wurden an lithologischen Einheiten zwei Alluvialklassen sowie lößbedeckte alluviale (Plateau-) Ablagerungen, Kolluvium, flyschartige Wechselagerungen von Konglomeraten, Sandsteinen (und Mergeln; Tertiär), klastische sedimentäre Serien von Sandsteinen, Mergeln und Konglomeraten mit lokalen Wechseln und teilweiser Entwicklung eines feinkörnigeren hangenden Abschnitts (Tertiär) sowie sedimentäre Serien mit mergeligen Kalken (vorwiegend), Konglomeraten und Sandsteinen (Mesozoikum) ausgeschieden.

Obwohl horizontale und besonders vertikale Bewegungen entlang tektonisch bedingter Lineamente in vergleichsweise weichen Sedimenten mit hügeligem Relief schwierig zu identifizieren sind, können einige Aussagen über Versetzungen, die aus der Interpretation des Stereomodells resultieren, gemacht werden. Im untersuchten Gebiet folgte auf eine undulierende Faltung aller Serien eine bruchtektonisch bestimmte Phase mit horizontalen und vertikalen Bewegungen. Über den genetischen Bezug der beiden letzteren Akte kann allerdings keine Aussage gemacht werden, ob es sich um ein ein- oder zweiphasiges Ereignis handelt. Abschiebungen im untersuchten Gebiet sind in Zusammenhang mit der Genese des Kokča-Grabens (WOLFART & WITTEKINDT, 1980) zusehen.

DATEN VON SYTHETIC APERTURE-SATELLITEN-RADAR

Untersuchungen zur geologischen Anwendbarkeit

In Radaraufnahmen werden lineare geomorphologische Strukturen, die rechtwinkelig zur Impulsrichtung, d.h. parallel zur Fulgrichtung, orientiert sind, deutlich verstärkt, wohingegen jene, die parallel zu dieser Richtung streichen, nur schwer erkannt werden können. Aus diesem Grunde sind zumindest zwei Aufnahmen mit sich deutlich schneidenden Flugstreifen notwendig,

um genügend Information für die Extraktion aller wesentlichen linearen topographischen Merkmale (Lineamente) zu liefern (YAMAGUCHI 1985).

Unter der Annahme der Abbildungsparameter des zukünftigen europäischen Radarsatelliten ERS-1, Flughöhe 770 km und Erhebungswinkel 23 Grad mid-track, wurden im Rahmen des ESA-Projektes Kontr. Nr. 5443/83/D/IM(SC) von einem Untersuchungsgebiet in Ostsardinien multidirektionale Illuminationen in Intervallen von 22,5 Grad simuliert und ihre Einflüsse auf den Bildinhalt untersucht (RAGGAM et al. 1985). Für das beschränkte untersuchte Arrangement kann festgestellt werden, daß - allerdings nur für den studierten Geländetyp geltend - zwei beliebige unterschiedliche Flugstreifen genügen um alle wesentlichen linearen geomorphologischen Merkmale zu extrahieren. In Gebieten mit nur schwachem Relief und/oder nur undeutlich im Bild manifestierten Lineamenten, die subparallel zur Beleuchtungsrichtung streichen, würden allerdings zwei Flugstreifen mit nur ungefähr 20 Grad Schnitzwinkel unzulänglich sein. Definitivere Angaben über diesen Sachverhalt würden intensivere Untersuchungen mit verschiedenen Terraintypen bedingen.

Weiters wurden im Rahmen der oben erwähnten Studie synthetische Radarbilder generiert um die Diskriminierbarkeit von geologischen Oberflächenklassen in SAR-Daten unter Benützung des von RAGGAM et al. 1985 beschriebenen Konzepts für die Korrektur von der reliefbeeinflussten Grauwertverteilung und für die Verstärkung der thematischen Rückstreuungseigenschaften zu untersuchen.

In dem am Golf von Orsei gelegenen Testgebiet in Sardinien wiesen nur zwei von sechs lithologischen Klassen, nämlich Granodiorite und Malm-Karbonate, genügend deutliche Grauwertunterschiede auf um im Radarbild mit vertretbarer Sicherheit ausgeschieden werden zu können.

TERRESTRISCHE THERMOGRAPHIE-AUFNAHMEN

Ingenieurgeologische Anwendungen im Kraftwerksbau

Die Thermographie, d.h. die Messung der von einem Objekt abgestrahlten Wärmeenergie, wird in den letzten Jahren vermehrt zur Lösung bautechnischer Probleme herangezogen. Im Rahmen einer Zusammenarbeit mit der Kärntner Elektrizitäts-Aktiengesellschaft (KELAG) wurde der Versuch unternommen, den unterirdischen Wasserabfluß im undichten Schüttdamm des Fernspeichers Feldsee (2 212 m) der Kraftwerksgruppe Fragant sowie Unstetigkeiten in der Asphaltwanne des Ausgleichspeichers Wölla derselben Kraftwerksgruppe zu lokalisieren (KIENEGGER 1985). Diese Untersuchungen sollten in der Folge den finanziellen Aufwand für die Abdichtungsarbeiten drastisch reduzieren helfen.

Für die Datenerfassung wurde ein Thermalscanner AGA Thermovision 782 verwendet. Der verwendete Scanner arbeitet mit Wellenlängen zwischen 8 und 14 Micrometern, ein Spektralbereich der sich besonders zur Messung niedriger Temperaturen oder für

Messungen über große Entfernungen eignet. Die auf Diskette abgespeicherten digitalen Thermalbilder wurden zur weiteren Behandlung in ein Bildverarbeitungssystem (RANZINGER) transferiert und sowohl für Feldsee-Damm (13 Teilszenen) als auch für den Speicher Wölla (5 Teilszenen) zu Mosaiken zusammengesetzt. Die Bildgröße der einzelnen Bilder betrug nur 128 x 60 Bildelemente und ermöglichte die Darstellung in einer 512 x 512 Pixel großen Bildschirmzone. Geometrische Korrektur, radiometrische Anpassung der Einzelszenen sowie eine Farbkodierung der Grauwerte gestatten eine optimierte Auswertung der ursprünglichen Helligkeitsunterschiede in Hinsicht auf Temperaturabweichungen.

Im Fall des Ausgleichsbeckens Wölla zeigten die untersuchten Bilder deutliche Temperaturunterschiede, die auf Unstetigkeiten in der Asphaltdecke schließen lassen. Durch genauere Vergleiche mit mittels Standardmethoden gewonnener Meßwerte müßte die Bedeutung der Grauwertunterschiede noch genauer untersucht und geeicht werden. Nach ersten Überprüfungen, die von Mitarbeitern der KELAG durchgeführt wurden, scheint diese Anwendung der Thermographie durchaus erfolgversprechend zu sein.

ZUSAMMENFASSUNG

Einige repräsentative in den letzten Jahren in Österreich durchgeführte Projekte auf dem Gebiet der geologisch-geotechnischen Fernerkundung werden vorgestellt. Anwendungsbeispiele belegen die Einsatzmöglichkeiten für allgemeine geologische Kartierung entlegener Hochgebirgsareale, Kartierung von Gesteinskörpern unter mächtiger Sedimentbedeckung, Erkundung geothermaler Potentials sowie ingenieurgeologische Untersuchungen für Straßen-, Stollen- und Kraftwerksbau. Hierfür wurden Landsat-MSS-Daten, konventionelle Luftbilder, Metric Camera-Photographien und terrestrisch-thermographische Aufnahmen verwendet. Darüber hinaus werden kurz Untersuchungen zur geologischen Anwendbarkeit von Satelliten-Radar-Daten beschrieben.

SUMMARY

Some representative projects in the field of geological/geotechnical remote sensing, which have been carried out in Austria within the last few years, are presented. Examples in general geological mapping of remote high mountain regions, mapping of rock bodies under thick sedimentary cover, reconnaissance of geothermal potential as well as engineering-geological studies for the construction of roads, Stollen and hydropower stations demonstrate various possibilities of application. The data used of these activities were Landsat-MSS, terrestrial thermographs, conventional aerial and Metric Camera photographs. Moreover, investigations for the geological applicability of satellite radar data are briefly described.

LITERATURVERZEICHNIS

- Buchroithner, M.F., 1982: Computer-Aided Evaluation of the Major Fracture Pattern in Austria Derived from Landsat Data. - Jahrb. Geol. Bundesanst., 125, 1-2, S. 219-271, Wien.
- Buchroithner, M.F., 1983: Auswertung von Landsat-Daten im Maßstab 1 : 50 000 in Hinblick auf Lineamente im Raum St. Johann i.P.. Auswertung auf ÖK 1 : 50 000, Blatt Bischofshofen. - Unpubl. Ber., 4 S., und Karte, Österr. Akad. Wiss., Inst. Kartogr., Wien.
- Buchroithner, M.F., 1984a: Karte der Landsat-Bildlineamente von Österreich 1 : 500 000. Mit Erläuterungen, 16 S. - Geol. Themenkarte, Geol. Bundesanst., Wien.
- Buchroithner, M.F., 1984b: Bemerkungen zur geologischen Luftbildauswertung des Raumes Mürzzuschlag - Maria Schutz im Maßstab 1 : 25 000. Karte 1 : 25 000 mit Auswertung. - Unpubl. Ber., 1 S., und Karte, Forsch.ges. Joanneum, Inst. Digit. Bildverarb. u. Graphik, Graz.
- Buchroithner, M.F., 1984c: Geologische Luft- und Satellitenbildauswertung Innere Fragant 1 : 10 000. - Unpubl. Karte, Forsch.ges. Joanneum, Inst. Digit. Bildverarb. u. Graphik, Graz.
- Buchroithner, M.F., 1984d: Geological Mapping of Remote Mountain Regions Using Metric Camera Imagery. Initial Experiences with Photogrammetric Space Images. - Mitt. österr. geol. Ges., 77 (1984), S. 115-149, Wien.
- Buchroithner, M.F., 1985a: Geological Map of the Tirich Mir. Hindu Kush - Pakistan. Scale 1 : 50 000. - Jahrb. Geol. Bundesanst., 128, 4, Wien (in Druck).
- Buchroithner, M.F., 1985b: Geological Mapping of Remote Mountainous Regions Using Metric Camera Imagery. - Proc. Metric Camera Workshop, Oberpfaffenhofen 1985, ESA Spec. Publ. 209, S. 103-108, Paris.
- Buchroithner, M.F. & Gamerith, H., 1985: On the Geology of the Tirich Mir Area, Central Hindu Kush - Pakistan. - Jahrb. Geol. Bundesanst., 128, 4, 25 S., Wien (in Druck).
- Cornelius, H.P., 1936: Geologische Spezialkarte des Bundesstaates Österreich 1 : 75 000. Blatt Mürzzuschlag. - Geol. Bundesanst., Wien.
- Desio, A., Martina, E. & Pasquare, G., 1964: Geological Map of Central Badakshan (Afghanistan). Scale 1 : 150 000. - Univ. Milan, Inst. Geologia, Mailand.
- Ebner, F., Erhart-Schippek, F. & Walach, G., 1985: Erdgasspeicher Oststeiermark. Geologische Vorauswahl. Projekt STE 30. - Forsch.ges. Joanneum, Inst. Umweltgeol. Angew. Geographie, 105 S., Graz.
- Gamerith, H., 1980: Geologische Karte von Gilgit/Chitral/Wakhan (Nordpakistan und Ostafghanistan) 1 : 250 000. - Wien (Eigenverlag).
- Gierloff-Emden, H.G., Dietz, K.R. & Halm, K. 1985: Geographische Bildanalysen von Metric-Camera-Aufnahmen des Space-Shuttle-Fluges STS-91-1. Beiträge zur Fernerkundungskartographie. - Münchener Geogr. Abh., 33, 163 S., München.

- I2S - International Imaging Systems, 1981: User's Manual. System 500. Digital Image Processing System (Version 2.3). - 110 S., Milpitas, Kalifornien.
- Jansa, J., 1983: Rektifizierung von Multispektral-Scanneraufnahmen. Entwicklung und Erprobung eines EDV-Programmes. - Geowiss. Mitt., 24, 106 S., Wien.
- Kienegger, E., 1985: Untersuchungen zur Lokalisierung von undichten Stellen in Schüttdämmen und von Unstetigkeiten in Asphaltdecken mit Hilfe der Thermographie. - Unpubl. Ber., 17 S., Forsch.ges. Joanneum, Inst. Digit. Bildverarb. u. Graphik, Graz.
- Konecny, G., 1984: The Photogrammetric Camera Experiment on Space-lab 1. - Bildmessung u. Luftbildwesen, 52, 3, S. 195-200, Karlsruhe.
- Matura, A., 1981: Die Anwendung der Fernerkundung in der Geologie. - Ber.österr.Symp. Fernerkundung, Wien 1980. - Mitt.Forstl. Bundes-Versuchsanst. 135, S. 61-65, Wien.
- Mirzad, S.H., Michailov, K.I., Manucharants, O.A. et al. (Ed.), 1967: Geological Map of Afghanistan. - Pres. Min. Geol., Kabul.
- Moik, J.G., 1980: Digital Processing of Remotely Sensed Images. - NASA Spec. Publ., 431, 330 S., Washington D.C.
- Nowak, P., 1981: Die Bildverarbeitungsanlage an der Abteilung für Satellitenkartographie. - Mitt. Österr. Geograph.Ges., 123 (1981), S. 12-16, Wien.
- O'Leary, D.W., Friedman, J.D. & Pohn, H.A., 1976: Lineament, Linear, Lination - some Proposed New Standards for Old Terms. - Bull. Geol. Soc. America, 87, S. 1463-1469, Boulder, Colorado.
- Raggam, J., Triebnig, G., Buchroithner, M.F., Domik, G. & Leberl, F.W., 1985: Radargrammetric Aspects of SAR Data Evaluation. - Proc. Workshop SAR Data Applic., Frascati 1985, ESA Spec. Publ., Paris (in Druck).
- Ranzinger, H., 1982 : DIBAG - Ein portables Bildverarbeitungssystem. - In: Mustererkennung und Bildverarbeitung in Österreich (Hrsg. F. Leberl & H. Ranzinger), Schriftenreihe ÖCG, S. 95-107, Graz.
- Tollmann, A., 1977: Die Bruchtektonik Österreichs im Satellitenbild. - N. Jahrb. Geol. Paläont., Abh., 153, 1, S. 1-27, Stuttgart.
- Wolfart, R. & Wittekindt, H., 1980: Geologie von Afghanistan. - 500 S., Berlin - Stuttgart (Borntraeger).
- Yamaguchi, Y., 1985: Image-Scale and Look-Direction Effects on the Detectability of Lineaments in Radar Images. - Remote Sensing of Environment, 17, 2, S. 117-127, New York.

FERNERKUNDUNG UND "GROUND TRUTH"

H. Beissmann

Institut für Kartographie der
Österreichischen Akademie der Wissenschaften

FRAGESTELLUNG

Dieses Referat gibt einen kurzen Überblick über erste Erfahrungen aus der NPOC-Pilotstudie "Application of Thematic-Mapper-Data to Geo-Ecological Mapping in a High-Mountain Region". Dabei soll erprobt werden, ob der Ansatz der überwachten Landnutzungs- oder Erdoberflächenklassifikation für folgende Fragestellungen angewendet werden kann:

- Ist es möglich, mit dem oben genannten Ansatz auch Informationen über die Qualität und die räumliche Verbreitung von Objektklassen zu gewinnen, die nicht die Erdoberfläche formen (z.B. Gestein unter Boden- und Vegetationsbedeckung)?
- Sind die üblichen Objektklassen traditioneller europäischer Verbreitungskarten, die nach der empirisch analytischen Wissenschaftstheorie als theoretische Konstrukte und nicht als direkt beobachtbare Sachverhalte der realen Welt angesehen werden können, überhaupt mit dem fast ausschließlich aus der empirischen Evidenz abgeleiteten Begriff "ground truth" aus dem Umfeld der Erdoberflächenklassifikation vergleichbar? Welche grundsätzlichen Probleme ergeben sich bei der digitalen Überlagerung von den Produkten der abbildenden Fernerkundungsverfahren und bereits vorhandener geowissenschaftlicher Kartierungen?

ZIELSETZUNG UND THEORETISCHE ÜBERLEGUNGEN

Ziel ist es nicht, neue Methoden für Fernerkunder oder erweiterte Anwendungsmöglichkeiten anzubieten, sondern vorhandene Theorien und Methoden der Fernerkundung, der Ökosystemforschung und der Geowissenschaften zu kombinieren und zu testen. Nachstehende Abbildung soll die Zielsetzung verdeutlichen.

darf aber auch nicht übersehen werden, daß diese Kategorien für den innerdisziplinären geowissenschaftlichen Erkenntnisfortschritt nicht immer von Bedeutung sind.

ERWARTBARE ERGEBNISSE

Bei dem Versuch der automatischen Erkennung theoriebezogener Einheiten bieten sich folgende Überlegungen an:

- Der Prozentsatz der korrekten automatischen Erkennung theoriebezogener Einheiten könnte akzeptabel sein, wenn diese auf einer empirisch gehaltvollen Theorie basieren und zugleich die Erdoberfläche bilden. Als Beispiel sei hier der sehr erfolgreiche Versuch der Erkennung von Vegetationsassoziationen (SCHNEIDER et al., 1983) angeführt.
- Der Prozentsatz müßte geringer sein, wenn diese Einheiten auf einer empirisch weniger gehaltvollen Theorie basieren, und/oder nicht die Erdoberfläche bilden, sich aber dennoch durch ihre Auswirkungen auf die vertikal darüberliegenden, sensorexponierten Komplexe aus diesen indirekt erschließen lassen.
- Der Prozentsatz müßte gegen Null konvergieren, wenn solche Einheiten auf empirisch haltlosen Theorien, also entweder Modellplatonismus oder Geophantasie basieren oder wenn sich Fernerkundungsverfahren als eine inadäquate Meßmethode zur Erfassung theoriebezogener Einheiten (relativiert auf eine bestimmte Fragestellung) herausstellen sollten.
- Der Prozentsatz der korrekten automatischen Erkennung wird u.a. auch von der Qualität der geometrischen Lokalisierung der Einheiten in den Kartierungen, von der radiometrischen Qualität der Fernerkundungsdaten, von den verwendeten Klassifikationsmethoden und von der Auswahl der Trainingsgebiete abhängen.

PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG UND FOLGERUNGEN

Für ein Testgebiet oberhalb der Baumgrenze im Bereich des Großglockners wurde versucht, die Objektklassen von verschiedenen thematischen Karten (19 lithologische Einheiten, 12 Bodentypen, 24 Vegetationsassoziationen und 13 Ökotopengefüge) mit Hilfe von unterschiedlichem Fernerkundungsmaterial verschiedener räumlicher und spektraler Auflösung und mit Hilfe eines digitalen Geländemodells automationsgestützt nachzuklassifizieren. Der dafür notwendige registrierte Datensatz wurde am Institut für digitale Bildverarbeitung und Graphik in Graz erstellt.

Der Prozentsatz der richtig klassifizierten Pixel bezogen auf die unmodifizierte "ground truth" der jeweiligen thematischen Karten liegt durchschnittlich bei 40 %, kann aber bei geeigneter Zusammenlegung von Klassen und bei Einführung von Restriktionsbedingungen (z.B. Ausschluß von abgeschatteten Gebieten) teilweise erheblich verbessert bis verdoppelt werden. Besonders interessant war aber die Analyse der fehlklassifizierten Pixel hinsicht-

lich der wahrscheinlichen Arten der oben angeführten Fehlermöglichkeiten.

Als fehleranfällig sind vorerst jene Gebiete eingeschätzt worden, die in den unterschiedlichen thematischen Karten in einander widersprechende Klassen eingereiht werden. Als Beispiel soll hier die teilweise extrem divergierende Abgrenzung der Klasse "Schutt" angeführt werden. Es ist zwar bekannt, daß in der Morphologie ein anderer Schuttbegriff abgegrenzt wird, als etwa in abgedeckten geologischen Karten, daß dies aber auch bei Boden- und Vegetationskundlern oft der Fall ist, kann zumindest als bemerkenswert gelten. Nachstehende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus einer solchen divergierenden Schuttabgrenzung.



- | | |
|-----------------------|------------------------------------|
| Horizontale Schraffen | - Schuttabgrenzung nach Variante a |
| Vertikale Schraffen | - Schuttabgrenzung nach Variante b |
| Kreuzschraffen | - Überdeckung von a und b |

Einige dieser Divergenzen sind ohne Zweifel auf unterschiedliche Fragestellungen und/oder Betrachtungsweisen und Hintergrundtheorien zurückzuführen. Die Nachvollziehbarkeit beider vorgestellter Schuttabgrenzungen mit Hilfe der Fernerkundungsdaten beträgt aber immerhin etwas über 50 %. Es kann aber auch nicht geleugnet werden, daß einige Divergenzen nicht theoretisch erklärt und/oder nicht durch die Fernerkundung empirisch bestätigt werden können. Oft bietet sich auch als Erklärung eine gewisse Großzügigkeit bei der Kartierung an.

Dem ist der Schuttbegriff in abgedeckten geologischen Karten gegenüberzustellen, der zwar theoretisch hinreichend erklärt ist, aber aufgrund seiner heterogenen spektralen Signaturen nicht nachklassifiziert werden kann. Eine wesentliche Verbesserung bringt hier die Aufspaltung des Begriffes in wenigstens drei Teilklassen (heller Schutt, dunkler Schutt, bewachsener Schutt). Letzterer kann nur dann zu einem zufriedenstellenden Prozentsatz automatisch erkannt werden, wenn er verglichen mit den umliegenden Ökotypen eine differenzierende Wirkung im Ökosystem innehat, also wenn er z.B. nicht unter einer mächtigen Sedimentdecke liegt und daher die Ursache für einen trockenen Standort bildet.

Abschließend soll noch erwähnt werden, daß nahezu alle der erwarteten Probleme isoliert und kombiniert aufgetreten sind. Da aber die Nachvollziehbarkeit und die Korrekturmöglichkeit mit Hilfe der Fernerkundungsdaten als durchaus akzeptabel angesehen werden kann, möchte der Verfasser davon den Schluß und die Aufforderung ableiten, daß zumindest für die hier angerissenen Problemfelder einer relativierten "ground truth" alle jene Wissenschaftsdisziplinen, in deren Kompetenz diese Probleme fallen, als gleichberechtigte Partner zum interdisziplinären Erarbeiten der Lösungsansätze anzusehen sind.

ZUSAMMENFASSUNG

Anhand eines über der Baumgrenze gelegenen naturnahen Untersuchungsgebietes wurden die prinzipiellen Probleme bei der Verknüpfung von Produkten abbildender Fernerkundungsverfahren und von verschiedenen geowissenschaftlichen Karten vorgestellt. Mit Hilfe einer Diskriminanzanalyse wurde versucht, die Fernerkundungsdaten hinsichtlich der "ground truth" der thematischen Karten automatisch nachzuklassifizieren und Interpretationsmöglichkeiten an einem Beispiel kurz anzuführen.

Schlüsselwörter: Fernerkundung, "ground truth", thematische Karten.

SUMMARY

The principal problems in combining remotely sensed data with geoscientific maps have been pointed out within a test site above forest level in a high-mountain region. It has been tried to use a computer-aided supervised approach to reclassify the "ground truth" as outlined by the contents of several thematic maps. Some possibilities of interpreting the results have been shown by means of a short example.

Keywords: Remote sensing, "ground truth", thematic maps.

LITERATUR

- Joyce, A.T., 1978: Procedures for Gathering Ground Truth Information for a Supervised approach to a Computer-Implemented Land Cover Classification of Landsat-Acquired Multispectral Scanner Data. NASA Reference Publication 1015, 47 S.
- Mosimann, Th., 1984: Landschaftsökologische Komplexanalyse. Wiesbaden, 115 S.
- Schneider, W. et al., 1982: Rechnerunterstützte objektivierte Vegetationskartierung aus Farb-Infrarot-Luftbildern, dargestellt am Beispiel der Umgebung des Glocknerhauses. In: MaB-Kartenband "Hohe Tauern". Veröffentlichungen des österreichischen MaB-Programms, Band 7, Innsbruck, S. 61-78.

BODENBONITIERUNG MIT FARBINFRAROT-ORTHOPHOTOS

A. Stechauner
NÖ Agrarbezirksbehörde

E I N L E I T U N G

Luftmeßbilder und Scanneraufnahmen werden für Bodeninventuren seit längerem praktisch weltweit verwendet. Besonders wichtig sind diese Aufnahmen in Gebieten, die wenig erschlossen sind und wo nur unzureichendes Kartenmaterial vorliegt. Es handelt sich hiebei vorwiegend um kleinmaßstäbliche Bodenkartierungen im Maßstab 1:100.000, 1:200.000 und kleiner.

Bei der NÖ Agrarbezirksbehörde werden seit Jahrzehnten Schwarzweißluftbilder für Planungsarbeiten bei agrarischen Operationen herangezogen. Seit ein paar Jahren finden praktisch nur mehr Schwarzweißorthophotos im Maßstab 1:10.000 bzw. 1:5.000 Anwendung.

Während des jahrzehntelangen Umganges mit Schwarzweißluftbildern bzw. Orthophotos wurde festgestellt, daß auf den Bildern auch Bodenunterschiede erkennbar sind.

Mit fortschreitender Verbesserung der Technik, die uns Farbfilm, Infrarotfilm und Orthophoto gebracht hat, stellte sich die Frage, ob sich Luftbilder auch als Grundlage für die amtliche Bewertung bei agrarischen Operationen eignen.

Die NÖ Agrarbezirksbehörde hat im Rahmen eines dreistufigen Projektes die Möglichkeit, diese Frage zu untersuchen.

PROBLEMSTELLUNG

Agrarische Operationen sind nur bei gleichzeitigem, radikalem Eingriff in die Eigentumsverhältnisse der betroffenen Parteien bzw. Grundeigentümer durchführbar. Die Feststellung und Bewertung der Bodenverhältnisse ist daher ein integrierender Bestandteil jedes größeren Verfahrens. Hiebei ist ein besonders hoher Genauigkeit sowohl bezüglich der Erfassung als auch der Abgrenzung der Bodenunterschiede erforderlich.

Im Einzelnen sollen Luftbilder bzw. Orthophotos Hinweise auf folgende Fragen liefern, wenn eine Verbesserung der Bodenbewertung erreicht werden soll:

- 1.) Geologie
- 2.) Bodentypen und Bodenformen
- 3.) Qualitätsfaktoren
 - a) Bodenart
 - b) Gründigkeit
 - c) Humusgehalt
 - d) Geländeform
 - e) Wasserverhältnisse u.ä.

TECHNISCH-PHOTOGRAMMETRISCHE FRAGEN UND IHR EINFLUSS AUF DEN ANWENDUNGSBEREICH BODENBEWERTUNG

1.) Luftmeßbild oder Orthophoto?

Photographische Aufnahmen aus der Luft oder aus dem Weltraum liefern je nach angewandeter Technik eine mehr oder weniger naturgetreue Abbildung der Erdoberfläche zu einem bestimmten Zeitpunkt. Die Bilder von der Erdoberfläche variieren je nach Aufnahmezeitpunkt beträchtlich. Weiters liefert die Bodenoberfläche und ihre photographische Abbildung nur einen indirekten Hinweis auf die Bodenverhältnisse, da der innere Bodenaufbau bis in den Untergrund entscheidend ist. Es war somit von Anfang an klar, daß Luftbilder und Orthophotos nur in Verbindung mit einer mehr oder minder großen Anzahl von Bodenproben ausgewertet werden können.

Wegen der geforderten hohen Lagegenauigkeit kommen für die Bodenbewertung bei agrarischen Operationen praktisch nur Orthophotos in Frage. Es muß nämlich dem Boniteur möglich sein, durch einfache Maßbandmessung jeden Punkt in der Natur auch auf dem Luftbild zu identifizieren. Das ist aber nur mit dem maßstabgerechten Orthophoto möglich.

2.) Aufnahmezeitpunkt

- a) indirekte Bodenbewertung über die verschiedenen Vitalitätsgrade der Vegetation.
Bester Zeitpunkt ist gegeben, wenn die Getreidekulturen auf den schlechten Böden abzusterben beginnen, etwa Ende Juli - Anfang August.
- b) Luftbilddaufnahme des nackten Bodens, ohne Vegetation und Pflanzenrückstände.
Mögliche Termine sind gegeben im zeitigen Frühjahr vor oder bei Vegetationsbeginn etwa im März oder im Herbst nach dem Stoppelsturz auf den Getreidefeldern etwa im Oktober.

Der Frühjahrsbeginn ist besser geeignet, da Bodenbedeckung und Kultivierungsunterschiede weniger störend wirken.

Wesentlich für die Aussagekraft der Luftbilder sind aber auch die jeweiligen Feuchtigkeitsverhältnisse zum Aufnahmezeitpunkt, wodurch sich die extremen Bodenarten wie Sand und Schotter unterschiedlich darstellen.

3.) Filmmaterial

- a) panchromatischer Schwarzweißfilm
- b) Farbfilm
- c) Farbinfrarotfilm

Die Brauchbarkeit der drei genannten Filmmaterialien ergibt sich aus den verschiedenen erfaßbaren Frequenzbereichen.

Für die indirekte Bodenbewertung über die Vegetation im Sommer hat der Farbinfrarotfilm absoluten Vorrang, da die unterschiedliche Vitalität der Pflanzen im nahen Infrarotbereich besonders deutlich hervortritt. Die Farben der nackten Bodenoberfläche, die nur eine geringe Infrarotstrahlung hat, werden im Farbinfrarotfilm durch alle Blaugrünschattierungen zwischen schwarz und weiß wiedergegeben. Im außerhalb des nahen Infrarot liegenden Frequenzbereiche ähneln daher die Farbinfrarotbilder den Schwarzweißbildern. Der Farbinfrarotfilm liefert aber mehr Information als der Schwarzweißfilm, da das Rot den Störfaktor Vegetation anzeigt. Der Farbfilm gibt den ganzen sichtbaren Frequenzbereich wieder, also auch die braunen, gelben und roten Bodenfarben, die für die Bodenbeurteilung ebenfalls interessant sind. Wegen der Streuwirkung der Luft im blauen Frequenzbereich liefert aber der Farbfilm unschärfere Bilder als der Farbinfrarotfilm.

Nach den bisher gemachten Erfahrungen ist der Infrarotfilm dem Farbfilm nur dann überlegen, wenn gute Aufnahmen vorliegen.

4.) Das Höhenmodell

- a) Höhenlinien
- b) Linien gleicher Neigung (Gefällsstufenkarte)

Höhenraster 20 x 20 m

Höhenlinienabstand 2,5 m

Das Höhenmodell und daraus abgeleitet der Höhenplan konnte soweit vervollkommen werden, daß an jeder Stelle des Orthophotos Inklination und Exposition und absolute Höhe genügend genau abgelesen werden können. Der Neigungsfehler beträgt rd. 2 %.

Die genaue Feststellung der Neignungsverhältnisse ist nicht nur für die Bodenklassifizierung wichtig (wegen der Bearbeitungserschwernisse), sondern auch Voraussetzung für die Erstellung von Erosionskarten, die vom ökologischen Standpunkt eine wichtige Grundlage für die Beurteilung der tragbaren Ackerrichtungen und Ackerlängen darstellen.

5.) Die Maßstabsfrage

Der Maßstab ist einerseits eine Geldfrage und andererseits eine Frage der praktischen Anwendbarkeit.

Folgende Maßstäbe stellen einen annehmbaren Kompromiß für die Bewertungspraxis dar:

Luftbilder	Stereo-Orthophoto- diapositive	Papierkopien
1:12.000 - 15.000	1:5.000	1:2.500 1:3.000

Vorteile:

- relativ billig
- Auflösung ausreichend
- großer Überblick
- genügend Platz für Eintragungen auf den Papierkopien
- ausreichende Handlichkeit.

6.) Orthophoto und Kataster

Wie sich in der Praxis gezeigt hat, sind die Abweichungen und Spannungen zwischen dem Naturstand, den das Orthophoto wiedergibt, und den Katasterkarten doch so groß, daß das Katasterlinienment nicht direkt zusammen mit dem Orthophoto kopiert werden kann. Orthophotos mit Katasterlinienment wären für die praktische Feldarbeit bei der Bodenbewertung dann wichtig, wenn die Ackergrenzen als Orientierungshilfe am Orthophoto nicht oder nicht deutlich sichtbar sind. Für eine durchgehende automatische Anwendung der IGG-Software vom alten in den neuen Besitzstand wäre das ebenfalls erforderlich.

BISHERIGE INTERPRETATIONSERGEBNISSE

Es können auf den Frühjahrsluftbildern von Mistelbach, die zur Zeit der beginnenden Oberflächenabtrocknung gemacht wurden, die tertiären Ablagerungen vom Löß recht gut unterschieden werden. Die tertiären Ablagerungen weisen einen starken Wechsel der Lockersedimente Mergel, Ton, Sand und Schotter auf und heben sich durch besonders unruhige Farbverteilung von den Lößdecken ab, die sich auf Grund der einheitlichen Struktur großflächig einförmig und mit relativ gleichmäßiger Farbverteilung darstellen. Extreme Sand- und Schotterstellen treten durch fast weiße Flecken hervor.

Die Luftbilder von Schletz zeigen auf Grund der gleichförmigen Trockenheit zum Aufnahmezeitpunkt keine deutlichen Hinweise auf die vorhandenen geologischen Unterschiede und Extrembodenarten.

Die beginnende Abtrocknung der Bodenoberfläche kann sich bei feuchten Böden auch als Störfaktor auswirken, da sie auch von der Grobstruktur der Bodenoberfläche, von der Exposition und Lage (windausgesetzt) abhängt.

Auf den Luftbildern von Mistelbach sind die Zonen der Tschernoseme und Braunerden von den Zonen der Pararendsinen und Rohböden gut unterscheidbar. Braunerden haben in der Regel je nach Humusgehalt hellere Farben als die Tschernoseme, sind aber von diesen schwer zu unterscheiden. Bei den Rohböden und Pararendsinen handelt es sich um schwachhumose Bodentypen, deren Bodenbildung vielfach durch Bodenabtrag im hängigen Gelände gestört ist. Sie zeigen in den Luftbildern besonders helle Farben.

Eine Abgrenzung der Pelosole ist bisher auf den Infrarotbildern nicht möglich. Schwemmböden finden sich im Bereich der Bäche in tieferer Lage. Sie sind auf den Orthophotos durch die Geländegestaltung und anderen Farbtonungen von den angrenzenden Böden abgrenzbar.

Auf den Luftbildern von Schletz sind Pararendsinen und Lößrohböden von den Braunerden und Braunlehen gut unterscheidbar.

Die Identifizierung der Bodenart gehört zum schwierigsten Kapitel der Luftbilddauswertung. Der Zusammenhang, der oft zwischen Struktur und Farbe der Bodenoberfläche und Bodenart gegeben ist, kommt in den Infrarotbildern nicht zum Ausdruck, da die verschiedenen Blaugrünschattierungen nicht nur von der Eigenfarbe des Bodens sondern auch von verschiedenem Humusgehalt herrühren können. Höherer Humusgehalt zeigt sich in der Regel durch dunklere Farbgebung auf den Luftbildern. In Gebieten mit relativ gleicher Bodenart, wie z.B. bei Lößböden, ist auf den Infrarotorthophotos ein sehr genaues Klassifikationsergebnis erzielbar.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen eines Forschungsprogrammes wird u.a. von der NÖ Agrarbezirksbehörde überprüft, ob durch Auswertung von Infrarotorthophotos bei der Bodenbewertung für agrarische Operationen eine Qualitätsverbesserung erzielt werden kann. Bisher fanden 3 Bildflüge mit Farbinfrarotfilm bzw. Farbfilm statt. Die Bildmaßstäbe betrugen 1:8000, 1:10.000 und 1:16.000, die Maßstäbe der Orthophotos 1:5000 und 1:2880.

Auf Grund bisher gemachter Erfahrungen kann folgendes gesagt werden:

Die Bildinhalte von Stereorthophotos gehen weit über die einer normalen Katasterkarte hinaus. Papierkopien von Orthophotos mit Höhenlinien und Parzellenlinienment erlauben auf einfache Weise eine genaue Lagebestimmung auf dem Felde. Die Aussagekraft der Luftbilder hinsichtlich Bodenverhältnisse hängt ab vom Zeitpunkt der Luftbilddaufnahmen und von den herrschenden Feuchtigkeitsverhältnissen. Relativ gute Hinweise sind über die großräumige Verteilung von Bodenzonen, Bodenformen und Bodentypen zu erwarten.

Geologische Zusammenhänge sind unter günstigen Aufnahmebedingungen erkennbar.

Bei großflächig gleichförmigen Bodenzonen sind Einsparungen von Bohrproben und eine Verbesserung der Abgrenzung möglich. Bei stärkerem Bodenwechsel kann das Orthophoto eine engmaschige Detailbewertung nicht ersetzen.

Wien, 10. Okt. 1985

FLÄCHENBILANZ FÜR ÖSTERREICH

ERHEBUNG DER BODENNUTZUNGSARTEN AUS LUFTBILDERN (x)

Theodor QUENDLER, Österreichisches Institut für Raumplanung, Wien
Rainer KALLIANY, Technische Universität, Wien
Raimund SCHLEDERER, Österreichisches Institut für Raumplanung, Wien

Z u s a m m e n f a s s u n g

Die Prüfung der Einsatzmöglichkeiten der Luftbildauswertung bei der Neuerfassung und Nachführung der Bodennutzungsdaten - in drei Testgebieten mit gänzlich unterschiedlichen naturräumlichen Gegebenheiten und unter Verwendung von verschiedenen Luftbildmaterial - ergab ein überwiegend positives Ergebnis. Der vorgeschlagene neue Gliederungsentwurf für die Benützungsorten hat sich als geeignet erwiesen, zumindest insoweit, als er sich auf die nicht bebauten Gebiete bezieht. Vom Standpunkt der Nutzungsartenfeststellung zeigt sich, daß in vielen Fällen (relativ einheitliche Nutzung und keine zersplitterte Feldflur) mit relativ kleinmaßstäblichen Luftbildern (Maßstab um 1:30.000) gearbeitet werden kann, vor allem wenn sie als Diapositiv zur Verfügung stehen und wenn die Interpretationsergebnisse direkt in die entsprechenden Mappenblätter übertragen werden ("Orientierungs- und Interpretationshilfe").

Bei kleinteiliger Feldflur sind Aufnahmen mit größeren Maßstäben (um 1:18.000) allerdings erheblich günstiger, insbesondere in Gebieten mit Wein- und Obstbau und anderen Sonderkulturen. Die genaue Unterscheidung zwischen diesen Kulturen kann aber dennoch Schwierigkeiten bereiten (Entwicklungsstand der Kulturen). Falschfarbeninfrarotaufnahmen im Maßstab 1:16.000 (Weingartenflug 1980) erwiesen sich als besonders geeignet, konnten das Unterscheidungsproblem zwischen den modernen Spalierobst- und Weinbaukulturen letztlich aber nicht zur Gänze lösen.

Die Interpretationsprobleme, die sich allerdings auf wenige Einzelfälle beschränkten, konnten im Zuge der nachfolgenden terrestrischen Überprüfung geklärt werden. Auch die Überführung der Interpretationsergebnisse in die simulierte Grundstücksdatenbank und die Auswertung mit Hilfe eines ADV-Programms verlief problemlos.

- (x) Dem Referat liegt ein vom Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung gefördertes Forschungsprojekt zugrunde, das in Zusammenarbeit zwischen der Österreichischen Vereinigung für Agrarwissenschaftliche Forschung, dem Institut für Photogrammetrie der Technischen Universität Wien und dem Österreichischen Institut für Raumplanung durchgeführt wurde.

S u m m a r y

The possibilities to use the visual photo interpretation for registration and up-dating land use data were tested in three areas with completely different natural conditions by using different aerial photo materials. The result was mainly positiv. The proposed structure for land use categories proved to be convenient, at least as far as non built-up areas were concerned. To find out the kind of use, in most of the cases (rather homogeneous use and not splintered fields) relatively small scaled photos (appr. 1:30.000) were often sufficient, if slides could be used and if the results were directly listed in the respective map sheets ("orientation and interpretation aid"). In case of fragmentated farmland photos of large scale (appr. 1:18.000) are much better, often in areas with vine- and fruit-growing and other special cultivations. Nevertheless it can be difficult to discern exactly these cultivations (stages of vegetation development).

Infrared coloured photos, scale 1:16.000 (vineyard records 1980) proved to be very apt, but could not solve definitely the problems of differenciation between fan-trained fruit and vine-growing cultivation. The observed interpretation problems, which occurred only in few cases, could be solved by local examinations. There were no problems to list the results in the simulated real estate data bank and to analyse them with computer (EDP) assistance.

1. Z u r E i n f ü h r u n g

Anlässlich eines Experten-Hearings des Verbandes der Österreichischen Garten- und Landschaftsarchitekten zum Thema "Landschaft im Konkurs" wurde darauf hingewiesen, daß in der Dekade 1969/79 hinsichtlich der landwirtschaftlichen Nutzfläche ein Flächenverlust von 246.000 ha eingetreten ist; das entspricht 6,3% der Fläche zum Ausgangszeitpunkt. Dieser Verlust geht außer auf die Zunahme der Brachfläche (+77.000 ha) und der Waldfläche (+76.000 ha) in erheblichem Maße auch auf die Zunahme der sogenannten unproduktiven Fläche im Ausmaß von 93.000 ha zurück. Obwohl die Datensituation hinsichtlich der Bodennutzungsänderungen keine absolut gesicherten Aussagen zulassen, wurde davon ausgegangen, daß die Zunahme der unproduktiven Fläche annähernd der Flächeninanspruchnahme durch Siedlungsentwicklung und Verkehrsausbau entsprechen dürfte; d.h., der dadurch bedingte Landschaftsverbrauch in diesem Zeitraum wird mit 25 Hektar täglich angenommen (vgl. SCHINDEGGER, 1985).

Es kann in diesem Rahmen nicht weiter auf diese Problematik eingegangen werden. Hier ist vielmehr festzuhalten, daß in einer wichtigen Frage unserer Gesellschaft nur sehr unzureichende Informationsgrundlagen zur Verfügung stehen, sodaß darüber nur äußerst unzulängliche und vage Aussagen möglich sind. Vor allem angesichts der Verschärfung der Umweltprobleme bzw. der Verknappung der natürlichen Lebensgrundlagen steigt auch der Bedarf an Informationen über Bodennutzung und Bodennutzungsänderungen. Dem gestiegenen Informationsbedürfnis kommen andererseits die Entwicklungen in der Dokumentations- und Informationstechnik (Datenerfassung, Datenorganisation und -speicherung, Datenbereitstellung und -nutzung) entgegen. Ebenso wie in anderen Bereichen von Wissenschaft und Forschung stehen wir auch hinsichtlich der bodenbezogenen Daten vor weitreichenden Umstellungen. Der Forschungsbericht, dessen Hauptergebnisse nachstehend kurz vorgestellt werden, soll einen Beitrag zu dieser Umstellung leisten.

2. Zum Begriff "Flächenbilanz"

Angesichts des vielfältigen Bedarfs an besseren Informationen über den Boden, seine Merkmale und Eigenschaften gibt es geradezu eine Konjunktur in der Befassung mit dem Problembereich von geeigneten Land- bzw. Bodeninformationssystemen. Dabei finden beispielsweise auch Begriffe wie *I n v e n t u r* und *B i l a n z*, die der Buchhaltung bzw. dem betrieblichen Rechnungswesen entlehnt sind, Verwendung. Diese Begriffe sind relativ eindeutig und allgemein verständlich, so daß deren Gebrauch in Bezug auf Bodennutzung und Bodennutzungsänderungen durchaus sinnvoll ist. Um den Begriff *F l ä c h e n b i l a n z* im Zusammenhang mit der hier gestellten Aufgabe klarzustellen, seien nachstehend zwei Definitionen angeführt:

- a) H. SPITZER (1975) hat in seinem Buch "Regionale Landwirtschaft" diesen Begriff folgendermaßen umschrieben:

"Wenn es gilt, Bilanz über den Umfang des Potentials unseres Lebensraumes zu machen, dann hat die Beobachtung der Flächenbeanspruchung dabei Vorrang. Das geschieht durch Flächenbilanzen. Mit ihnen wird der Umfang der Flächen-, Kultur- oder Anbauarten zu zwei bestimmten Zeitpunkten miteinander verglichen (gegeneinander aufgewogen = bilanziert), wobei sich auch deren Zusammenhang ergibt."

- b) F. FISCHLER (1978), der über den Problembereich "Flächenbilanz" an der Universität für Bodenkultur dissertierte, gibt eingeschränkt auf den Standpunkt der Land- und Forstwirtschaft folgende Charakterisierung:

"Unter Flächenbilanzierung wird jenes Informationssystem verstanden, das vom Standpunkt der Landwirtschaft aus eine Struktur- und Prozeßanalyse des gesamten Lebensraumes ermöglicht."

Definitionsgemäß stehen bei dem Begriff *F l ä c h e n b i l a n z* Nutzungsänderungen in bestimmten Zeiträumen im Vordergrund. Bei dem Begriff *B o d e n i n v e n t u r*, der ebenfalls verschiedentlich gebräuchlich ist, liegt das Schwergewicht hingegen in der Erfassung und Darstellung der Nutzungsverhältnisse zu einem bestimmten Zeitpunkt.

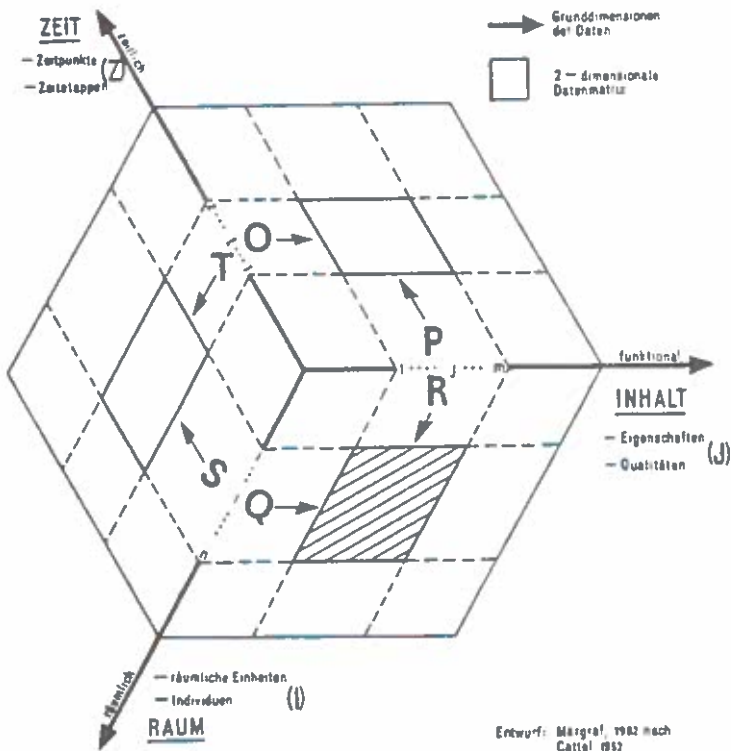
Aus dieser Definition ergeben sich für die entsprechenden Informationsgrundlagen einige Anforderungen, die an Hand der drei Dimensionen eines "Datenquaders" gut dargestellt werden können (Übersicht 1). Dem Modell liegen folgende drei Grunddimensionen zur Charakterisierung von Informationsinhalten zugrunde:

- die *i n h a l t l i c h - s a c h l i c h e* Dimension, repräsentiert durch Eigenschaften, Qualitäten etc.;
- die *i n d i v i d u e l l - r ä u m l i c h e* Dimension, repräsentiert durch Individuen, räumliche Einheiten etc.;
- die *z e i t l i c h e* Dimension, repräsentiert durch Zeitpunkte oder Zeitetappen etc.

Diese drei Grunddimensionen dienen im Rahmen von räumlichen Informationssystemen als Ordnungsmerkmale zur Strukturierung und Differenzierung der Einzelinformationen (Präzisierung, Spezifizierung, Konkretisierung etc.). Durch das Attribut "räumliches" Informationssystem wird, wie MARGRAF (1985) feststellt, der räumlichen Dimension die Dominanz zugesprochen. Dabei sollen folglich Informationen über räumliche Einheiten erfaßt, gespeichert und verarbeitet werden, wobei das räumliche Bezugssystem bestimmend wird für die Speicherstruktur (räumliche Adressierbarkeit).

Übersicht 1

Ein Daten-Methoden-Modell für räumliche Informationssysteme



Quelle: MARGRAF, O. (1985); a.a. O., S. 29

3. Derzeit verfügbare Datengrundlagen und deren Probleme

Nach dieser kurzen theoretischen Grundlegung sind einige Ausführungen zu den derzeit verfügbaren Datengrundlagen und deren Problemen notwendig. Obwohl es derzeit auch verschiedene andere Ansatzpunkte hinsichtlich räumlicher Informationssysteme (1) gibt, wollen wir uns in diesem Rahmen auf die in Österreich eingeführten und bisher maßgeblichen Datenquellen, die Bodennutzungssstatistik des Österreichischen Statistischen Zentralamtes und die Grundstücksdatenbank des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen, beschränken. Bei beiden handelt es sich um gesamtösterreichische Informationssysteme, die in den Grundzügen der oben dargestellten idealisierten Konzeption entsprechen.

Vom Standpunkt des Benutzers gibt es jedoch bei beiden Systemen gravierende Mängel, so daß es, wie bereits in der Einleitung festgestellt wurde, außerordentlich schwierig ist, daraus verlässliche regional differenzierte Angaben über Bodennutzung und Bodennutzungsänderungen abzuleiten. Bei der Bodennutzungssstatistik, bei der die Daten betriebsbezogen erfaßt werden ("Wirtschaftsprinzip"), ist es durch die sogenannten Überland- bzw. Ausmäkerflächen kaum möglich, vor allem für die Gemeindegebiete genauere Flächenangaben zu machen. Zusätzlich gibt es berechtigte Zweifel dahingehend, daß eingetretene, aber wenig augenfällige Nutzungsänderungen bei der statistischen Erhebung wirklich mit hinreichender Genauigkeit erfaßt werden können.

Die Grundstücksdatenbank, bei der im Zusammenhang mit Grundbuch und Kataster der Boden parzellenweise erfaßt ist, bietet hinsichtlich der exakten räumlichen Erfassung wesentlich bessere Voraussetzungen. Sie stellt damit auch eine gute Grundlage für ein modernes Grundstücksinformationssystem dar, das räumlich vielfältige Erweiterungsmöglichkeiten auf verschiedenen Aggregationsebenen, gleichzeitig aber auch vielfältige Verknüpfungsmöglichkeiten bietet. Abgesehen von der notwendigen Präzisierung der entsprechenden Schnittpunkte sind diesbezüglich aber auch Verbesserungen in Bezug auf die Basisdaten notwendig. Im Zusammenhang mit dem Forschungsprojekt "Flächenbilanz für Österreich" standen die qualitativen Merkmale wie Benützungsarten und Datenaktualität im Vordergrund. Obwohl der Schwerpunkt des Projektes ursprünglich im Bereich der Energie- und Rohstoffforschung lag, hat sich die Verbesserung der entsprechenden Datenbasis bald als ein wichtiger Nebenaspekt herauskristallisiert. Das Interesse des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen an dem Projekt hat diesen Nebenaspekt zusätzlich verstärkt.

Angesichts dieser Situation, standen in der zweiten Stufe des Forschungsprojektes im Hinblick auf die notwendige Verbesserung dieser Datengrundlagen folgende Aufgaben im Vordergrund:

- (1) Erprobung der Luftbilddauswertung im Hinblick auf die Neuerfassung und Nachführung der Bodennutzungsdaten der Grundstücksdatenbank;
- (2) Neufestlegung der Benützungsarten der Grundstücksdatenbank, vor allem hinsichtlich der spezifischen Erfordernisse der Produktionspotential-schätzung;

- (3) Prüfung der Voraussetzungen und Möglichkeiten zur Neuerfassung der Bodennutzungsdaten unter Berücksichtigung der gegebenen organisatorischen bzw. institutionellen Rahmenbedingungen.

Der entsprechende Modellversuch wurde in drei hinsichtlich der Bodennutzung unterschiedlich strukturierten Testgebieten durchgeführt (Gedersdorf bei Krems/Donau, Schachendorf, Bgld., St. Georgen ob Murau).

4. Modellversuch hinsichtlich Revision von Grundstücksdaten mit Hilfe der Luftbildinterpretation

Arbeitsunterlagen:

Für die Durchführung des Vorhabens standen an Arbeitsunterlagen zur Verfügung:

- o Daten der Grundstücksdatenbank für die drei Testgebiete ("simulierte Grundstücksdatenbank");
- o Katastermappen, teils umgebildet auf den Maßstab 1:5.000, teils im Maßstab 1:5.760;
- o Bildmaterial aus verschiedenen Luftbildflügen (vgl. Übersicht 2)

Übersicht 2

Kurzbeschreibung des verwendeten Luftbildmaterials

Testgebiet	Flugbezeichnung	Datum	Bildmaßstab	Film	Arbeitskopien
GEDERSDORF	1) Revision OK 37-38	12.04.81	ca. 1:32.000	SW(neg.)	Papier, Dia
	2) Revision OK 37-38	04.05.73 20.06.73	ca. 1:18.000	SW(neg.)	Papier, Dia
	3) Weingarten 63/14	01.07.80	ca. 1:16.000	Farb-IR	Original-Dia
	4) Orthofoto 7137-102 {aus Flug "Krems 77"}	21.04.77	1:10.000	SW(neg.)	Papier
SCHACHENDORF	5) Revision OK 138,168, 194	01.06.82	ca. 1:34.000	SW(neg.)	Papier, Dia
	6) Revision OK 138	19.10.74	ca. 1:19.000	SW(neg.)	Papier
ST.GEORGEN OB MURAU	7) Bodendorf	17.09.82	ca. 1:20.000 bis 1:30.000	SW(neg.)	Papier

Vorschlag für die Neufestlegung der Benützungsarten der Grundstücksdatenbank:

Eine erste Aufgabe des Forschungsprojektes bestand in der Erarbeitung eines Vorschlages für die Neufassung der Benützungsarten (s. o.), wobei sowohl das vielfältige Anforderungsspektrum, als auch die Vergleichsmöglichkeiten mit den derzeit geltenden Benützungsarten der Grundstücksdatenbank bzw. den Kulturarten der amtlichen Statistik soweit als möglich Berücksichtigung finden mußten. Zusätzlich war auf die Möglichkeiten der Luftbildinterpretation bedacht zu nehmen. Ausgehend von einigen vorliegenden Beispielen (vor allem aus der Bundesrepublik Deutschland und der Schweiz wurde ein Vorschlag für einen neuen Benützungsartenkatalog erarbeitet, bei dem die mehr als 50 Einzelkategorien zu sechs Hauptgruppen und mehr als 20 Subgruppen zusammengefaßt wurden (Übersicht 3). Der Vorschlag für die Neufassung der Benützungsarten berücksichtigt - abweichend von den sonstigen Bearbeitungsschritten - auch das Siedlungs- bzw. das verbaute Gebiet, um so zu einem umfassenden konsistenten Vorschlag zu kommen. Bei den übrigen Bearbeitungen blieb das Siedlungs- bzw. verbaute Gebiet dagegen ausgeklammert, da bei diesen mit größeren Maßstäben gearbeitet werden muß; überdies läuft seitens des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen diesbezüglich ein gesonderter Modellversuch. Der vorliegende Benützungsartenkatalog gilt allerdings nur als ein erster Vorschlag, der noch der Abstimmung mit verschiedenen Verwaltungsstellen und anderen wichtigen Benutzergruppen bedarf.

Problembereiche und Erfahrungen bei der Nutzungsartenfeststellung aus Luftbildern

Bei der (visuellen) Luftbildauswertung hinsichtlich der aktuellen Bodennutzung hat sich die simultane Verwendung von Mappenblättern und Luftbildmodellen am besten bewährt (mittels Stereograph oder Stereoskop). Die Parzellengrenzen der Katastermappe (Parzellen bzw. Benützungsabschnitte) und die entsprechenden Nutzungshinweise bieten zum plastischen Luftbildmodell, das die aktuelle Nutzung wiedergibt, zusätzliche Orientierungs- und Interpretationshilfen, die die Auswertegenauigkeit erheblich verbessern können. Die Übertragung der auf diese Weise aktualisierten Benützungsarten in die simulierte Grundstücksdatenbank bereitete keinerlei Probleme.

Nach den Erfahrungen bei der Luftbildauswertung hinsichtlich der Bodennutzung in den drei Testgebieten ergeben sich, um schon vor der abschließenden terrestrischen Verifizierung zu einem optimalen Ergebnis zu gelangen, folgende Forderungen:

- (1) Die zu erfassenden Nutzungskategorien müssen genau definiert und untereinander möglichst exakt abgrenzbar sein.
- (2) Der Interpretationsschlüssel muß regional, dem Aufnahmezeitpunkt, dem Maßstab und dem geforderten Detaillierungsgrad angepaßt sein.
- (3) Zu diesem Zweck ist eine Mindestkenntnis der regionalen Verhältnisse, aber auch die Bereitschaft erforderlich, Erfahrungswerte jederzeit zu relativieren und neuen Gegebenheiten anzupassen.

Übersicht 3

Vorschlag für die Neufassung der Benützungsarten der Grundstücksdatenbank – Haupt- und Subgruppen

Code-Nr.	Benützungsarten
1.	Siedlungsflächen
1.1	Bauland
1.2	Freiflächen im Siedlungsgebiet
2.	Verkehrsflächen
2.1	Straßen, Wege außerhalb geschlossener Siedlungen
2.2	Gassen, Plätze, Ortsraum
2.3	Bahngrund
2.4	Flugplätze
2.5	Hafenanlagen, Länden
3.	Landwirtschaftliche Nutzflächen
3.1	Ackerland
3.2	Erwerbsgartenflächen
3.3	Obstbauflächen
3.4	Weinbauflächen
3.5	Grünland (ohne alpines Grünland)
3.6	Alpines Grünland (Almen, Bergmähder)
3.7	Unbewirtschaftete Flächen (Brachflächen etc.)
4.	Forstwirtschaftliche Nutzflächen
4.1	Wald ohne behördlich erklärte Vorrangfunktion
4.2	Wald mit behördlich erklärter Vorrangfunktion
4.3	Forstgärten, Samenplantagen und Christbaumkulturen auf Waldboden
4.4	Dauernd unbestockte Waldflächen (Bringungsanlagen, Holzlagerplätze, Waldschneisen etc.)
4.5	Flurgehölz (Baumreihen und kleinstflächige Baumgruppen unter 500 m ²)
5.	Gewässer
5.1	Fließgewässer
5.2	Stehende Gewässer
6.	Sonstige Flächen
6.1	Abbauland, Deponien (Ödland)
6.2	Feuchtgebiete, Sumpf- und Moorflächen
6.3	Unproduktive Flächen (Fels, Eis und anderes Unland)

a) Maßstab und Erkennungsgenauigkeit

Die Erhebung der Bodennutzung aus Luftbildern ist bei Vorhandensein geeigneter Luftbilder weitgehend problemlos, seitens der Interpreten sind allerdings Einfühlungsvermögen und Erfahrung notwendig. Für die Katasternachführung genügen vielfach sogar Luftbilder im Maßstab um 1:30.000 als Diapositiv, vor allem bei nicht zu stark zersplitterter Flur und relativ einheitlicher Nutzung. Sind Aufnahmen im größeren Maßstab (ca. 1:18.000) vorhanden, sind sie natürlich zu bevorzugen, insbesondere in Gebieten mit Wein- und Obstbau bzw. anderen Sonderkulturen. Schwierigkeiten können in diesen Fällen allerdings dadurch auftreten, daß in Zeiten geringer oder überhaupt fehlender Belaubung die Interpretation durch Überstrahlung erschwert wird.

b) Aufnahmezeitpunkt

Neben der äußeren Form von Objekten (hier der Grundstücke) sind Textur und Grautönung im (Schwarzweiß-)Luftbild die wichtigsten Faktoren bei der Interpretation, die sich im Laufe einer Vegetationsperiode – je nach Nutzung – allerdings erheblich verändern können. Je nach Flugzeitpunkt sind die verschiedenen Nutzungsarten folglich sehr unterschiedlich und oftmals durch stark abweichende Merkmalskombinationen zu erkennen, sodaß jeweils räumlich und zeitlich sehr spezifische Interpretationsschlüssel notwendig sind. Daraus folgt aber auch, daß verschiedene Nutzungen nur zu bestimmten Zeitpunkten optimal interpretiert werden können. Da in der Regel keine Bildflüge durchgeführt werden, die ausschließlich die Feststellung spezieller Nutzungsverhältnisse zum Ziel haben (Ausnahme: Weingartenflug), sondern routinemäßig zu Zwecken der allgemeinen Landesaufnahme geflogen werden, kann dies für die Eignung des Luftbildmaterials wesentlich sein.

Bei dem Modellversuch wurde folglich auch die Erfahrung gemacht, daß für die Unterscheidung zwischen Wein- und Ackerland ein Frühjahrsflug (März – Mai) eher ungünstig ist, vor allem im kleinen Maßstab, ein Aufnahmezeitpunkt im Sommer bzw. Früherbst (Juli – September), wenn die Belaubung der Reben voll ausgebildet ist, hingegen am besten sein dürfte. Die Unterscheidung zwischen Grünland und Ackerland stellte zu keinem der vorliegenden Aufnahmezeitpunkte – außer im alpinen Bereich – ein Problem dar. Im Bergland (Testgebiet St. Georgen ob Murau) bereitet die Unterscheidung während der Hauptwachstumsperiode z. T. Schwierigkeiten, insbesondere bei Feldfutter bzw. dann, wenn der Reifezeitpunkt des Getreides bzw. die Zeitpunkte der Ernte und verschiedener Kulturmaßnahmen bei anderen Feldfrüchten nicht bekannt sind. Daher dürften dort zeitige Frühjahrsflüge (März – April) und späte Herbstflüge (Oktober – November) am geeignetsten sein.

c) Einblickswinkel

Der Einblickswinkel auf die Erdoberfläche wird nicht nur determiniert durch die Kammerkonstante (Brennweite der Objektive) und Flughöhe, sondern ganz maßgeblich auch vom Relief bzw. der Geländeform. Dies kommt vor allem im Gebirge bei größeren Hangneigungen und im Randbereich der einzelnen Luftbilder bzw. Luftbildmodelle zum Tragen und äußert sich bei flachwinkeligem Auftreffen der Sehstrahlen auf die Erdoberfläche als scheinbare Flächenverkleinerung bzw. Streckenverkürzung. In diesem Fall wird bei bestockten Flächen ein dichter Bewuchs, als tatsächlich vorhanden, vorgetäuscht, was unter Umständen zu falschen Klassifizierungen führen kann. Dasselbe gilt für den Sonnenstand: Bei flach einfallender Beleuchtung erzeugen hohe Bäume beachtliche Schlagschatten, was den oben beschriebenen Effekt noch verstärken kann. Probleme mit dem Sichtwinkel ergeben sich auch

dadurch, daß Forstwege und -straßen im Wald dadurch oft "unsichtbar" werden (teilweise auch durch Kronenschluß bedingt) und Buschraine und Flurgehölze flächengrößer eingeschätzt werden.

d) Gebietskenntnis, terrestrische Verifizierung

Einen wichtigen Faktor und eine wesentliche Hilfe bei der Interpretation stellt die Gebietskenntnis des Auswertenden dar. Je umfangreicher die geographischen, sozio-kulturellen, wirtschaftlichen und - im speziellen Fall - auch landwirtschaftlichen Kenntnisse und Erfahrungen über den vorliegenden Raum sind, desto leichter fällt die Arbeit und desto genauer wird auch das Ergebnis der Auswertung ausfallen. Handelt es sich um ein dem Bearbeiter völlig unbekanntes Gebiet, ist eine Vorauserkundung unumgänglich, um grobe Interpretationsfehler zu vermeiden. Aber auch bei ungefährender Kenntnis der örtlichen bzw. regionalen Verhältnisse ist eine der Schreibtischarbeit vorausgehende Gebietserkundung von Vorteil. Das Luftbildmaterial soll dabei zumindest stichprobenweise überprüft werden, wobei die Erscheinungsform der zu bestimmenden Nutzungen in den Luftbildmodellen mit jener in der Natur zu vergleichen und hinsichtlich charakteristischer Erkennungsmerkmale und allfälliger Störfaktoren (Farbton, Textur, Bodenfeuchte, Schatten etc.) zu analysieren ist. Bei dieser Vorgangsweise wird auch die Erarbeitung eines "verlässlichen" Interpretationsschlüssels, wie er bei der Abwicklung größerer Projekte notwendig ist, erheblich erleichtert.

Die terrestrische Verifizierung der Interpretationsergebnisse stellt einen abschließenden Schritt dar. Dieser Arbeitsschritt bereitet kaum Probleme, da sich dieser primär auf die Zweifelsfälle beschränken kann. Eine sehr weitgehende Überprüfung der Interpretationsergebnisse ergibt sich dabei allein dadurch, daß die der Mappe entsprechenden Grundstücke in der Natur erst lokalisiert werden müssen, so daß die abschließende Verifizierung letztlich erheblich über die getretenen Zweifelsfälle hinausgeht.

Übertragung der Auswertungsergebnisse in die Grundstücksdatenbank

Die Interpretationsergebnisse wurden in einem gesonderten Arbeitsschritt in die simulierte Grundstücksdatenbank übertragen und einer Auswertung unterzogen. Eine parzellen- und flächenmäßige Gegenüberstellung alter und neuer Benützungsarten führt zu einer genauen Änderungsbilanz. In welchem Umfang Änderungen substantieller Natur sind oder durch die Neudefinition der Benützungsarten verursacht werden (Zahl und Ausmaß der betroffenen Parzellen bzw. Benützungsabschnitte), wird dabei ebenfalls ersichtlich. Als Beispiel für eine solche Bilanzmatrix wird nachstehend jene für die Katastralgemeinde Stratzdorf (bei Krems an der Donau) gezeigt (Übersicht 4).

Die Katastralgemeinde Stratzdorf war mit 447 Benützungsabschnitten (2) und einer Katasterfläche von 173 Hektar die kleinste der insgesamt acht Testgemeinden. 68 % der Parzellen bzw. Benützungsabschnitte, die 95 % der Fläche umfaßt, wurden aus den Luftbildern bestimmt. Aufgrund des neuen Benützungsartenkataloges ergaben sich im Bereich der landwirtschaftlich genutzten Flächen (138 ha) die größten Veränderungen: 127 Hektar wurden als Ackerland identifiziert (188 Parzellen bzw. Benützungsabschnitte) und 20 Grundstücke im Ausmaß von 5 Hektar erstmals als Abbauland (Schottergrube) ausgewiesen.

Übersicht 4

Bilanzmatrix über die festgestellten Bodennutzungsänderungen - KG Stratzdorf

Benützungsarten - Neudefinition																			
SUMME:	01	101	211	231	311	321	331	341	351	361	371	411	421	511	521	611	621	631	
12134 KG STRATZDORF	4471	145	11	421	11	1931	1	331	1	11	1	21	1	1	1	191	1	1	
.....	173	0	2	10	0	129	0	0	0	0	1					15			
0 BAUFLÄCHE	691	64	5	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
3	3	0																	
1 LANDW.GENUTZT	2331	91	41	21	1	1881	1	201	1	11	1	1	1	1	1	91	1	1	
138	0	0	0	0	127	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	
3 GÄRTEN	781	61	1	1	1	41	1	131	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
7	4				1		3												
901 SONST.(ORTSRAUM)	41	41	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
0	0																		
902 SONST.(WEG)	391	51	1	341	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
4	0			4															
904 SONST.(LANDSSTR.)	41	1	1	41	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	2			2															
905 SONST.(BUNDESSTR.S+B)	11	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
4	4			4															
906 SONST.(STRASSE)	11	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
0	0			0															
911 SONST.(GRABEN)	31	11	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	0									21	1								
924 SONST.(SCHOTTERGRUBE)	11	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	101	1	1	
12	12				1											11	1	1	
927 SONST.(WERKSGELENDE)	21	1	21	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
1	1		1																
933 SONST.(BAHNGRUND)	11	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
0	0			0															
949 SONST.(ANDERE WI)	11	11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
0	0																		

Legende:

Neu definierte Benützungsarten:

- 0 NICHT INTERPRITIERT
1C SICDLUNSLÄCHE
21 STRASSE, WEG
23 BAHNGRUND
- 31 ACKERLAND
32 ERWERBSGARTEN
33 GUSTDAIFLÄCHE
34 WFINBAUFLÄCHE
35 GRUENLAND
36 ALPINES GRUENLAND
37 UMBWIRTSCHAFTET
- 41 WALD
42 SONST.FORSTL.FLÄCHE
51 FLIESSGELÄSSER
52 STEHNDES GELÄSSER
61 ABBAULAND, DEPONIE
62 FEUCHTIGRIET, SUMPF
63 UNPRODUKTIV, OEDLAND

Zahlenwerte: Obere Zeile: Anzahl der Benützungsabschnitte (z. B. Summe 447)
Untere Zeile: Dazugehörige Fläche in Hektar (z. B. Summe 173)

(1) Zum Beispiel:

- DESBOD ... Digitale Erfassung, Speicherung und Bearbeitung ortsbezogener Daten (Institut für Digitale Bildverarbeitung und Graphik, Graz)
- IGGS Interaktives geometrisch graphisches Software-System (IBM, Wien)
- ROKAT..... Niederösterreichischer Raumordnungskataster (Amt der NÖ Landesregierung)
- TOPIAS.... Topographische Informations- und Archivierungs-Software (Institut für Photogrammetrie der TU Wien)

(2) Eine Parzelle kann eine oder mehrere Benützungsabschnitte umfassen

L i t e r a t u r

FISCHLER, F. (1978): Die Flächenbilanz - Grundlagen, Methoden und Anwendungsmöglichkeiten (Forschungsbericht). Hrsg.: Institut für landwirtschaftliche Betriebswirtschaft der Universität für Bodenkultur, Abteilung für landwirtschaftliche Regionalplanung. Wien 1978

MARGRAF, O. (1985): Grundprinzipien für den Aufbau eines EDV-gestützten geographischen Informationssystems. In: Räumliche Informationssysteme für die geographische Forschung. Wissenschaftliche Mitteilungen, Nr. 15. Hrsg.: Institut für Geographie und Geoökologie der Akademie der Wissenschaften der DDR, Leipzig 1985. S. 23-40

SCHINDEGGER, F. (1985): Zur Notwendigkeit ökologisch orientierter gesamtstaatlicher Raumordnung. In: ÖIR-Mitteilungen, 1/1985. Hrsg.: Österreichisches Institut für Raumordnung. Wien, S. 1-18

SPITZER, H. (1975): Regionale Landwirtschaft. Die Entwicklungsaufgaben der "Region" für Landwirtschaft und Raumordnung. Verlag Paul Parey. 1975, Hamburg und Berlin. 203 S.

RADARBILDANWENDUNG - ÜBERBLICK

F. M. Henderson

State University of New York at Albany,
dzt. Institut für Vermessungswesen und Fernerkundung,
Universität für Bodenkultur, Wien

PRINZIP DER RADAR-ERDBEOBACHTUNG

Fernerkundungssysteme und -techniken werden heute routinemäßig zum Studium von Umweltparametern und zur Erfassung natürlicher Ressourcen verwendet. Die meisten dieser Systeme (z.B. Luftbildkameras, Multispektralscanner) bezeichnet man als passiv, da sie Bilder mit Hilfe von Energie aus externen Quellen erzeugen. Im Gegensatz dazu enthält ein Radarsystem seine eigene Energiequelle. Radarsysteme operieren im Mikrowellenbereich des elektromagnetischen Spektrums (1 mm bis 100 cm).

Es ist ein Vorteil von Radar, daß Mikrowellen die Atmosphäre durchdringen können - schlechthin unter allen Wetterbedingungen, ausgenommen heftiger Regen. Daher ist klares, wolkenloses Wetter nicht unbedingt notwendig, um brauchbare Bilder zu erhalten. Da Radar ein aktiver Sensor ist, kann es zu jeder Tageszeit verwendet werden, auch zu Zeiten ungünstiger Lichtverhältnisse. Dies ist ein bedeutender Vorteil, wenn man die begrenzte Zahl von Tagen in Betracht zieht, die in Europa für photographische Luftaufnahmen zur Verfügung stehen, und die oftmals ungünstigen Wetterbedingungen wie Bewölkung und Nebel. Diese Eigenschaften von Radar und darüberhinaus die Empfindlichkeit von Radar gegenüber Oberflächenstrukturen und Bodenfeuchtigkeitsgehalt sind der Grund für das große Interesse am Einsatz von Radarbildern für Erderkundungszwecke.

Zur Vereinfachung des Problems, ein Radarsignal aus der Luft aufzunehmen, wird die Antenne am Flugzeug oder am Satelliten so angebracht, daß sie senkrecht zur Flugrichtung zur Seite zeigt (Abb. 1). Während sich der Flugkörper vorwärts bewegt, werden kurze Mikrowellenimpulse von der Antenne in regelmäßigen Abständen ausgesendet und empfangen. Die Antenne bewegt sich mit der Fluggeschwindigkeit (V_a) weiter. Jeder ausgesendete Impuls (B) bewirkt Echosignale von Objekten innerhalb der Breite des Radarstrahls. Diese Echosignale werden in Videosignale (C) umgewandelt, oder sie werden für spätere Verarbeitung auf Magnetband gespeichert. Ein ausgesendeter Impuls trifft z.B. zuerst auf die Objekte a (Bäume) und b (Fluß) und dann auf c (Hügel). Die reflektierten Signale werden als Funktion der Zeit (der Entfernung) von der Antenne empfangen

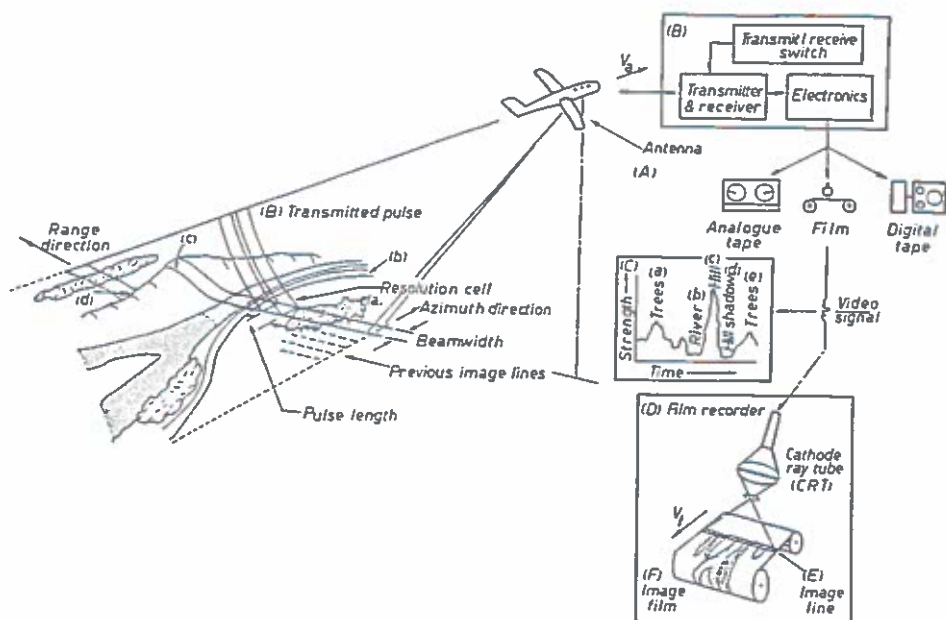


Abb. 1

und in Videosignale umgewandelt. Während diese Videosignale den Spalt einer Kathodenstrahlröhre abtasten, wird jeweils eine Zeile am photographischen Film (F) belichtet, wobei jedes Objektkonto in einem entsprechenden Grauton dargestellt wird. Wenn nun der Film mit einer Geschwindigkeit (V_f) proportional zur Geschwindigkeit des Flugkörpers (V_a) an der Kathodenstrahlröhre vorbeibewegt wird, erhält man einen kontinuierlichen Bildstreifen des Geländes. Um eine entsprechende räumliche Auflösung (Detailerkennbarkeit) zu erhalten, verwenden abbildende Satellitenradarsysteme und auch einige Flugzeugradarsysteme eine 'synthetische' Antenne, wobei die reflektierten Signale elektronisch auf Magnetband gespeichert und später in einer Bodenstation unter Verwendung von Computern und Lasern verarbeitet werden. Für eine detailliertere Beschreibung der Charakteristiken von Radarsystemen wäre z.B. bei ENDLICHER und KESSLER, 1982, nachzuschlagen.

Die Wiedergabeform des Geländes und der Geländeobjekte auf Radarbildern hängt einerseits vom Radarsystem, andererseits von den Eigenschaften des Geländes und der Geländeobjekte ab. Hauptfaktoren sind: (1) Wellenlänge, (2) Polarisation, (3) Einfallswinkel, (4) Oberflächenbeschaffenheit (Rauigkeit) und (5) dielektrische Konstante der Oberfläche.

Radarsysteme können bei verschiedenen Wellenlängen betrieben werden. Die Erscheinung eines Gegenstandes auf Radarbildern ist beeinflusst durch die Wellenlänge der Mikrowellenstrahlung, ähnlich wie im optischen Bereich, wo die Erscheinung eines Gegenstandes je nach Multispektralkanal verschieden sein kann.

Polarisation bezieht sich sowohl auf die Aussendung wie auf den Empfang eines Radarsignals. Die Signale können sowohl horizontal (H) als auch vertikal (V) ausgesendet und empfangen werden, sodaß daraus vier Kombinationen resultieren: HH, HV, VV, VH. Die Gegenstände ändern ihr Aussehen auf dem Bild in dem Maße, wie das reflektierte Signal entpolarisiert wird.

Der Einfallswinkel ist der Winkel zwischen einem einfallenden Radarstrahl und der Normalen auf die Oberfläche. Abweichungen in der Oberflächenneigung und/oder im Einfallswinkel ändern die Stärke der rückgestreuten Signale und können eine Änderung des Aussehens der Geländeoberfläche ergeben.

Die Oberflächenrauigkeit ist im Verhältnis zur Wellenlänge des Radarsignals zu sehen. Oberflächen, die bei einer Wellenlänge rauh erscheinen, können bei einer anderen, längeren Wellenlänge glatt erscheinen.

Die komplexe Dielektrizitätskonstante, die von den elektrischen Eigenschaften der Objekte abhängt, bestimmt die Stärke des von einer Oberfläche mit gegebener Geometrie rückgestreuten Radarsignals. Die meisten Oberflächen bewirken schwache Echos, wenn sie trocken sind, jedoch starke Rückstreuungssignale, wenn sie feucht sind. So wird die Rückstrahlung des Bodens und bis zu einem gewissen Grad der Vegetation durch Feuchtigkeitsgehalt stark beeinflusst.

Aus diesem kurzen Überblick ist ersichtlich, daß Radarbilder eine von photographischen Luftbildern verschiedene Methode der Beobachtung und Untersuchung der Bodenmerkmale darstellen. Wie auf Abb. 2 zu erkennen ist, sehen Radarbilder zwar ähnlich aus wie Schwarz-Weiß-Luftbilder. Bei der Interpretation von Radarbildern ist aber zu bedenken, daß hier im Vergleich zu photographischen Luftbildern unterschiedliche Erscheinungsformen von Objekten gegeben sein können. Objekte oder Merkmale, die auf einem Luftbild gleich aussehen, können auf dem Radarbild sehr verschieden erscheinen. Wenn die Ursachen

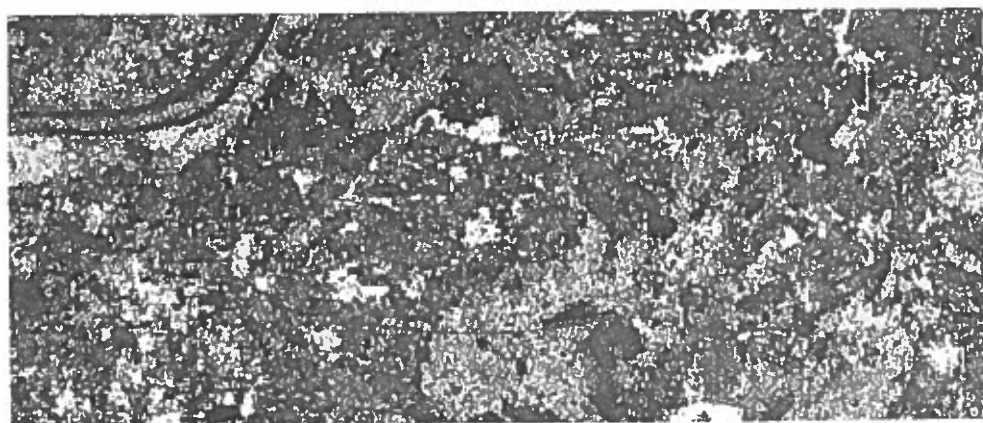


Abb.2: Satelliten-Radarbild ("Shuttle Imaging Radar B", 1984) L-Band, Einfallswinkel 48 Grad, Aufnahmegebiet Freiburg i. Br.

und Eigenschaften der Radarrückstreuung in Abhängigkeit von der Bodenbeschaffenheit bedacht werden, kann der Interpret die wesentlichen Photointerpretationstechniken, beruhend auf Tönung, Textur/Struktur, Form, Muster, Größe und Schatten, auch auf die Analyse von Radarbildern anwenden.

ANWENDUNGSÜBERSICHT

Wenngleich im Hinblick auf die Brauchbarkeit von Radarbildern zur Überwachung der Umwelt und auf die Zusammenhänge von Radarrückstreuung und Bodenmerkmalen noch vieles zu untersuchen bleibt, werden Radarbilder in vielen Teilen der Erde regelmäßig und ausgiebig für diverse Anwendungen kommerziell verwertet. Im folgenden wird eine Übersicht der wesentlichen Anwendungsgebiete gegeben, die in Zukunft auch in den gemäßigten Zonen Europas Bedeutung erlangen könnten:

G e o l o g i e

Die geometrische Gestalt der Erdoberfläche kann leicht durch geeignete Auswahl von Blickrichtung und Einfallswinkel untersucht werden. Es wurden bereits nützliche Informationen gewonnen zur Lokalisierung von Gesteinsabbaugebieten, zur Untersuchung von Hangrutschungen, zur Analyse der Zusammenhänge zwischen Mineralvorkommen und Oberflächenstrukturen, Fehlstellen und Klüften sowie für Rohstoffinventuren, Aufstellung von Gefahrenzonenplänen und zur Kartierung von Gewässernetzen.

H y d r o l o g i e

Außer für die Erfassung von Gewässernetzen und Entwässerungssystemen werden Radarbilder für Messungen verschiedener hydrologischer Phänomene verwendet: Mehrere Experimente haben gezeigt, daß Radarsignale vom Schneedeckenvolumen beeinflusst werden und davon abhängen, ob der Boden gefroren ist oder nicht. Die Eignung für Messungen von Bodenfeuchtigkeitsveränderungen wurde durch Untersuchungen bestätigt: Radardaten geben Aufschluß über die Bodenfeuchtigkeit einer oberflächennahen Schicht von 5 bis 10 cm Dicke. Die genaue Dicke der erfaßten Schicht hängt jedoch von der Wellenlänge, dem Einfallswinkel und der Bodenfeuchtigkeit ab. Unter optimalen Bedingungen (lange Wellenlänge, kleiner Einfallswinkel, trockener Boden) ist eine Durchdringung des Bodens bis zur Tiefe einer Wellenlänge möglich. Andere Anwendungen schließen die Gewinnung von Flächendaten ein für Vorhersagen bei Hochwasser, für Wasserabflußprognosen und zur Entwicklung von Wasserwirtschaftsmodellen. Die Messung von Ausdehnung, Typus, Dicke, Wasseräquivalent und freiem Wassergehalt der Schneedecke ist besonders wichtig für Abflußprognosen. Die Abgrenzung von Land- und Wasserflächen, Gewässerinventuren und die Kartierung von Überschwemmungsgebieten wurden ebenfalls durchgeführt.

F o r s t w i r t s c h a f t

Die Brauchbarkeit von Radarbildern für die Kartierung von Waldflächen, Kahlschlägen und Aufforstungsflächen ist nachgewiesen. Fortschritte wurden erzielt in der Erkennung von Unterschieden im Wachstumsstadium, Unterschieden der Kronendichte (im Bereich von ca. 1000/ha) und in der groben Artenunterscheidung. Unterschiede zwischen Laub- und Nadelbäumen und zwischen Alt- und Jungkoniferen konnten beobachtet werden. Die Fähigkeit von Radar, die Pflanzendecke zu durchdringen, wurde unter bestimmten Umständen nachgewiesen. Schwierigkeiten treten jedoch auf, wenn Flächen mit Steilhängen und bewegtem Relief erfaßt werden sollen.

L a n d w i r t s c h a f t

Die Arbeiten sind meist noch im Versuchsstadium, da die Parameter offensichtlich ziemlich komplex sind. Nichtsdestoweniger ist es im allgemeinen möglich, Mais und Hackfrüchte (Kartoffel, Futterrüben) zu identifizieren sowie Getreide, wenngleich kaum einzelne Arten. Die Erkennbarkeit von Weingartenflächen wurde ebenfalls gezeigt, nicht jedoch in steilem Gelände.

L a n d n u t z u n g s k a r t i e r u n g

In vielen Fällen ist kleinmaßstäbliche Landnutzungs-kartierung (im städtischen Bereich, in Landwirtschaft und Forstwirtschaft usw.) bereits Routine. Planimetrische Genauigkeit wird nicht erreicht, Übersichtskarten (Maßstab 1:100.000) sind jedoch nützlich für die generelle Planung. Feuchtgebiete sind erfaßbar, oftmals sogar unter einer Pflanzendecke. Andere Anwendungen betreffen die Überwachung von Stadterweiterungen, die Lokalisierung offener Flächen innerhalb von Städten, die Kartierung von Tagbaugebieten sowie die Überwachung von Grabungsarbeiten und Landgewinnungsarbeiten. Das Format von Radarbildern ist besonders für großflächige Mosaik geeignet, die nützlich für die thematische Kartierung verschiedenster Merkmale sind.

ZUSAMMENFASSUNG

Gegenwärtig ist Radar ein wichtiges Werkzeug zur Anwendung in Geologie, Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Wasserwirtschaft und Landnutzungskartierung. In vielen Fällen ist es als einziges System in der Lage, auch bei ungünstigen Witterungsverhältnissen brauchbares Bildmaterial zu liefern. Radarbilder stellen auch wertvolle ergänzende Daten zu anderen Fernerkundungs- und Bodendaten dar.

Vieles bleibt noch zu erforschen, was die Möglichkeiten von Radarbildern für Erderkundungszwecke anlangt. Da in Zukunft Bilder von verschiedenen europäischen Luft- und Raumfahrtssystemen zur Verfügung stehen werden, wird die Anwendung von Radar in zunehmendem Maße Verbreitung finden und Routine werden. Die Europäische Raumfahrtsbehörde (ESA) plant den Start des "Earth Resources Satellite", des ersten einer Serie von Satelliten mit Radarsystemen. Flugzeugradarsysteme werden ebenfalls in verstärktem Umfang als Teil von Multi-Sensor-Systemen eingesetzt werden.

Im Vergleich zur Auswertung von Landsat- und SPOT-Daten sind das Wissen um die Radarbildanalyse und die Technik der Radarbildanalyse um ca. 10 Jahre im Rückstand. Da die Entwicklungen weiter vorangetrieben werden, wird sich uns ein breites Spektrum an Radarbildanwendungen eröffnen.

SUMMARY

At present, radar is an important tool for applications in geology, forestry, agriculture, hydrology and land use mapping. It is the only system capable of producing useful imagery even in case of adverse weather conditions. Radar images may also be valuable in augmenting information from other remote sensing as well as terrestrial sources.

Much research remains to be done on the use of radar images for remote sensing of earth resources. Imagery will become available in the future from different European airborne and spaceborne remote sensing systems. Radar will therefore increasingly be applied on a routine basis. The European Space Agency (ESA) plans to launch its "Earth Resources Satellite" carrying radar systems aboard. Airborne radar systems will also be used increasingly as part of multi-sensor systems.

In comparison with Landsat- and SPOT data, our knowledge and technique of radar image analysis is behind by about 10 years. As developments progress, a broad spectrum of radar applications will emerge.

LITERATUR

Endlicher, W. und Kessler, R., 1982: Geowissenschaftliche Radarbildinterpretation. Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br., Bd.71/72, S. 17-34.

Die Untersuchungen am Institut für Vermessungswesen und Fernerkundung der Universität für Bodenkultur zur Interpretation von Radarbildern für die Anwendung in Land- und Forstwirtschaft werden teilweise vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung im Rahmen des Teilprojekts "Mikrowellenfernerkundung" (Projekt Nr. S 38/1) des "Forschungsschwerpunkts Fernerkundung" finanziert.

R A D A R G R A M M E T R I S C H E A S P E K T E D E R A U S W E R T U N G V O N R A D A R B I L D D A T E N

G. Triebnig und M.F. Buchroithner

Institut für Digitale Bildverarbeitung und Graphik
Forschungsgesellschaft Joanneum
A-8010 Graz, Wastiangasse 6

EINLEITUNG

Die Auswertung von Bilddaten der Erdoberfläche, welche mittels flugzeug- oder satellitengetragener Radarsensoren gewonnen werden, ist von steigendem Interesse für geowissenschaftliche Untersuchungen. Damit verbunden ist die Forderung nach verbesserter geometrischer und radiometrischer Aufbereitung dieser Daten. Abschattung (Shadow), Geländeverkürzungen (Fore-shortening) und Radarechoüberlagerungen (Layover) - die charakteristischen geometrischen Effekte, welche sich aus der Radarabbildungsgeometrie ergeben - behindern die Interpretation und quantitative Analyse von räumlichen Beziehungen im Bild. Ebenso sind Verzerrungen störend, welche durch zufällige oder nicht dokumentierte Abweichungen der Funktionsweise des Sensorsystems oder Fehler in der Datenvorverarbeitung verursacht werden. Statistische Fluktuationen (Speckles) und systembedingte lokale Abweichungen in der Echointensität manifestieren sich in der Grauwertverteilung der Radarbilder und beeinflussen somit deren Auswertbarkeit negativ.

Soll ein Vergleich zwischen Radarbildern und Daten von bildgebenden Fernerkundungssystemen angestellt, das heißt, spektral-spezifische Bildinformation abgeleitet und sollen etwaige synergistische Effekte genützt werden, so ist eine exakte g e o m e t r i s c h e Z u o r d n u n g der Datensätze hilfreich. Gleiches gilt für die Gegenüberstellung und Analyse von Radardaten ein- und desselben Gebietes, die zu unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten erfaßt oder von verschiedenen Sensorpositionen aus aufgenommen worden sind, sowie für die Überlagerung von Radarbildern mit digitalisierten topographischen und/oder thematischen Karten.

GEOMETRISCHE ENTZERRUNG

Zwei unterschiedliche digitale Bilder desselben Objekts werden dadurch miteinander korreliert und geometrisch zur Deckung (Registration) gebracht, daß zuerst entweder automatisch oder visuell-manuell markante Punkte, lineare oder flächenhafte Merkmale ausgewählt und die homologen Elemente in den Bildern identifiziert werden. Danach werden jene Koeffizienten ermittelt, die man zur Polynomialtransformation eines oder mehrerer Bilder benötigt. Man bezeichnet diesen Vorgang als "relative Entzerrung" (Relative Rectification; WIESEL, 1981). Die Überlagerung von Radarbilddaten über eine Szene von photographischen Daten zum Zwecke der gemeinsamen Darstellung ist ein Beispiel dafür.

Die eingangs erwähnten charakteristischen geometrischen Eigenheiten des Radarbildes erschweren insbesondere für Gegenden mit ausgeprägtem Oberflächenrelief die Identifikation homologer Bildinformation. Darüber hinaus führt die Methode der Transformation mit Polynomen zu relativ entzerrten Bildern, die für viele Anwendungen geometrisch unzureichend übereinstimmen (PETRIE, 1985). Es wird daher in diesen Fällen auf Verfahren zurückgegriffen, welche die in einem dreidimensionalen kartesischen Objektkoordinatensystem gegebenen Geländepunkte jenen Bildpunkten zuzuordnen, welche über Zeit- und Entfernungskordinaten im Radarbild festgelegt sind und aus diesen gemessen werden können. Bei bekannter Koordinatenbeziehung zwischen dem kartesischen System und einem geographischen Standardsystem ist also durch ein mathematisches Modell des Bildentstehungsprozesses auch der Bezug zwischen geographischen und Radarbildkoordinaten hergestellt. Mit Kenntnis dieses Zusammenhangs läßt sich das Radarbild "absolut entzerren", ein Vorgang der auch als Geokodierung bezeichnet wird. Das Resultat, ein Bild mit einer Grauwertverteilung, die für die Überlagerung auf eine geographische Karte in einer Standardprojektion geeignet ist, nennt man auch Radar-Orthobild.

Eine ausführliche Darstellung der von verschiedenen Autoren vorgeschlagenen Radarabbildungsgleichungen gibt Leberl (1976). Curlander (1981) präsentiert Modelle, die beschreiben, wie das von der Radarantenne empfangene elektromagnetische Rohecho über den Signalverarbeitungsweg in Bildpunkte konvertiert wird. Theorie und grundlegende Methoden der "Radar-Photogrammetrie" oder "Radargrammetrie" werden von Leberl (1983) in einem Übersichtsartikel beschrieben. Domik et al. (1984) zeigen, auf welche Weise digitale Höhenmodelle vorteilhaft für die absolute Entzerrung von Radarbildern verwendet werden.

RADARBILDSIMULATION

In zahlreichen Satellitenmissionen und Befliegungskampagnen wurde eine große Anzahl von Radardatensätzen für experimentelle Untersuchungen und kartographische Zwecke generiert. Oft wären allerdings weitere Radardaten eines Testgebietes, welche unter

systematischer Variation einzelner Sensorparameter aufgenommen wurden, wünschenswert. So spielt etwa die Änderung der Radarblick- bzw. -beleuchtungsrichtung unter gleichzeitiger Konstanzhaltung von Flugbahn-, System- und Abbildungsparametern für geowissenschaftliche Anwendungsstudien (geologische Lineamentaauswertung) eine bedeutende Rolle.

Zur Produktion solcher Testdatensätze dient die **R a d a r b i l d s i m u l a t i o n**. Diese geht von einem digitalen Höhenmodell des jeweiligen Geländes aus. Die radargrammetrischen Abbildungsgleichungen werden dazu benützt, den Bildentstehungsprozeß für die gewählten Parameter durch rechnerische Simulation nachzubilden. Es hängt von der angestrebten Verwendung der simulierten Bilddaten ab, ob man neben den topographischen Effekten auch die Radarrückstreuungseigenschaften von Vegetation oder sonstigen Oberflächenbeschaffenheiten differenziert betrachtet und entsprechende thematische Karteninformationen sowie unterschiedliche Reflexionsfunktionen in die Simulation miteinbezieht. Eine Gegenüberstellung der derzeit in der Welt existierenden Simulationsprogramme wurde kürzlich von Sieber et al. (1985) vorgelegt.

In der oben angeführten Arbeit von Domik et al. (1984) wird u.a. erläutert, wie Radarbildsimulation für die geometrischen Präzisionsentzerrung eingesetzt wird. In dieser Publikation werden auch eine Reihe interessanter Gesichtspunkte zur **r a d i o m e t r i s c h e n A n a l y s e** von Radarbildern diskutiert. Hiefür werden die Absolutbeträge der Grauwertdifferenzen zwischen einem simulierten und einem relativ darauf entzerrten realen Radarbild berechnet und dargestellt. Diese Differenzbildung erlaubt beispielsweise die Reduktion des die Bildgrauwertverteilung stark beeinflussenden Reliefeffekts - starke Rückstreuung des Radarsignals an sensorzugewandten Vorderhängen, dunkle Hinterhänge. Zudem ist es möglich, in einem Differenzbild die einzelnen thematischen Rückstreckategorien voneinander leichter unterscheidbar zu machen.

RADAR-STEREOSKOPIE

Stereobetrachtung überlappender Radarbilder kann die Verwendbarkeit dieser Daten in erdwissenschaftlichen Fragestellungen beträchtlich verbessern. Obwohl sich die Projektionsgeometrie für Radar gänzlich von jener unterscheidet, die dem plastischen menschlichen Sehen zugrunde liegt, empfindet der Betrachter einen Raumeindruck aufgrund der vorliegenden Parallaxen. Diese entstehen durch unterschiedliche Sensorpositionen bzw. -flugbahnen während der Aufnahme der Stereobilder.

Es existieren mehr oder weniger systematische Untersuchungen über die Qualität des Stereoeffektes für visuelle Interpretierbarkeit. Leberl et al. (1985) prüften etwa fünfzig reale Radar-Stereomodelle. Domik et al. (1983) nützten die Möglichkeiten der Bildsimulation zur Anfertigung von Radar-Stereopartnern und konnten somit frei gewählte Stereokonfigurationen analysieren. Die Ergebnisse dieser Arbeiten

führen zu der Einsicht, daß ein guter Stereoeindruck wesentlich von den Erhebungswinkeln - den Winkeln zwischen Projektionsstrahl und der Senkrechten - und dem jeweils zugeordneten Schnittwinkel zwischen den Projektionsstrahlen abhängt.

RECHNERGESTÜTZTE AUSWERTUNG VON RADARBILDDATEN

Die voranstehenden, überblicksmäßig erörterten Auswertungsmethoden und Bearbeitungsprozesse für Radardaten gehen alle von grundlegenden radargrammetrischen Konzepten aus. Am Institut für Digitale Bildverarbeitung und Graphik der Forschungsgesellschaft Joanneum wurden nun in den letzten Jahren Datenverarbeitungsprozeduren entwickelt, die Kombinationen radargrammetrischer Verfahren sowie Methoden der digitalen Bildverarbeitung verwenden und damit den Anforderungen der modernen Radardatenverarbeitung und deren Nutzarmachung entgegenkommen.

Ein Beispiel für ein solches kombiniertes System zeigt das Ablaufdiagramm in Abb. 1.

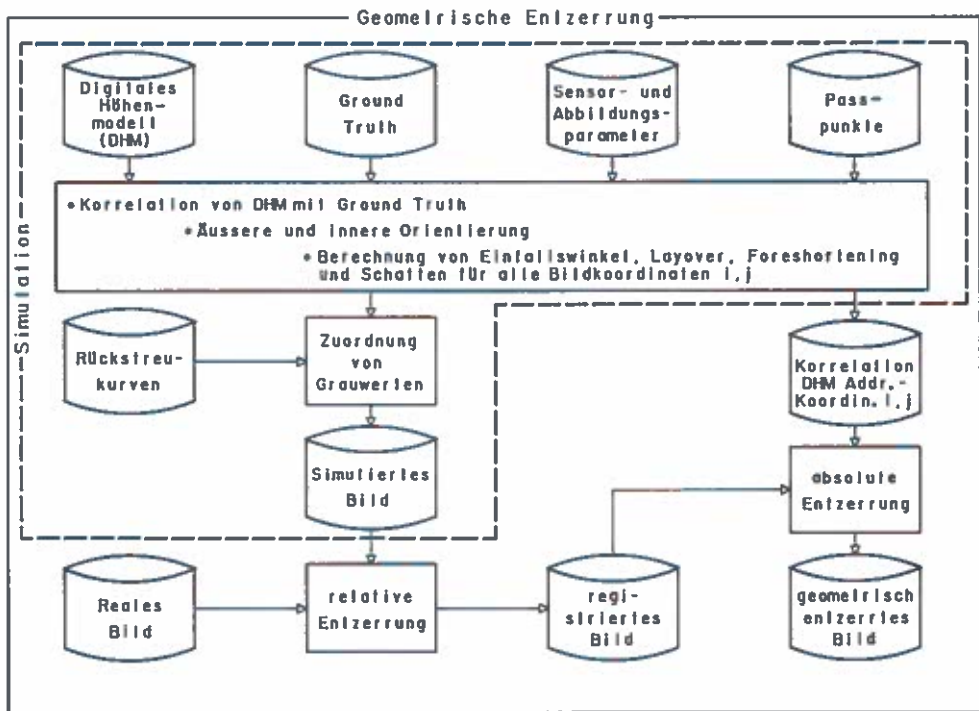


Abb. 1: System geometrische Entzerrung und Radarbildsimulation.

Dieses umfangreiche System mit der Bezeichnung DESIREE (Digital Evaluation System for Imaging Radar and Elevation Effects) dient in der Hauptsache der geometrischen Entzerrung unter Verwendung der Radarbildsimulation. Es ist auch möglich, einzelne Komponenten daraus für Teilaufgaben zu verwenden. Die verschiedenen Softwaremodule - in Abb. 1 dargestellt durch Rechtecke - benützen im wesentlichen Datenfiles als Schnittstellen.

Ein weiteres wichtiges Beispiel für am obigen Institut entwickelte und operationell einsetzbare Radargrammetrie-Software, ist das System SMART (Stereo Mapping with Radar Techniques). Es ermöglicht ein zeitsparendes und komfortables Aufsetzen und Auswerten analoger Radar-Stereobilder mit einem analytischen Plotter, d.h. das Einmessen von Punkten im dreidimensionalen Objektkoordinatensystem an einem rechnergesteuerten photogrammetrischen Auswertegerät. Unter fortwährendem gegenseitigen Orientieren der Bilder wird ein Stereoeindruck bewahrt, der dem Auswerter die Digitalisierung von Höhenschichtenlinien durch horizontales Abfahren des Geländes mit einer Meßmarke erleichtert. Ziel dieser Stereo-Auswertung ist die Generierung derjenigen Datenfiles, welche in der Folge mithilfe weiterer Programme (Programmsystem GTM - Graz Terrain Model) zur Erzeugung digitaler Höhenmodelle herangezogen werden.

Die beiden erwähnten Programmsysteme waren die wesentlichen Werkzeuge bei der Durchführung verschiedener am Institut für Digitale Bildverarbeitung und Graphik in den letzten Jahren abgeschlossener Radargrammetriestudien mit erdwissenschaftlichen Zielsetzungen.

In einem Projekt wurden u.a. die Verwendbarkeit und die charakteristischen Eigenschaften von Radarbilddaten für Anwendungen in der Geologie bewertet (Domik et al., 1985). Man untersuchte die Möglichkeiten einer lithologischen Kartierung mit Hilfe radiometrischer Manipulationen der Radardaten sowie die Einflüsse der Beleuchtungsrichtung auf die Erkennbarkeit von linearen geologischen Strukturen.

In einem anderen Projekt wurden Beiträge zur Analyse von Radardaten hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit bei der Kartierung von mit Schnee oder Gletschern bedeckten Regionen (Rott et al., 1985) geleistet. Aus der Sicht der Radargrammetrie ist dabei u.a. die quantitative Ermittlung derjenigen Bildanteile interessant, welche infolge Abschattung oder Echoüberlagerung keine auswertbare Information enthalten. Weiters wurde unter Zugrundelegung thematischer Bodeninformation und unterschiedlicher Rückstreuungsfunktionen für die einzelnen Bodenbedeckungskategorien eine Radarbildsimulation durchgeführt und die Übereinstimmung der so erhaltenen Daten mit realen Radardaten geprüft.

Im Rahmen einer Reihe weiterer Projekte wurden mittels Radar-Stereodatenauswertung digitale Höhenmodelle angefertigt und diese mit Höhenmodellen, die aus topographischen Karten abgeleitet worden waren, verglichen. Im großen und ganzen wurden dabei im Verhältnis zur Radarbildqualität gute Übereinstimmungen festgestellt (Raggam, 1985; Raggam et al., 1985).

Die letztgenannte Anwendungsmöglichkeit wird vor allem in witterungsmäßig stark benachteiligten, feuchten Gebieten, in denen mit photogrammetrischen Methoden keine ausreichende Geländeinformation erhalten werden kann, zunehmend an Bedeutung

gewinnen. Arbeiten am Institut für Digitale Bildverarbeitung und Graphik der Forschungsgesellschaft Joanneum gehen u.a. dahin, die Daten des zukünftigen europäischen Radarsatelliten ERS-1 mit den hier vorgestellten und noch zu entwickelnden Verfahren für einen effizienten Einsatz bei Landapplikationen nutzbar zu machen.

LITERATURVERZEICHNIS

- Curlander, J., 1981: Sensor to Target Range Determination. - JPL-Interoffice Memorandum 334, 7-80-056, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Kalifornien.
- Domik, G., Leberl, F. & Raggam J., 1983: Evaluation of Radargrammetric Stereo. - DIBAG-Report Nr. 11, 127 S., Inst. Digit. Bildverarb. u. Graphik, Graz.
- Domik, G., Kobrick, M. & Leberl F., 1984: Analyse von Radarbildern mittels Digitaler Höhenmodelle. - Bildmessung und Luftbildwesen, 1984, 5, S. 249-263, Karlsruhe.
- Domik, G., Kienegger, E., Leberl, F. & Raggam, J., 1985: Study on the Use and Characteristics of SAR for Geological Applications, Part II: Radargrammetric Aspects. - Final Report, ESA Contr. No. 5443/83/D/IM (sc), 96 S.
- Leberl, F., 1976: Imaging Radar Application to Mapping and Charting. - Photogrammetria, 32, 3, S. 75-100, Amsterdam.
- Leberl, F., 1983: Photogrammetric Aspects of Remote Sensing with Imaging Radar. - Remote Sensing Reviews, Harwood Academic Publishers, S. 71-158, London.
- Leberl, F., Raggam, J. & Kobrick, M., 1985: Stereo Viewing of Radar Images. - IEEE Transact Geoscience Remote Sensing, GE-23, 2, S. 110-117, New York.
- Petrie, G., Hsu, A. & Ali, A.E., 1985: Geometric Accuracy Testing of SAR-580 and Seasat-SAR Imagery. The European SAR-580 Experiment. - Investigators Final Report, IRC Ispra, 1, S. 71-101.
- Raggam, J., 1985: Untersuchungen und Entwicklungen zur Stereo-Radargrammetrie. - DIBAG-Report Nr.22, 152 S., Inst. Digit. Bildverarb. u. Graphik, Graz.
- Raggam, J., Trlebnig, G., Buchroithner, M.F., Domik, G. & Leberl, F.W., 1985: Radargrammetric Aspects of SAR Data Evaluation. - Proc. Workshop SAR Data Applic., Frascati 1985, ESA Spec. Publ., Paris (in Druck).
- Rott, H., Domik, G., Mätzler, C., Miller, H. & Lenhart, K.G., 1985: Study on Use and Characteristics of SAR for Land Snow and Ice Applications. - Final Report, ESA Contr. No. 5441/83/D/IM (sc.).
- Sieber, A., Popella, A., Hartl, Ph. & Domik, G., 1985: SAR Product Simulation. - Final Report, ESA Contr. No. 6188/85/NL/BI.
- Wiesel, J.W., 1981: Paßpunktbestimmung und geometrische Genauigkeit bei der relativen Entzerrung von Abtastdaten. - Deutsche Geodätische Kommission, Bayerische Akademie der Wissenschaften, DGK-Reihe C, Nr. 268, 74 S., München.

ANMERKUNGEN ZUR STATISTISCHEN AUSWERTUNG VON WALDZUSTANDSDATEN

P. Mandl

Universität Klagenfurt

EINLEITUNG

Moderne empirische Wissenschaft versucht heute mit exakten quantitativen Verfahren Datenmengen aufzubereiten und zu analysieren um abgesicherte Aussagen zu theoriebegründeten Hypothesen machen zu können. Mathematik, Statistik und EDV stellen dabei wichtige Methodenquellen und Hilfsmittel dar. Bei konkreten empirischen Arbeiten ist es daher notwendig bereits bestehende Methoden für das spezielle Problem zu adaptieren und zu einem in sich schlüssigen Verfahren zu kombinieren.

Im folgenden sollen einige methodische Aspekte der Aufbereitung, Aggregierung und Darstellung von Interpretationsergebnissen der Waldzustandserhebung Lavanttal - Petzen 1984 (Sofortprogramm der Forschungsinitiative gegen das Waldsterben), die aufgrund von Luftaufnahmen mit Infrarot - Falschfarbfilm durchgeführt wurde, behandelt werden. Ziel dieser Erhebung ist die Ausgrenzung von Gebieten, die Bäume mit ähnlicher Vitalitätszustandsverteilung beinhalten, d.h. eine Regionalisierung des Untersuchungsgebietes aufgrund der erhobenen Daten. Auf die dazu notwendige Stratifizierung des Untersuchungsgebietes, d.h. die Schichtung des Datenpaketes etwa nach Höhenlage, Hangneigung, Exposition, Lage zu Emittenten, etc., soll hier nicht näher eingegangen werden, da dies zur Erklärung der vorgestellten Methodik nicht notwendig erscheint. Die folgenden Überlegungen sind daher rein statistischer Natur und finden nur im vierdimensionalen Merkmalsraum der erhobenen Vitalitätsstufen der Waldzustandserhebung Lavanttal - Petzen 1984 statt. Der konkrete Raumbezug der Interpretationsdaten und die sich daraus ergebenden methodischen Probleme sollen hier unerwähnt bleiben. Das hier vorgestellte Verfahren der graphischen Darstellung bestandesweiser Waldzustandsdaten eignet sich nicht nur zur Bearbeitung von Luftbildanalyseergebnissen, sondern könnte auch zur Darstellung der Ergebnisse der Waldzustandsinventur herangezogen werden.

VITALITÄTSKENNZIFFER, VITALITÄTSINDEX BZW. GEWICHTETES ARITHMETISCHES MITTEL DES VITALITÄTSZUSTANDES VON WALDBESTÄNDEN

In der Waldzustandserhebung Lavanttal - Petzen 1984 (siehe auch dazu den Beitrag von M. SEGER in diesem Band und SEGER 1985) wurden am Institut für Geographie der Universität Klagenfurt der Schädigungsgrad (Vitalitätsstufen 1 bis 4) von, durch ein Stichprobenverfahren ausgewählten Bäumen aufgrund von Infrarot - Falschfarbenluftbildern beurteilt. Die Daten liegen aufgeschlüsselt nach Baumarten (Fichte, Buche, Kiefer, Lärche und Tanne), jeweils zu Beständen zusammengefaßt EDV-gespeichert vor.

In Österreich ist es nun üblich bei Studien dieser Art die einzelnen Bestände durch eine Maßzahl, den sog. Vitalitätsindex zu charakterisieren. Dieser Index ist das durch die Zahlen 1 bis 4 gewichtete arithmetische Mittel der Einzelbaumvitalitätsstufen, d.h.

$$I = \frac{1 \cdot h_1 + 2 \cdot h_2 + 3 \cdot h_3 + 4 \cdot h_4}{h_1 + h_2 + h_3 + h_4},$$

wobei h_i die absoluten Häufigkeiten der Bäume in den einzelnen Vitalitätsstufen sind. Bei einer solchen Vorgangsweise, d.h. der Gewichtung der Vitalitätsstufenbesetzungszahlen mit den natürlichen Zahlen von 1 bis 4 setzt man stillschweigend voraus, daß das Verhältnis der Vitalitätsstufenwerte genau diesen Gewichtungsfaktoren entspricht. Diese Annahme ist aber durch nicht begründet. Man könnte als Gewichtungsfaktoren genauso gut 0.5, 1.2, 2 und 3 nehmen. Die Vitalitätsstufen sind Rangdaten und eignen sich daher nur bedingt als Gewichtungsfaktoren.

Der Mittelwert allein, ohne Angabe der zugehörigen Streuung ist außerdem wenig aussagekräftig. Weiters muß noch bemerkt werden, daß die erhobenen Daten mehrfach geschichtete Stichproben darstellen und daher eine Fehleranalyse unumgänglich ist, wenn Schlüsse auf die Grundgesamtheit aller Bäume im Untersuchungsgebiet gezogen werden sollen. Eine ausgezeichnete Einführung in die Problematik der Stichprobenfehlerabschätzung gibt HRADETZKY (1984) am Beispiel der Waldschadensinventur Baden-Württemberg 1983.

Trotz dieser Bedenken dem Vitalitätsindex gegenüber, liefert das praktische Arbeiten mit dieser Maßzahl brauchbare Ergebnisse, wie im Beitrag von M. SEGER in diesem Band gezeigt wurde. Außerdem erleichtert die Charakterisierung eines Bestandes mit einer einzigen Kennziffer die weitere Bearbeitung der Daten wesentlich. Die Durchführung von Korrelationen etwa mit geoökologischen Bestandesmerkmalen wird sehr vereinfacht. Für das Ziel der Waldzustandserhebung Lavanttal - Petzen 1984, der Einteilung der Bestände in Vitalitätsklassen bzw. -typen, ist die Notwendigkeit der Datenreduktion nicht gegeben, da die verwendeten Methoden zur Bearbeitung multivariater Datenmengen geeignet sind und damit der volle Informationsgehalt der erhobenen Daten genützt werden kann.

VERTEILUNGSHISTOGRAMME DER VITALITÄTSSTUFEN IN WALDZUSTANDSERHEBUNGEN

Berechnet man pro Bestand die relativen Anteile der Bäume in den einzelnen Vitalitätsstufen an der Gesamtzahl der aufgenommenen Bäume und stellt diese graphisch in Säulendiagrammen dar, so resultieren daraus für das gesamte Untersuchungsgebiet, Teile oder Straten davon, Verteilungshistogramme der Vitalitätsstufen. Abb. 1 zeigt einen standardisierten Ausdruck des Histogrammes für die Baumart Fichte in allen Beständen des Untersuchungsgebietes Lavanttal - Petzen. Ein Problem bei der Erstellung der Histogramme, die eine vierdimen-

sionale Verteilung darstellen, ist die Anordnung der Bestandesdaten nach einem Kriterium, das leicht zu berechnen ist und mit dessen Hilfe das Histogramm eine leicht lesbare Form erhält. Hier erweist sich der Vitalitätsindex als ausgezeichnetes Ordnungskriterium (in den Histogrammen durch Sternchen symbolisiert). In den Abbildungen ist weiters die Standardabweichung oberhalb und unterhalb des Mittelwertes eingetragen.

Stellt man nun einzelne Teilbereiche des Untersuchungsgebietes (Abb. 2 - 5), unterschiedliche Baumarten (Abb. 6 und 7) oder nach anderen Kriterien stratifizierte Bestandesmengen auf solche Weise standardisiert graphisch dar, ist es möglich den Vitalitätszustand der abgebildeten Bestandesmenge auf einen Blick zu beurteilen. Eine noch durchzuführende Arbeit ist die Ermittlung von Histogrammprototypen, die als Musterbestandesmengen eine Klassifikation der Verteilungshistogramme der Vitalitätsstufen ermöglichen sollen. Das soll anhand der Daten der Waldzustandserhebung Lavanttal - Petzen 1985 durchgeführt werden, da dort eine wesentlich größere Anzahl von interpretierten Baumbeständen vorliegen wird.

DIE ERMITTLUNG VON VITALITÄTSKLASSEN MIT HILFE DER CLUSTERANALYSE

Beim ersten österreichischen Symposium Fernerkundung hat J. POLLANSCHOTZ (1980) ein den Verteilungshistogrammen der Vitalitätsstufen ähnliches Histogramm vorgestellt. Es diente primär dazu, sog. Vitalitätszonen bzw. Vitalitätsklassen in einem Untersuchungsraum zu beschreiben, d.h. durch ordinatenparallele Grenzlinien Schädigungsklassen von Nadelwaldbeständen zu definieren.

Ähnliches wird von M. SEGER in mehrfacher Weise für die Waldzustandsdaten Lavanttal - Petzen 1984 durchgeführt (Aufsatz in diesem Band). Die dort gewählten Klassengrenzen entsprechen pragmatischen Gründen. Unterzieht man die Daten der Waldzustandserhebung einer Clusteranalyse (BMDP-Programm PKM, k-means clustering of cases, Euklidischer Abstand als Distanzmaß, 30 Iterationen) mit vier Clustern, so ergibt sich das Bild, das in Abb. 8 in standardisierter Form dargestellt ist. Die Clustermittelpunkte haben folgende Koordinaten, d.h. Besetzungsprozentwerte der vier Vitalitätsstufen:

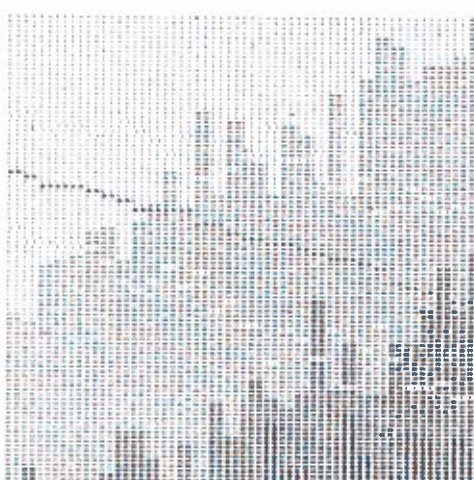
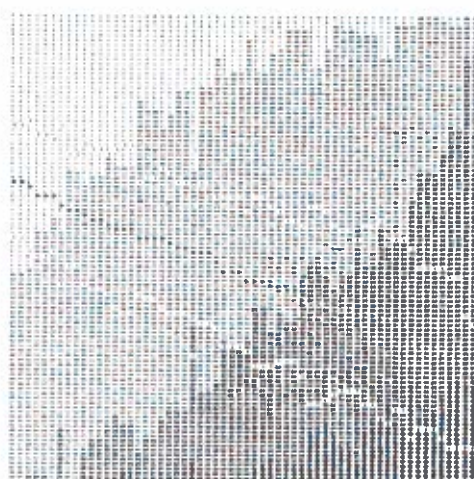
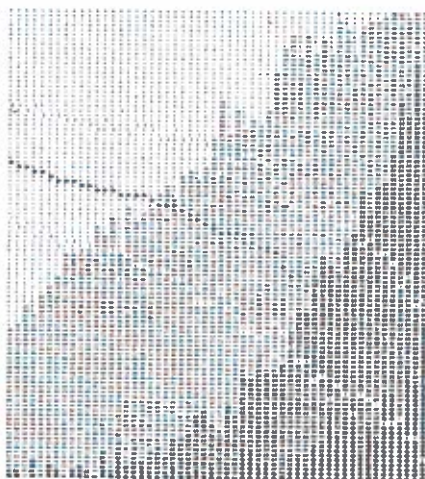
Cluster	Vitalitätsstufen			
	1	2	3	4
1	58.2	38.8	2.6	0.5
2	34.6	55.7	8.5	1.2
3	8.3	56.3	29.8	5.6
4	2.0	28.1	54.7	15.1

Das ergibt folgende Grenzwerte des Vitalitätsindex:

Cluster 1	1.209 - 1.654
Cluster 2	1.531 - 2.054
Cluster 3	2.000 - 2.638
Cluster 4	2.455 - 3.200

was genau den Grenzwerten von M. SEGER entspricht.

Für das analysierte Datenpaket scheinen diese Grenzwerte passend zu sein. Datenteilmengen können natürlich wieder völlig anders strukturiert sein. Die Histogrammanalyse in Verbindung mit einer Clusteranalyse scheint aber trotzdem ein Verfahren zu sein, daß sich zur datenadäquaten Auswertung von Waldzustandsdaten, terrestrisch erhoben oder aus Luftbildern interpretiert, sehr gut eignet.



Vitalitätsstufen: 1: * 2: : 3: % 4: a
 Vitalitätsindex: * , Standardabweichung: -

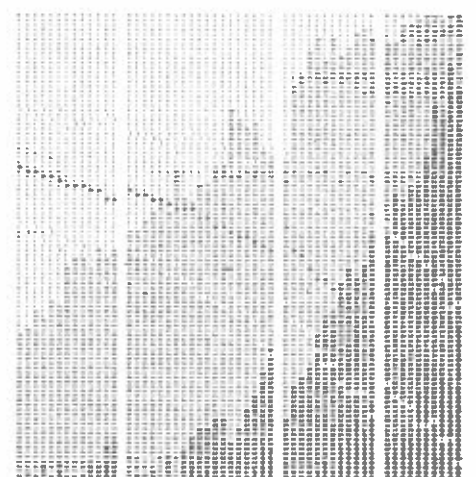
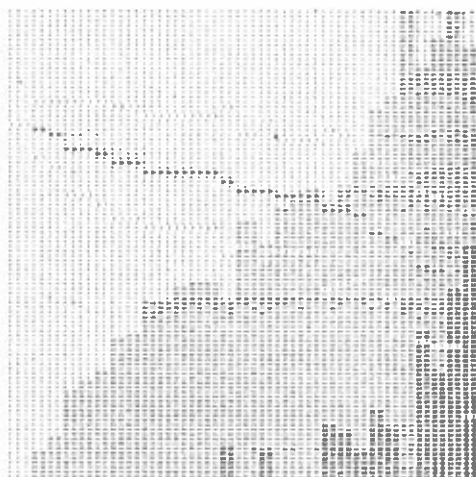
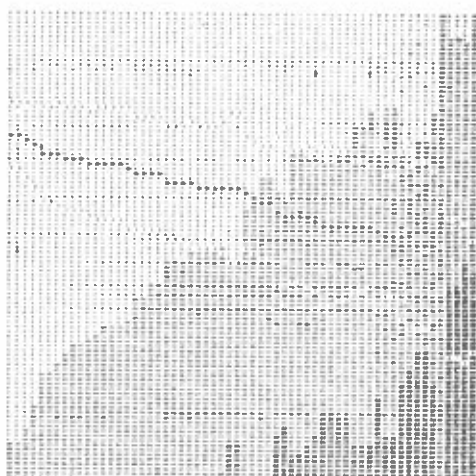
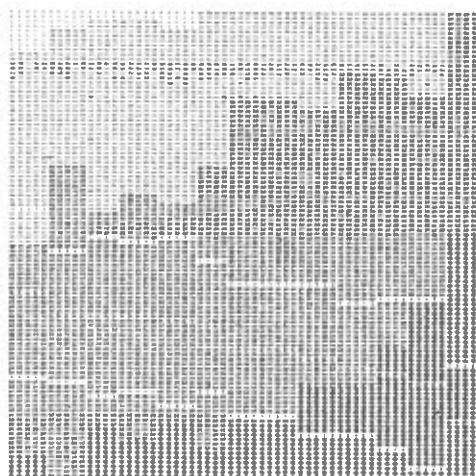
Verteilungshistogramme der Vitalitätsstufen, Waldzustandserhebung Lavanttal - Petzen 1984

Abb.1: alle Bestände des Untersuchungsgebietes Lavanttal - Petzen, Baumart Fichte

Abb.2: Untersuchungsteilgebiet Koralpe, Baumart Fichte

Abb.3: Untersuchungsteilgebiet Saualpe, Baumart Fichte

Abb.4: Untersuchungsteilgebiet Petzen, Baumart Fichte



Vitalitätsstufen: 1: · 2: : 3: % 4: a
 Vitalitätsindex: * , Standardabweichung: -

Verteilungshistogramme der Vitalitätsstufen, Waldzustandserhebung Lavanttal - Petzen 1984

Abb.5: Untersuchungsteilgebiet
 Wollersberg, Baumart Fichte

Abb.6: gesamtes Untersuchungsgebiet,
 Baumart Buche

Abb.7: gesamtes Untersuchungsgebiet,
 Baumart Lärche

Abb.8: Clusterung nach vier Klassen,
 gesamtes Untersuchungsgebiet,
 Baumart Fichte

LITERATURHINWEISE

- HRADETZKY, J., 1984: Fehlertheoretische Überlegungen bei der Planung und Auswertung von Stichprobeninventuren. In: Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Heft 111, S.131-146.
- POLLANSCHOTZ, J., 1980: Großräumige Imissionszonenkartierung in Steiermark und Tirol mit Falschfarbenluftbildern. In: Mitt. der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, 135. Heft, S.125-133.
- SEGER, M., 1985: Farbinfrarotluftbilder als Instrument zur differenzierten Erkundung des Waldzustandes. In: Allgemeine Forstzeitung, H. 10 (Beil.).

TEILNEHMERLISTE

ASCHBACHER Josef	Institut f. Meteorologie u. Geophysik Universität Innsbruck, Innrain 52 6020 Innsbruck
BECKEL Lothar, Univ.-Doz.	Ahornstraße 12, 4820 Bad Ischl
BEISSMANN Helmut	Institut f. Kartographie, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Bäckerstr. 20 1010 Wien
BERGER Franz	Institut f. Meteorologie und Geophysik Universität Innsbruck, Innrain 52 6020 Innsbruck
BÜHM Reinhard, Dr.	Zentralanstalt f. Meteorologie und Geodynamik, Hohe Warte 38, 1190 Wien
BOHLY W. Dieter, Obstdtnt.	Bundesministerium für Landesverteidigung, Kommando FLDIV, Fliegerhorst, 3425 Langenlebarn
BUCHLEITNER Ernst, Dr.	Forstabteilung der N.Ö. Agrarbezirks- behörde, Lothringer Str. 14, 1037 Wien
BUCHROITHNER Manfred, Univ.-Doz. Dr.	Institut f. digitale Bildverarbeitung und Graphik, Forschungsgesellschaft Joanneum, Wastiangasse 6 8010 Graz
CSAPLOVICS Elmar, Dipl.-Ing. Dr.	LAD-Umweltreferat, Amt der Burgenländi- schen Landesregierung, Freiheitsplatz 7000 Eisenstadt
CZECH Jacek, Dr.	Verbundgesellschaft, Am Hof 6A, 1010 Wien
DIRMHORN Inge, Univ.-Prof. Dr.	Universität f. Bodenkultur, Gregor Mendel- str. 33, 1180 Wien
ELICIN Gökhan, Prof. Dr.	Forstliche Fakultät, Bahceköy-Istanbul, Türkei
FASCHING Gerhard, Oberst Dr.	Bundesministerium für Landesverteidigung Franz-Josefs-Kai 7 - 9, 1010 Wien
FIBICH Felix, Dipl.-Ing.	Bundesinstitut für Gesundheitswesen, Stubenring 6, 1010 Wien
FRIESINGER Herwig, Univ.-Prof. Dr.	Institut für Ur- und Frühgeschichte, Universität Wien, Universitätsstr. 7 1010 Wien

FUCHS Helmut, Dipl.-Ing. Dr.	Institut für digitale Bildverarbeitung und Graphik, Forschungsgesellschaft Joanneum, Wastiangasse 6, 8010 Graz
FUHRMANN Susanne, Dipl.-Ing.	Bundesamt f. Eich- und Vermessungswesen, Schiffamtssstr. 1-3, 1020 Wien
GANGL Georg, Dr.	Österreichische Donaukraftwerke AG Parkring 12, 1010 Wien
GOSSOW Hartmut, Univ-Prof. Dr.	Institut für Wildbiologie, Universität für Bodenkultur, Colloredo 12, 1180 Wien
GREIF Franz, Dr.	Bundesanstalt für Agrarwirtschaft, Schweizertalstr. 36, 1133 Wien
GRÜNWALD Wolfgang, Dipl.-Ing.	N.Ö. Landes-Landwirtschaftskammer, Löwelstr. 16, 1014 Wien
HAAS Karl, Hofrat Dipl.-Ing.	N.Ö. Agrarbezirksbehörde, Lothringer Str. 14 1037 Wien
HACKL Josef	Österr. Bundesinstitut für Gesundheitswesen Stubenring 6, 1010 Wien
HÄUSLER Hermann, Dr.	Institut für Geologie, Universität Wien Universitätsstr. 7, 1010 Wien
HALBMAYER Helmut, Dr.	Verbundgesellschaft, Am Hof 6A, 1010 Wien
HAYDN Rupert, Dr.	Gesellschaft für Angewandte Fernerkundung, Leonrodstr. 68, D-8 München 19, BRD
HENDERSON Floyd, Prof. Dr.	State University of New York at Albany dzt. Institut für Vermessungswesen und Fernerkundung, Universität für Bodenkultur, Peter Jordan-Str. 82, 1190 Wien
HIERMANSEDER Michael, Dr.	Fa. R.&A. Rost, Mäerzstr. 7, 1151 Wien
HIRN Albert, Senatsrat Dr.	MA 41 der Stadt Wien, Stadtvermessung, Rathausstr. 14-16, 1082 Wien
HOLZER Veronika	Institut für Ur- und Frühgeschichte Universität Wien, Universitätsstr. 7 1010 Wien
HOLZWIESER Martin	Österr. Bundesinstitut für Gesundheitswesen Stubenring 6, 1010 Wien
HÜLLER Rudolf Forstdirektor, Dipl.-Ing.	Burgenländische Landwirtschaftskammer, Esterhazystr. 15, 7000 Eisenstadt
JADOT André, Dipl.-Ing.	Fa. Eurosense, Van der Wekenstraat 158, B-1810 Wemmel, Belgien
KAISER August, Dr.	Zentralanstalt f. Meteorologie und Geodynamik, Hohe Warte 38, 1190 Wien

KALLIANY Rainer, Dipl.-Ing.	Institut für Photogrammetrie, Technische Universität Wien, Gußhausstr. 27-29, 1040 Wien
KANTNER Walter Hofrat, Dipl.-Ing.	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Gr. Landesaufnahme, Krotenthallerg. 3 1080 Wien
KNAPPITSCH Erwin, Dipl.-Ing.	Österr. Bundesinstitut für Gesundheitswesen, Stubenring 6, 1010 Wien
KOSTKA Robert, Dr.	Institut für Angewandte Geodäsie und Photogrammetrie, Technische Universität Graz, Rechbauerstr. 12, 8010 Graz
KRAULAND Hubert, Dipl.-Ing.	Österr. Draukraftwerke AG, Kohldorferstr. 98, 9020 Klagenfurt
KRAUS Karl, Univ.-Prof. Dr.	Institut für Photogrammetrie, Technische Universität Wien, Gußhausstr. 27-29, 1040 Wien
KROPAJSCH Walter, Dipl.-Ing. Dr.	Institut für digitale Bildverarbeitung und Graphik, Forschungsgesellschaft Joanneum, Wastiangasse 6, 8010 Graz
LICHTENEGGER Jürg, Dr.	ESRIN-Earthnet Programme Office, Via Galileo Galilei, Casella postale 64, I-00044 Frascati, Italien
MAES Emile, Direktor	Fa. Eurosense, Van der Vekenstraat 158, B-1810 Wemmel, Belgien
MAHRINGER Günther	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Hohe Warte 38, 1190 Wien
MANDL Peter, Mag.	Institut für Geographie, Universität Klagenfurt, Universitätsstr. 65-67, 9010 Klagenfurt
MANNBERGER Gerhard	Österr. Bundesinstitut für Gesundheitswesen, Stubenring 6, 1010 Wien
MATURA Alois, Dr.	Geologische Bundesanstalt, Rasumofskygasse 23, 1031 Wien
MAUSER Harald	Österr. Bundesinstitut für Gesundheitswesen, Stubenring 6, 1010 Wien
MAYER, Dipl.-Ing.	Forstliche Bundesversuchsanstalt, Tirolergarten - Schönbrunn, 1130 Wien
MONDRE Erwin, Dr.	Österr. Gesellschaft für Sonnenenergie und Weltraumfragen, Garnisongasse 7, 1090 Wien
MÜLLNER Horst Hofrat, Dipl.-Ing.	N.Ö. Agrarbezirksbehörde, Lothringerstr. 14, 1037 Wien

NEUWIRTH Fritz, Univ.-Doz. Dr.	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Hohe Warte 38, 1190 Wien
NIKITSCH Reinhold, Ing.	Institut für Ur- und Frühgeschichte, Universität Wien, Universitätsstr. 7, 1010 Wien
NOVAK Kurt, Dipl.-Ing.	Institut für Photogrammetrie, Technische Universität Wien, Gußhausstr. 25-27, 1040 Wien
NOWAKOWSKI Herbert, Oberrat	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Krotenthallergasse 3, 1080 Wien
ORTHOFFER Rudolf Mag. Dipl.-Ing. Dr.	Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf Ges.m.b.H., Umwelttechnik und Additivenergie, 2444 Seibersdorf
ORTNER Johannes, Prof. Dr.	Österr. Gesellschaft für Sonnenenergie und Weltraumfragen Ges.m.b.H., Garnison-gasse 7, 1090 Wien
OTEPKA Gottfried, Dipl.-Ing. Dr.	ARGE Vermessung Tirol, Innsbruckerstr. 8 6600 Reutte
PINZ Axel, Dipl.-Ing.	Institut für Vermessungswesen und Fern-erkundung, Universität für Bodenkultur, Peter Jordan-Str. 82, 1190 Wien
PIRKER Otto, Dipl.-Ing.	Österr. Elektrizitätswirtschafts AG, Wasserwirtschaft/Ökologie, Am Hof 6A, 1010 Wien
POLLANSCHÜTZ Josef Hofrat, Univ.-Prof. Dipl.-Ing.	Forstliche Bundesversuchsanstalt, Tiroler-garten - Schönbrunn, 1130 Wien
PSEINER Klaus, Dr.	Österreichische Raumfahrt- und System-technik GEs.m.b.H. (ORS), Operngasse 20b 1040 Wien
QUENDLER Thomas, Dipl.-Ing.	Österreichisches Institut für Raumplanung, Franz-Josefs-Kai 27, 1010 Wien
RABL Gunther, Dipl.-Ing.	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Schiffamtsgasse 1-3, 1020 Wien
RÜCK Hartwig C.	Geographisches Institut, Universität Innsbruck, Innrain 52, 6020 Innsbruck
ROTT Helmut, Dr.	Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Innsbruck, Innrain 52, 6020 Innsbruck
RUBAN Peter, Dr.	Verbundgesellschaft, Am Hof 6A, 1010 Wien
SAMBOR Horst, Amtsdirektor	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Krotenthallergasse 3, 1080 Wien

SANDRIESER Gerd	Kreuzgasse 39/2/2/4, 1180 Wien
SCHÄFER Karl, Dipl.-Ing.	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Krotenthallergasse 3, 1080 Wien
SCHAMANN Martin, Dipl.-Ing.	Österr. Bundesinstitut für Gesundheitswesen, Stubenring 6, 1010 Wien
SCHILLER G., Dr.	Verbundgesellschaft, Am Hof 6A, 1010 Wien
SCHLEDERER Raimund, Mag.	Österreichisches Institut f. Raumplanung, Franz-Josefs-Kai 27, 1010 Wien
SCHNEIDER Wernder, Dr.	Institut für Vermessungswesen und Fern- erkundung, Universität f. Bodenkultur, Peter Jordan-Str. 82, 1190 Wien
SCHUBERT Hanns, Dipl.-Ing.	Kremser Landstraße 2, 3100 St. Pölten
SEGER Martin, Univ.-Prof. Dr.	Institut für Geographie, Universität Klagenfurt, Universitätsstr. 65 u. 67 9010 Klagenfurt
SEIDELBERGER Friedrich Oberbaurat, Dipl.-Ing.	Amt der N.Ö. Landesregierung, Abtlg. B/9, Operngasse 21, 1040 Wien
STECHAUNER Alfred Hofrat, Dipl.-Ing.	N.Ö. Agrarbezirksbehörde, Lothringer- str. 14, 1037 Wien
STOLITZKA Gerhard Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.	Institut für Vermessungswesen und Fern- erkundung, Universität für Bodenkultur Peter Jordan-Str. 82, 1190 Wien
STRENN Leopold, Dipl.-Ing.	Bundesamt für Eich- und Veremssungswesen, Krotenthallerg. 3, 1080 Wien
SUETTE Gunther, Dr.	Institut für Umweltgeologie, Forschungs- gesellschaft Joanneum, Elisabethstr. 5/I 8010 Graz
TIROCH Rudolf, Dipl.-Ing.	Forstliche Bundesversuchsanstalt, Tiroler- garten - Schönbrunn, 1130 Wien
TOMICZEK Christian, Dipl.-Ing. Dr.	Fostliche Bundesversuchsanstalt, Tiroler- garten - Schönbrunn, 1130 Wien
WALDHÄUSEL Peter, Univ.-Prof. Dr.	Institut für Photogrammetrie, Technische Universität Wien, Gußhausstr. 25-27, 1040 Wien
WALLNER Christian, Dipl.-Ing.	N.Ö. Agrarbezirksbehörde, Lothringer- str. 14, 1037 Wien
WANDL Michael, Dipl.-Ing.	Institut für Kartographie, Technische Universität Wien, Karlsgasse 11, 1040 Wien

WEGER Heinz, Amtsrat, Ing.	Amt der O.Ö. Landesregierung, Kärntnerstr. 12, 4020 Linz
WEIKL Gerald, Dipl.-Ing.	Fa. Klaus Enger-Öhn, Vermessungswesen, Franz Josef-Str. 33, 5020 Salzburg
WENDNER Günter, Olt.	Bundesministerium für Landesverteidigung FlBikp Fliegerhorst, 3425 Langenlebarn
XU Ging Queng, Msc.	Institut für digitale Bildverarbeitung und Graphik, Forschungsgesellschaft Joanneum, Wastiangasse 6, 8010 Graz
ZIMMERMANN Kurt, Dipl.-Ing.	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Hohe Warte 38, 1190 Wien
ZIRM Konrad, Dr.	Österr. Bundesinstitut f. Gesundheitswesen, Stubenring 6, 1010 Wien
ZWATZ-MEISE Veronika, Dr.	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Hohe Warte 38, 1190 Wien

Sekretariat

DIEHL Barbara	Österreichische Gesellschaft für Sonnen- energie und Weltraumfragen Ges.m.b.H. (ASSA), Garnisongasse 7, 1090 Wien
STARNBACHER Eva	Forstliche Bundesversuchsanstalt, Tiroler- garten - Schönbrunn, 1130 Wien

Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien

Heft Nr.

126 JELEM Helmut: "Waldgebiete in den österreichischen Südalpen", Wuchsraum 17,
(1979) Beilagen (Rolle)
Preis ö. S. 300,-

127 "Pests and Diseases / Krankheiten und Schädlinge / Maladies et Parasites",
(1979) International Poplar Commission (IPC/FAO)
XX. Meeting of the Working Group on Diseases
Preis ö. S. 150,-

128 GLATTES Friedl: "Dünnschichtchromatographische und mikrobiologische Unter-
(1979) suchungen über den Zusammenhang zwischen Düngung und Pilzwachstum am
Beispiel einiger Pappelklone"
Preis ö. S. 100,-

129 "Beiträge zur subalpinen Waldforschung"
(1980) 2. Folge
Preis ö. S. 200,-

130 "Zuwachs des Einzelbaumes und Bestandesentwicklung"
(1980) Gemeinsame Sitzung der Arbeitsgruppen S4.01-02 "Zuwachsbestimmung" und
S4.02-03 "Folgeinventuren", 10. - 14. September 1979 in Wien
Preis ö. S. 300,-

131 "Beiträge zur Rauchsadenssituation in Österreich"
(1980) IUFRO Fachgruppe S2.09-00
XI. Internationale Arbeitstagung forstlicher Rauchsadenssachverständiger-
Exkursion, 1. - 6. September 1980 in Graz, Österreich
Preis ö. S. 300,-

132 JOHANN Klaus, POLLANSCHÜTZ Josef: "Der Einfluß der Standraumregulierung
(1980) auf den Betriebserfolg von Fichtenbetriebsklassen"
Preis ö. S. 150,-

133 RUF Gerhard: "Literatur zur Wildbach- und Lawinenverbauung 1974 - 1978"
(1980)
Preis ö. S. 120,-

Heft Nr.

- 134 NEUMANN Alfred †: "Die mitteleuropäischen Salix-Arten"
(1981)
Preis ö. S. 200,-
Taschenbucheausgabe Preis ö. S. 150,-
- 135 "Österreichisches Symposium Fernerkundung"
(1981) Veranstaltet von der Arbeitsgruppe Fernerkundung der Österreichischen
Gesellschaft für Sonnenenergie und Weltraumfragen (ASSA) in Zusammenarbeit
mit der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, 1. - 3. Oktober 1980 in Wien
Preis ö. S. 250,-
- 136 "Großdüngungsversuch Pinkafeld"
(1981) JOHANN Klaus: "Ertragskundliche Ergebnisse"
STEFAN Klaus: "Nadelanalytische Ergebnisse"
Preis ö. S. 150,-
- 137/I "Nachweis und Wirkung forstschädlicher Luftverunreinigungen"
(1981) IUFRO-Fachgruppe S2.09-00 Luftverunreinigungen. Tagungsbeiträge zur XI.
Internationalen Arbeitstagung forstlicher Rauchsachverständiger,
1. - 6. September 1980 in Graz, Österreich
Preis ö. S. 180,-
- 137/II "Nachweis und Wirkung forstschädlicher Luftverunreinigungen"
(1981) IUFRO-Fachgruppe S2.09-00 Luftverunreinigungen. Tagungsbeiträge zur XI.
Internationalen Arbeitstagung forstlicher Rauchsachverständiger,
1. - 6. September 1980 in Graz, Österreich
Preis ö. S. 200,-
- 138 "Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung" (3)
(1981) IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 Wildbäche, Schnee und Lawinen
Preis ö. S. 200,-
- 139 "Zuwachskundliche Fragen in der Rauchsachschadensforschung"
(1981) IUFRO-Arbeitsgruppe S2.09-10 "Diagnose und Bewertung von
Zuwachsänderungen", Beiträge zum XVII. IUFRO-Kongress
Preis ö. S. 100,-
- 140 "Standort: Klassifizierung-Analyse-Anthropogene Veränderungen"
(1981) Beiträge zur gemeinsamen Tagung der IUFRO-Arbeitsgruppen S1.02-06,
Standortklassifizierung, und S1.02-07, Quantitative Untersuchung von
Standortsfaktoren, 5. - 9. Mai 1980 in Wien, Österreich
Preis ö. S. 250,-

Heft Nr.

- 141 MÜLLER Ferdinand: "Bodenfeuchtigkeitsmessungen in den Donauauen des
(1981) Tullner Feldes mittels Neutronensonde"
Preis ö. S. 150,-
- 142/I "Dickenwachstum der Bäume"
(1981) Vorträge der IUFRO-Arbeitsgruppe S1.01-04, Physiologische Aspekte der
Waldökologie, Symposium in Innsbruck vom 9. - 12. September 1980
Preis ö. S. 250,-
- 142/II "Dickenwachstum der Bäume"
(1981) Vorträge der IUFRO-Arbeitsgruppe S1.01-04, Physiologische Aspekte der
Waldökologie, Symposium in Innsbruck vom 9. - 12. September 1980
Preis ö. S. 250,-
- 143 MILDNER Herbert, HASZPRUNAR Johann, SCHULTZE Ulrich: "Weginventur im
(1982) Rahmen der Österreichischen Forstinventur"
Preis ö. S. 150,-
- 144 "Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung" (4)
(1982) IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 Wildbäche, Schnee und Lawinen
Preis ö. S. 300,-
- 145 MARGL Hermann: "Zur Alters- und Abgangsgliederung von (Haar-)
(1982) Wildbeständen und deren naturgesetzlicher Zusammenhang mit dem Zuwachs und
dem Jagdprinzip"
Preis ö. S. 100,-
- 146 MARGL Hermann: "Die Abschüsse von Schalenwild, Hase und Fuchs in Beziehung
(1982) zu Wildstand und Lebensraum in den politischen Bezirken Österreichs"
Preis ö. S. 200,-
- 147 "Forstliche Wachstums- und Simulationsmodelle"
(1983) Tagung der IUFRO-Fachgruppe S4.01-00 Holzmessung, Zuwachs und Ertrag, vom
4. - 8. Oktober 1982 in Wien
Preis ö. S. 300,-
- 148 HOLZSCHUH Carolus: "Bemerkenswerte Käferfunde in Österreich" III
(1983) Preis ö. S. 100,-

Heft Nr.

- 149 SCHMUTZENHOFER Heinrich: "Über eine Massenvermehrung des Rotköpfigen
(1983) Tannentriebwicklers (Zeiraphera rufimitrana H.S.) im Alpenvorland nahe
Salzburg"
Preis ö. S. 150,-
- 150 SMIDT Stefan: "Untersuchungen über das Auftreten von Sauren Niederschlägen
(1983) in Österreich"
Preis ö. S. 150,-
- 151 "Forst- und Jagdgeschichte Mitteleuropas"
(1983) Referate der IUFRO-Fachgruppe S6.07-00 Forstgeschichte, Tagung in Wien vom
20. - 24. September 1982
Preis ö. S. 150,-
- 152 STERBA Hubert: "Die Funktionsschemata der Sortentafeln für Fichte in
(1983) Österreich"
Preis ö. S. 100,-
- 153 "Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung" (5)
(1984) IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 Wildbäche, Schnee und Lawinen
Preis ö. S. 250,-
- 154/I "Österreichische Forstinventur 1971 - 1980, Zehnjahresergebnis"
(1985) Preis ö. S. 220,-
- 154/II "Österreichische Forstinventur 1971 - 1980, Inventurgespräch"
(1985) Preis ö. S. 100,-
- 155 Braun Rudolf: "Über die Bringungslage und den Werbungsaufwand im
(1985) österreichischen Wald"
Preis ö. S. 250,-
- 156 "Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung" (6)
(1985) IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 Wildbäche, Schnee und Lawinen
Preis ö. S. 250,-
- 157 "Zweites österreichisches Symposium Fernerkundung"
(1986) Veranstaltet von der Arbeitsgruppe Fernerkundung der Österreichischen
Gesellschaft für Sonnenenergie und Weltraumfragen (ASSA) in Zusammenarbeit
mit der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, 2. - 4. Oktober 1985 in Wien
Preis ö. S. 250,-

ANGEWANDTE PFLANZENSOZIOLOGIE

Heft Nr.

- XX MARTIN-BOSSE Helke: "Schwarzföhrenwälder in Kärnten"
(1967) Preis ö. S. 125,-
- XXI MARGL Hermann: "Waldgesellschaften und Krummholz auf Dolomit"
(1973) Preis ö. S. 60,-
- XXII SCHIECHTL Hugo Meinhard, STERN Roland: "Die Zirbe (Pinus Cembra L.) in den Ostalpen", I. Teil
(1975) Preis ö. S. 100,-
- XXIII KRONFUSS Herbert, STERN Roland: "Strahlung und Vegetation"
(1978) Preis ö. S. 200,-
- XXIV SCHIECHTL Hugo Meinhard, STERN Roland: "Die Zirbe (Pinus Cembra L.) in den Ostalpen", II. Teil
(1979) Preis ö. S. 100,-
- XXV MÜLLER H. N.: "Jahringwachstum und Klimafaktoren"
(1980) Preis ö. S. 100,-
- XXVI "Alpine Vegetationskartographie"
(1981) Preis ö. S. 300,-
- XXVII SCHIECHTL Hugo Meinhard, STERN Roland: "Die Zirbe (Pinus Cembra L.) in den Ostalpen", III. Teil
(1983) Preis ö. S. 200,-
- XXVIII SCHIECHTL Hugo Meinhard, STERN Roland: "Die Zirbe (Pinus Cembra L.) in den Ostalpen", IV. Teil
(1984) Preis ö. S. 200,-

Bezugsquelle

Österreichischer Agrarverlag
A-1141 Wien

47/10 GLURNS

ORTHOPHOTOKARTE / WINTERBILD





Orthophotoherstellung: Institut für Photogrammetrie der TU Wien
© Institut für Photogrammetrie und Kartographie der TU Wien, 1985

Kartographische Bearbeitung und Druck: Institut für
Kartographie und Reproduktionstechnik der TU Wien

1:200 000



Das Kartenblatt wurde aus Gründen einer besseren Geländeveranschaulichung nach Süden orientiert.