

PRG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

Organ der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie,
Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.

Jahrgang 2003, Heft 1

Hauptschriftleiter:
Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Szangolies

Schriftleiter:
Dr. rer.nat. Carsten Jürgens und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert

Redaktionsbeirat (Editorial Board): Ralf Bill, Christian Heipke, Olaf Hellwich,
Barbara Koch, Hans-Gerd Maas, Jochen Schiewe, Matthäus Schilcher, Christiane
Schmullius und Monika Sester.



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2003



Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung
und Geoinformation (DGPF) e.V.
Gegründet 1909

Die *Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation* (DGPF) e.V. unterstützt als Mitglieds- bzw. Trägergesellschaft die folgenden Dachverbände:



International Society
for Photogrammetry
and Remote Sensing

DAGM

Deutsche Arbeits-
gemeinschaft für
Mustererkennung e.V.



Alfred-Wegener-Stiftung
(AWS) zur Förderung
der Geowissenschaften

Herausgeber:

© 2003 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.
Geschäftsstelle: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Ostmarkstraße 92, D-48145 Münster, e-mail: Praesident@dgpf.de
Internet: <http://www.dgpf.de>

Published by:

E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3 A,
D-70176 Stuttgart. Tel.: 07 11/35 14 56-0, Fax: 07 11/35 14 56-99, e-mail: mail@schweizerbart.de
© Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

All rights reserved including translation into foreign languages. This journal or parts thereof may not be reproduced in any form without permission from the publishers.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in dieser Zeitschrift berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Verantwortlich für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren.

ISSN 1432-8364

Hauptschriftleiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Szangolies, Closewitzer Str. 44, D-07743 Jena.
e-mail: Klaus.Szangolies@t-online.de

Schriftleiter: Dr. rer.nat. Carsten Jürgens, Universität Regensburg, Institut für Geographie D-93040 Regensburg, Fax: 49-941-943 49 33, e-mail: carsten.juergens@geographie.uni-regensburg.de und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 103, D-14473 Potsdam, e-mail: eckhardt.seyfert@lvermap.brandenburg.de

Erscheinungsweise: 7 Hefte pro Jahrgang.

Bezugspreis im Abonnement: € 98,- pro Jahrgang. Mitglieder der DGPF erhalten die Zeitschrift kostenlos.

Anzeigenverwaltung: Dr. E. Nägele, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3A, D-70176 Stuttgart, Tel.: 07 11/35 14 56-0; Fax: 07 11/35 14 56-99.
e-mail: mail@schweizerbart.de

Bernhard Harzer Verlag GmbH, Westmarkstraße 59/59 a,
D-76227 Karlsruhe, Tel.: 0721/9440 20, Fax 0721/9440 230, e-mail: Info@harzer.de,
Internet: www.harzer.de

Printed in Germany by Tutte Druckerei GmbH, D-94121 Salzweg bei Passau

PFG – Jahrgang 2003, Heft 1

Inhaltsverzeichnis

Originalbeiträge

HILL, J.: Interdisziplinäre Geofernerkundung im Fachbereich Geographie/Geowissenschaften der Universität Trier	5
HILL, J. & MEHL, W.: Geo- und radiometrische Aufbereitung multi- und hyperspektraler Daten zur Erzeugung langjähriger kalibrierter Zeitreihen	7
RÖDER, A., HILL, J. & HOSTERT, P.: Fernerkundung und Geodatenverarbeitung zum Monitoring von Desertifikation und Degradation im mediterranen Raum	15
SCHLERF, M., HILL, J., BÄRISCH, S. & ATZBERGER, C.: Einfluss der spektralen und räumlichen Auflösung von Fernerkundungsdaten bei der Nadelwaldklassifikation	27
UDELHOVEN, T., HOSTERT, P., JARMER, T. & HILL, J.: Klassifikation von Getreideflächen mit hyperspektralen Bilddaten des HyMap-Sensors	35
JARMER, T., KÖTZ, B. & ATZBERGER, C.: Spektroradiometrische Ableitung biophysikalischer Vegetationsparameter von Weizenbeständen: Vergleichende Untersuchung verschiedener empirisch-statistischer Verfahren	43
ATZBERGER, C.: Möglichkeiten und Grenzen der fernerkundlichen Bestimmung biophysikalischer Vegetationsparameter mittels physikalisch basierter Reflexionsmodelle	51

Berichte und Mitteilungen

Berichte

CIPA Workshop WG 6, 1./2.9.2002 in Korfu, Griechenland	63
ISPRS Symposium Kommission V, 2.–6.9.2002 in Korfu, Griechenland	63
ISPRS Symposium Kommission VI, 16.–18.9.2002 in Sao Jose dos Campos, Brasilien	65
DGM-Anwenderseminar am 24.9.2002 in Karlsruhe	67
EuroGeographics vom 30.9. bis 2.10.2002 in Frankfurt a.M.	68
19. DFD Nutzerseminar 15./16.10.2002 in Oberpfaffenhofen	69
INTERGEO 2002 vom 16. bis 18.10.2002 in Frankfurt a.M.	71
50 Jahre Deutsche Geodätische Kommission am 25.10.2002 in München	72
ISPRS-CNES Initiative „HRS Study Team“	73
Kompetenzzentrum »GiN« gegründet	74
Hochschulnachrichten	
Technische Universität München	75
Persönliches	
Prof. PETER WALDHÄUSL zum 70. Geburtstag	76
Prof. RUDOLF FÖRSTNER zum 90. Geburtstag	77
Mitteilungen der DGPF – PFG-Neuerungen	78
Zum Titelbild	79
Neuerscheinungen	80

Interdisziplinäre Geofernerkundung im Fachbereich Geographie/Geowissenschaften der Universität Trier

JOACHIM HILL, Trier

Die Fernerkundung ist an der Universität Trier bereits seit den siebziger Jahren in die damals noch überwiegend auf die Ausbildung von Lehramtskandidaten ausgerichtete Geographieausbildung eingebunden. Mit Einführung des Diplomstudienganges Geographie (1977) wurden weitere geowissenschaftliche Fachabteilungen angesiedelt. Diese interdisziplinäre Erweiterung der Ausbildungs- und Forschungsaktivitäten führte in den achtziger Jahren zur Schaffung des eigenständigen Fachbereichs Geographie/Geowissenschaften; es folgte die Erweiterung der Ausbildungsgänge durch die Diplomstudiengänge Angewandte Umweltwissenschaften (1996) und Angewandte Biogeographie (2001).

Für die Fernerkundung ergab sich damit die im Rahmen der traditionellen geographischen Ausbildungsgänge nicht häufig anzutreffende Möglichkeit, sich in einer starken geo- und biowissenschaftlichen Vernetzung weiter zu entwickeln und entsprechende Ausbildungs- und Forschungsaktivitäten zu entfalten. Während die Ausbildung im Grundlagenbereich um Elemente der quantitativen optischen Fernerkundung und der digitalen Photogrammetrie erweitert wurde, fand zugleich eine Ergänzung durch Einbindung von Grundlagen der allgemeinen Geoinformationsverarbeitung statt.

Auch die fernerkundliche Forschung wurde seit 1995 weitestgehend interdisziplinär ausgerichtet. Neben Projekten der Grundlagenforschung, die unter anderem durch das DLR, die Stiftung Innovation des Landes Rheinland-Pfalz, im Zuge des Sonderforschungsbereichs 522 „Umwelt und Region“ durch die DFG, oder auch durch die German-Israeli Foundation for Scientific Research and Development gefördert

wurden, konnten Projekte mit stärker anwendungsorientierten Fragestellungen hauptsächlich im Rahmen der EU-Förderung durchgeführt werden. In einigen dieser Projekte (DeMon-II, GeoRange und auch im zurzeit anlaufenden GMES-Projekt Ladamer) lag bzw. liegt auch die wissenschaftliche Koordination der jeweiligen Forschergruppen bei der Abteilung Fernerkundung der Universität Trier.

Die Beiträge in diesem Heft können nur einen Teil dieser Arbeiten beleuchten. Dennoch sollte der Leser nachvollziehen können, dass die Geofernerkundung an der Universität Trier mit ihren Forschungsschwerpunkten interdisziplinär orientiert ist. Neben Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich der Datenprozessierung und Aspekten der Reflexionsmodellierung steht die Integration von Fernerkundungsdaten in Studien zum vertieften Prozessverständnis im Mittelpunkt. Dies gilt sowohl für die Untersuchungen zu land- und forstwirtschaftlichen Fragestellungen, der Parametrisierung von Simulationsmodellen zum Wasser- und Stofftransport, wie auch für die Arbeiten zur Dynamik von Degradationsvorgängen in mediterranen Landschaftsräumen. Neben den naturwissenschaftlichen Interaktionsfeldern wird zunehmend auch die Integration der Fernerkundung und Geoinformationsverarbeitung in sozioökonomische Prozessbereiche eine Rolle spielen.

Ich möchte diese Gelegenheit nutzen, meinen Mitarbeitern, Doktoranden und Diplomanden für die engagierte Aufbauarbeit in Lehre und Forschung zu danken. Mein Dank gilt aber auch den zahlreichen Kolleginnen und Kollegen im Hause sowie im In- und Ausland, deren Mitwirkung im

Rahmen der unterschiedlichsten Projekte entscheidend zur Weiterentwicklung der Arbeiten, Kenntnisse und Ziele unserer Abteilung beigetragen haben. Zugleich muss uns das Erreichte Verpflichtung sein, auch zukünftig für die Weiterentwicklung einer zeitgemäßen universitären Ausbildung in Fernerkundung und Geoinformationsverarbeitung Sorge zu tragen. Dass dies nicht ohne drittmittelorientierte Forschung im internationalen Rahmen möglich sein wird, versteht sich von selbst.

Der Schriftleitung gilt unser Dank für die Möglichkeit zur Ausgestaltung dieses Heftes sowie die dabei gewährte Unterstützung.

Anschrift des Autors:

Prof. Dr. rer. nat. JOACHIM HILL, Abteilung Fernerkundung, Universität Trier, D-54286 Trier, Tel.: +49-651-2014592, Fax: +49-651-2013815, e-mail: hillj@uni-trier.de

Geo- und radiometrische Aufbereitung multi- und hyperspektraler Daten zur Erzeugung langjähriger kalibrierter Zeitreihen

JOACHIM HILL, Trier & WOLFGANG MEHL, Ispra/Italien

Keywords: remote sensing, optical sensor, vicarious calibration, atmospheric correction, geometric rectification, GCP identification

Zusammenfassung: Die Auswertung mittels optischer Erdbeobachtungssatelliten (z. B. Landsat, SPOT, IRS, ASTER, Ikonos oder Quickbird) oder hyperspektraler Flugzeugabtaster über mehrjährige Zeiträume erhobener Bildserien eröffnet einzigartige Möglichkeiten zur Gewinnung qualitativer und quantitativer Informationen zum Umweltzustand bzw. seiner Veränderung. Um derartige Datenreihen oder auch Einzelbefliegungen mit experimentellen Aufnahmesystemen anhand quantitativer Interpretationsansätze zur Bearbeitung umweltbezogener Fragestellungen einsetzen zu können, ist es allerdings nötig, die jeweils unter bestimmten tages- und jahreszeitlichen Bedingungen aufgenommenen Bildmessungen so aufzubereiten, dass sie möglichst den unter Standardbedingungen in Labor oder Gelände erhobenen Vergleichsmessungen entsprechen. Dazu gehören grundsätzlich zwei Verarbeitungsschritte, nämlich die Kompensation der zur Aufnahmezeit herrschenden atmosphärischen Bedingungen und geländebedingter Beleuchtungseffekte sowie die unter operationellen Gesichtspunkten optimierte Georeferenzierung der Bilddaten, die grundsätzlich eine Integration des digitalen Höhenmodells voraussetzt. Derzeit wird in der hier beschriebenen Verarbeitungskette die geometrische Prozessierung aus operationellen Gründen noch der radiometrischen Datenaufbereitung vorangestellt. Letztere schließt auch Werkzeuge zur häufig notwendigen Anpassung der radiometrischen Kalibrierung des jeweiligen Aufnahmesystems ein.

Summary: *Geo- and radiometric pre-processing of multi- and hyperspectral data for the production of calibrated multi-annual time series.* The analysis of multi-annual time series of multi-spectral earth observation satellite data (such as Landsat, SPOT, IRS, ASTER, Ikonos, or Quickbird) or airborne hyperspectral imagery offers unique opportunities for collecting qualitative and quantitative information for assessing and monitoring the state of our environment. The use of quantitative approaches in the analysis of multi- and hyperspectral data, however, requires adequate pre-processing strategies in order to render the imagery comparable to reference measurements from laboratory or field experiments. This involves basically two steps, i. e. the correction of atmospheric contributions to the radiometric signal (including corrections for terrain-induced illumination effects) and the optimised geo-coding of the resulting data sets. Due to operative constraints of the existing implementation, the geometric processing is presently performed prior to the atmospheric correction processing which also includes tools for a vicarious calibration of sensors.

1 Einleitung

Traditionell sind geometrische und radiometrische Korrekturen von Fernerkundungsdaten als getrennte Arbeitsschritte behandelt worden. Neuere Arbeitsansätze zwingen aber gerade zur Integration dieser beiden Prozessierungsbereiche, da die optimierte Korrektur atmosphärischer Einflüsse nur dann erfolgreich durchgeführt werden kann, wenn aus dem digitalen Geländemodell abzuleitende topographische Variablen direkt mit einbezogen werden. Voraussetzung dazu ist eine präzise Georeferenzierung der Bilddaten in Bezug auf das jeweils gültige Koordinatennetz. Die Verarbeitung umfangreicher Datenvolumina bei der Erstellung langjähriger Zeitreihen fordert darüber hinaus möglichst leistungsfähige, flexible und aufeinander abgestimmte Prozessierungswerkzeuge. Der hier entwickelte Korrekturansatz baut auf früheren Arbeiten der Verfasser auf, die im Rahmen mehrerer EU-geförderter Forschungsprojekte (u. a. DeMon, GeoRange) und spezieller Untersuchungen weitergeführt wurden (s. Beiträge von RÖDER et al. sowie UDELHOVEN et al. in diesem Heft).

2 Geometrische Vorverarbeitung

Die geometrische Vorverarbeitung erfordert für jeden auf ein gemeinsames Referenzgitter zu transformierenden Datensatz (Bilder, GIS-Ebenen, Höhenmodell) zwei voneinander unabhängige Schritte: die Bestimmung und Beschreibung von Transformationsparametern und die Anwendung der Transformation durch direkte Berechnung neuer Koordinaten (für Vektordaten z. B. einer GIS-Ebene) oder durch Interpolation (resampling) der Bildwerte in den Positionen des Ausgangsrasters, welche den rücktransformierten Koordinaten des Zielgitters entsprechen (für Rasterdaten); das Transformieren von Rasterdaten erfordert demnach die Bestimmung der inversen Transformation.

In der Regel ist es nicht möglich, ein vollständiges Abbildungsmodell vom bilderfassenden System in eine kartographisch nutzbare Geometrie direkt zu bestimmen; der

Abbildungsprozess ist auf natürliche Weise in Teiltransformationen getrennt (u. a. RICHARDS & JIA 1999), die unterschiedliche Beschreibungsparadigmen erfordern.

Eine potentiell besonders speicherintensive, aber leicht umkehrbare Darstellung ist die Zuordnung von Punkten (ground control points oder GCP) zwischen Ausgangsdaten und Referenzdaten, zu denen das Transformationsergebnis deckungsgleich sein soll. Die Rasterdarstellung einer Transformation kann somit als Spezialfall der GCP-Darstellung gesehen werden, welche als Zweikanalbild (Hochwert- und Rechtswertkanal) mit Angabe von Ursprungskordinaten und Gitterweite kodiert wird. Vorteile gegenüber der allgemeinen GCP-Darstellung sind direkte Adressierung benachbarter Punkte, grössere Speicherökonomie, und die Anwendbarkeit von Bildverarbeitungsalgorithmen, z. B. Resampling für das Verknüpfen zweier Transformationen.

Der manuell aufwändigste Schritt bei der geometrischen Vorverarbeitung ist das Bestimmen von GCP. Für das Referenzieren einer Zeitreihe von Bilddaten hat es sich bewährt, in nur einem Bild GCP bezüglich einer Karte zu bestimmen, und für die übrigen Bilder GCP bezüglich dieses Bildes zu finden. Im ersten Fall müssen solche Objekte auf Bild und Karte verwendet werden, die als Einzelpunkte bestimmbar sind, wie Straßenkreuzungen oder andere Schnittpunkte von linearen Objekten, oder Eckpunkte. In Aufnahmen von natürlichen Landschaften sind solche Objekte nicht immer einfach zu identifizieren; es genügt aber bei der Referenzierung von Bildern gegeneinander, wenn ausgedehnte Objekte mit gleicher Form (Helligkeitsverteilung) in beiden Bildern als deckungsgleich identifiziert werden. Diese Zuordnung kann durch Maximieren der Korrelation zwischen Bildausschnitten, welche solche Objekte enthalten, weitgehend automatisiert werden (u. a. SCHOTT 1997, RICHARDS & JIA 1999). Es wird wie folgt vorgegangen: potentiell deckungsgleiche Objekte werden in Referenz- und Ausgangsbild visuell identifiziert, mit einer groben Zuordnung je eines Punktes (R , A) in

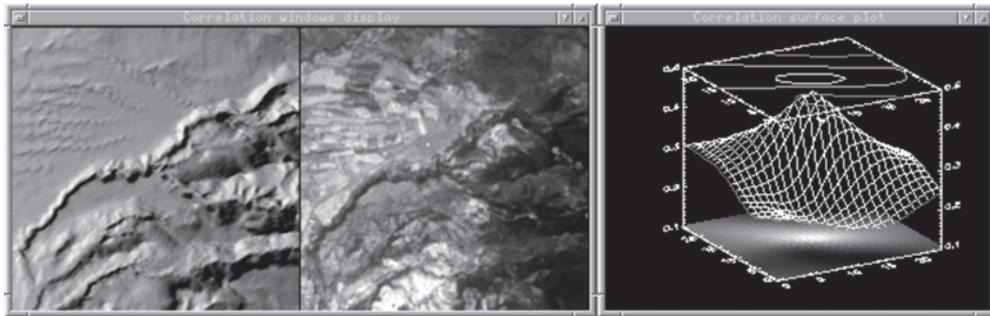


Abb. 1: GCP-Bestimmung mit FINDGCP. Aus Höhenmodell abgeleitetes Beleuchtungsbild: lokale Drehung $11,07^\circ$, Maßstabsfaktor 0,9991, Bildausschnitt 161×161 (links); Bildausschnitt TM-7 Sardinien 21.7.2000, erste Hauptkomponente (Mitte); Korrelationsprofil über 25×25 Positionen (rechts).

beiden Bildern. Drehung und Skalierung zwischen den beiden Abbildungen des Objektes werden abgeschätzt, und ein kleiner Bildausschnitt im Ausgangsbild mit Bildmittelpunkt A entsprechend auf die lokale Geometrie des Referenzbildes transformiert. Für alle Pixelpositionen um R , welche innerhalb eines Suchbereichs (in der Regel ein Quadrat) liegen, wird der Bildausschnitt dem Referenzbild überlagert und die Korrelation mit demselben berechnet; das ergibt einen Korrelationswert für jeden Punkt des Referenzbildes im Suchbereich. Die Pixelposition mit dem höchsten Korrelationswert stellt eine gegenüber R verbesserte Abschätzung der Koordinaten im Referenzbild dar, welche dem Punkt A im Ausgangsbild entsprechen. Durch eine Polynominterpolation höherer Ordnung der Korrelationswerte auf einem verdichteten Gitter im Suchbereich können die Koordinaten auf Subpixelgenauigkeit verbessert werden.

Sobald mindestens drei GCP identifiziert sind, können Rotation und Skalierung aus den vorhandenen GCP abgeschätzt, und ungefähre Koordinaten im Ausgangsbild aus zugehörigen Koordinaten im Referenzbild (und umgekehrt) hergeleitet werden. Ein visueller Vergleich zwischen Referenz- und Ausgangsbild dient dann nur zur Beurteilung der Ähnlichkeit von gleichliegenden Objekten in den beiden Bildern, und damit der Signifikanz der Korrelation; weitere Beurteilungskriterien sind der Betrag des ma-

ximalen Korrelationskoeffizienten, und die visualisierte Verteilung der Korrelationskoeffizienten im Suchbereich.

Das Verfahren ist auch für die Koregistrierung eines Bildes, welches Reliefinformation gut darstellt (z. B. eine geeignete Komponente einer Hauptachsentransformation) und einer aus dem Höhenmodell abgeleiteten Reliefdarstellung anwendbar (Abb. 1); letztere liegt oft schon in Kartenprojektion vor. Zusammen mit einigen Zusatzmodulen zur Verarbeitung von Transformationen in GCP- und Rasterdarstellung wurde dieses Verfahren zur weitgehend automatisierten Bearbeitung langer Zeitserien in der Sprache IDL (Interactive Data Language) implementiert (Programmpaket FINDGCP/GEO) und erfolgreich auf Bilddaten verschiedener Systeme (TM, RESURS, AVHRR, VEGETATION) oder auch zur Koregistrierung von Daten mit deutlich verschiedener räumlicher Auflösung angewendet. Die gegenwärtige Implementierung ermöglicht das Invertieren von Transformationen in Rasterdarstellung allerdings nur für speicherresidente Daten und ist daher typischerweise noch nicht für die operationelle Behandlung von Rastern mit mehr als 3000×3000 Bildpunkten geeignet.

Zur Behandlung reliefbedingter Bildeigenschaften wurden spezifische Module entwickelt, die sowohl zur präzisen geometrischen Rektifizierung umfangreicher EOS-Datenserien als auch zu deren radiometri-

scher Aufbereitung benötigt werden. Während zur Kompensation der perspektivischen Verzerrungen in räumlich hoch aufgelösten Satellitendaten nur die Relieffhöhe benötigt wird¹, werden mit dem in der Sprache C (ANSI) geschriebenen Programm HZ zur radiometrischen Korrektur die Illuminationsparameter $\cos \gamma$, $\cos \nu$, $\sin \eta$, ϕ , und Σ aus einem digitalen Geländemodell berechnet, wobei γ dem Winkel zwischen Flächennormaler und Einstrahlungsrichtung, ν dem Zenithwinkel der Flächennormalen (Flächenneigungswinkel), η der Sonnenhöhe über dem Horizont, ϕ dem Azimutwinkel der Flächennormalen und Σ der Abschätzung der Himmelskalotte (in %) über dem Horizont entspricht (HILL et al. 1995).

Der Parameter $\cos \gamma$ bestimmt die direkte und die anisotrope diffuse Einstrahlung, $\sin \eta$ wird zum Bestimmen einer Schattenmaske (Flächen ohne direkte und anisotrope diffuse Einstrahlung) verwendet, Σ bestimmt die isotrope diffuse Einstrahlung und wird durch Abschätzung der Horizonthöhe in 16 Richtungen berechnet. Da für die Bestimmung von η und Σ für jeden Punkt des Höhenmodells eine Suche über Profile erforderlich ist, wird das Höhenmodell voll in den Arbeitsspeicher übernommen; dies erleichtert es, HZ um weitere Funktionen zu erweitern, wie z. B. um die Berechnung von Parametern zur perspektivischen Geometriekorrektur oder weiteren Relief beschreibenden Größen.

¹ Bislang wurde die Korrektur perspektivischer Verzerrung als separater Schritt unter Verwendung kommerzieller Software durchgeführt (ERDAS ImagineTM, ENVITM); für die Behandlung von Flugzeugdaten, die mit GPS-Information sowohl auf der Messplattform als auch in Bodenkontrollpunkten und mit Messungen eines inertialen Navigationssystems verankert waren, kam auch erfolgreich das Paket „PARGETM“ (SCHLÄPFER et al. 1998) zum Einsatz, welches das Verknüpfen und Invertieren von Transformationsdarstellungen erlaubt.

3 Radiometrische Datenaufbereitung

Während bei radiometrischen Messungen im Labor die spektrale Reflexion unmittelbar durch die entsprechenden Eigenschaften des Objektes geprägt wird, werden Strahlungsmessungen im Falle eines abbildenden Fernerkundungssystems durch die Wirkung der zwischen Objekt und Sensor liegenden Atmosphäre stark beeinträchtigt. Um zur Bearbeitung umweltbezogener Fragestellungen auch quantitative Interpretationsansätze einsetzen zu können, wurde, auf den eingangs beschriebenen geometrischen Verarbeitungskonzepten aufbauend, im Zuge mehrerer EU-Projekte (siehe dazu den Beitrag von RÖDER et al. in diesem Heft) ein Korrektur- und Modellierungswerkzeug entwickelt (AtCPro[®]), das zur operationellen Atmosphärenkorrektur multi- und hyperspektraler Bilddatensätze und Zeitreihen (0.35–2.55 μm) einzusetzen ist (HILL & STURM 1991, HILL, MEHL & RADELOFF 1995, HILL 2002). Ausgehend von der Beziehung zwischen gemessener Strahldichte (L) und der Gesamtreflexion am Aufnahmesystem (planetarische Albedo)

$$\rho^* = \frac{\pi L}{E_0 \cos \theta},$$

die bei Kenntnis der radiometrischen Kalibrierungskonstanten unter Berücksichtigung von Aufnahmezeitpunkt und -ort stets berechnet werden kann, baut AtCPro[®] im Kern auf der Formulierung des Strahlungstransfers nach TANRÉ et al. (1990) auf, nach der die Beziehung zwischen ρ^* und der eigentlichen Objektreflexion ρ_t wie folgt beschrieben wird:

$$\rho^* = T_{gas} \downarrow \uparrow \cdot \left\{ \rho_{at} + \frac{T \downarrow \cdot [t_d \uparrow \cdot \rho_t + t_s \uparrow \cdot \langle \rho \rangle]}{1 - \langle \rho \rangle \cdot s} \right\}$$

Da diese Beziehung nach ρ_t aufzulösen ist, gestattet sie die atmosphärenkorrigierte Ableitung der bidirektionellen Reflexionseigenschaften eines Objektes aus den multispektralen Messungen eines fernerkundlichen Aufnahmesystems. Die dazu notwen-

dige Parametrisierung der atmosphärischen Eigenschaften ist im Wesentlichen in den Transmissionskoeffizienten

$T \downarrow$	abwärts gerichtete, streubedingte atmosphärische Gesamttransmission (direkt + diffus)
$t_d \uparrow$	aufwärts gerichtete, streubedingte direkte atmosphärische Transmission
$t_s \uparrow$	aufwärts gerichtete, streubedingte diffuse atmosphärische Transmission
$T_{gas} \downarrow \uparrow$	gesamte absorptionsbedingte Gas- transmission

enthalten, die aus Messungen der atmosphärischen optischen Dicke τ oder unter bestimmten Voraussetzungen auch aus einer Analyse der Fernerkundungsdaten selbst abzuleiten sind (u.a. ROYER et al. 1988, KAUFMANN & SENDRA 1987). Mit s wird dabei die sphärische Albedo, mit $\langle \rho \rangle$ der diffus in den Beobachtungspfad hineingestreuete Reflexionsanteil der Objektumgebung bezeichnet (auf eine detailliertere Beschreibung muss an dieser Stelle verzichtet werden).

Als Eingangsgröße zur Charakterisierung des Streuverhalten der Atmosphäre wird in dem hier gewählten Modellansatz ausschließlich die durch Aerosole bestimmte optische Dicke τ_a benötigt, wobei alle weiteren Steuergrößen aus τ_a abgeleitet werden (TANRÉ et al. 1990). AtCPro[®] verfügt über ein spezielles Modul zur Schätzung von τ_a anhand dunkler, im Bilddatenbestand enthaltener Objekte (vorzugsweise Wasserflächen); alternativ kann τ_a auch direkt eingegeben werden. Die höhenabhängige Skalierung der Modellparameter (u.a. ZIBORDI & MARACCI 1993) erlaubt sowohl die Berücksichtigung der Flughöhe des Aufnahmesystems (für flugzeuggetragene Sensoren) als auch der Geländehöhe (angemessene Behandlung von Szenen mit großen Höhendifferenzen).

Abgesehen davon, dass die Festlegung von Spektralkanälen und ihrer Bandbreite bei operationellen Aufnahmesystemen generell so vorgenommen wird, dass nur eine möglichst geringe Beeinflussung durch op-

tisch wirksame atmosphärische Gase erfolgt, sind deren wellenlängenabhängige Absorptionseigenschaften zumeist gut dokumentiert bzw. können mit Hilfe spezieller Modelle für grundlegende Standardsituationen berechnet werden (z.B. MODTRAN, BERK et al. 1999). Unterliegen sie keinen allzu großen raumzeitlichen Veränderungen (O_3 , CO_2 , O_2 , CH_4), ist ihre Wirkung anhand dieser Tabellen angemessen zu berücksichtigen. Dies gilt auch für horizontal, vertikal oder auch zeitlich hochvariable Gaskonzentrationen (H_2O), solange man mit operationellen Aufnahmesystemen arbeitet, deren Spektralkanäle innerhalb der eigentlichen atmosphärischen Transmissionsfenster positioniert sind. Bei Hyperspektralsensoren, die durch kontinuierliche Sequenzen von Spektralkanälen gekennzeichnet sind, eröffnet gerade die Verfügbarkeit ausreichend schmaler (nur 5–20 nm breiter) Spektralkanäle in spezifischen Absorptionsbereichen die Möglichkeit zur räumlich differenzierten Abschätzung derartiger Gaskonzentrationen und damit zur Korrektur der durch sie verursachten Effekte.

AtCPro[®] wurde jüngst durch ein Korrekturmodul ergänzt, das aus dem Verhältnis der Gesamtreflexion ρ^* im Zentrum der H_2O -Absorptionsbande bei 0.94 und 1.14 μm und der erwarteten, mittels linearer Interpolation zu ermittelnden Objektreflexion ρ_{int}^* für jedes Pixel auf tabellierte, mit Hilfe von Modtran4 (BERK et al. 1999) errechnete Wasserdampfkonzentrationen [g/cm^2] rückschließt (Abb. 2) und diese in einem anschließenden Berechnungsdurchgang zur Atmosphärenkorrektur mit einem optimal angepassten H_2O -Transmissionsspektrum nutzt (HILL 2002).

Die gewonnenen Reflexionsspektren von Oberflächen werden in bewegtem Gelände durch topographisch bedingte Beleuchtungs- und Abschattungseffekte überlagert, die eine quantitative Interpretation der erfassten Oberflächeneigenschaften weiterhin erschweren (u.a. ITTEN et al. 1992) Aufbauend auf früheren Arbeiten (HILL et al. 1995) kann AtCPro[®] unter Einbindung der mit den eingangs vorgestellten geometrischen Prozessierungsmodulen (HZ) erzeug-

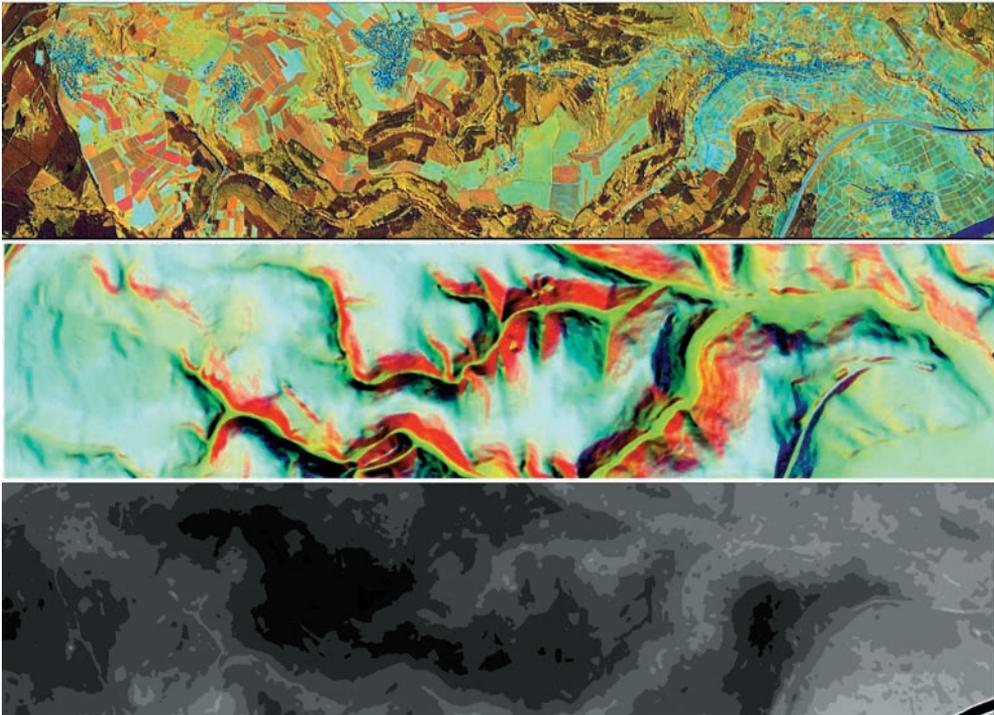


Abb. 2: Atmosphären- und illuminationskorrigierter Datensatz des HyMap Hyperspektralscanners (oben), ein in Abtastgeometrie dargestelltes Farbkomposit der Geländevariablen $\cos \gamma$, $\sin \eta$ und Σ in RGB (Mitte), aus kalibrierten Strahldichtewerten geschätzte Wasserdampfkonzentration [1.0–2.5 g/m³], wobei helle Grautöne höheren H₂O-Konzentrationen entsprechen (unten).

ten Geländevariablen im Rahmen der atmosphärischen Korrektur auch eine Kompensation der reliefbedingten Beleuchtungseffekte erzielen (Abb. 2). Die direkte Einbindung einer Illuminationskorrektur in die atmosphärische Korrektur, d. h. die Ermittlung der illuminationskorrigierten Objektreflexion (ρ_i^{\sim}) an Stelle von ρ_i , ist zu bevorzugen, weil gemäß

$$\rho_i^{\sim} = E_g \cdot \rho_i / E_i^{\sim}$$

die zur notwendigen Berechnung der Globalstrahlung auf einem geeigneten Gelände-segment (E_g^{\sim}) erforderliche Parametrisierung unter Berücksichtigung der bereits verfügbaren direkten und diffusen Transmissionskoeffizienten für unterschiedliche topographische Situationen (nicht beschattet, im Eigenschatten, im Schlagschatten an-

der Reliefelemente) differenziert erfolgen kann (HILL et al. 1995); die Globalstrahlung auf einem horizontalen Gelände-segment E_g wird in AtCPro[®] sowieso standardmäßig ermittelt. Ergänzend wurde der bislang unter AtCPro[®] implementierte Lösungsansatz dahingehend erweitert, dass das Verhalten von Oberflächen, die nicht als diffus im Sinne eines lambertschen Reflektors zu betrachten sind, durch die Spezifizierung geeigneter Minnaert-Konstanten (u. a. ITTEN et al. 1992) behandelt werden kann.

4 Perspektiven

Das nächste Implementierungsziel von FINDGCP/GEO ist die Erzeugung, Verknüpfung, Invertierung und Anwendung von komplexen Transformationen, um die Bildobjekte von Zeitreihen operationell mit

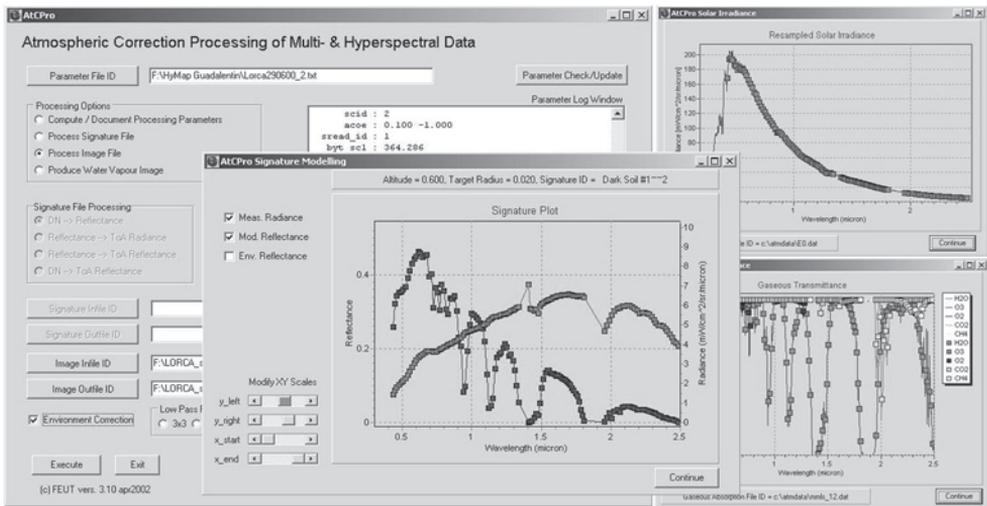


Abb. 3: Verarbeitung spektraler Signaturen des HyMap Hyperspektralscanners mit AtCPro 3.1: der Signaturplot zeigt die gemessene spektrale Strahlendichte eines Objektes im Vergleich zum berechneten Reflexionsspektrum.

einem einzigen Resampling-Schritt für jedes Einzelbild zu georeferenzieren. ATMOD, HZ, und das Paket FINDGCP/GEO sind als Entwicklungspakete zwar noch nicht hinreichend dokumentiert, können aber auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden.

Eine Validierung der radiometrischen Korrekturverfahren wurde mit positiven Ergebnissen bereits in früheren Publikationen der Autoren (u. a. HILL, MEHL & RADELOFF 1995, HILL 2002) vorgelegt. Die hier beschriebene Verknüpfung von Vorverarbeitungsschritten ist unter anderem im EU-Projekt DeMon-II eingesetzt worden. Im Nachfolgeprojekt GeoRange (s. RÖDER et al. in diesem Heft) wurden für drei Untersuchungsgebiete insgesamt bereits 35 Landsat-TM-Szenen umfassende Datenserien erfolgreich geometrisch und radiometrisch aufbereitet; daneben wurden zahlreiche Hyperspektraldatensätze (u. a. HyMap und DAIS) bearbeitet.

Die derzeitige, für Windows-basierte PC-Systeme unter Delphi6 implementierte Version von AtCPro[®] 3.1 (Abb. 3) steht konzeptionell in einer Linie mit den Ansätzen von RAHMAN & DEDIEU (1994) oder auch RICHTER (1997). AtCPro[®] berechnet aus ge-

messenen Grauwerten bzw. Strahlendichten folgende Größen:

- Bidirektionelle Reflexion (ρ_l)
- Gesamtreflexion (ρ^*) am Sensor
- Wasserdampfkonzentration (Hyperspektraldaten mit Kanälen bei 0.94 und 1.14 μm erforderlich)

Die Berechnung der Reflexionswerte erfolgt optional unter Berücksichtigung des sogenannten Umgebungseffekts; ist ein digitales Geländemodell geeigneter Auflösung verfügbar, kann optional die Illuminationskorrektur integriert werden. Ausgehend von gemessenen bzw. modellierten Reflexionsspektren ($\rho_{l,mod}$) kann AtCPro[®] ebenfalls die am Sensor zu erwartende Gesamtreflexion (ρ^*) unter Berücksichtigung weitestgehend frei wählbarer Atmosphärenzustände simulieren; alle Berechnungen können unter Berücksichtigung von Gelände- und Flughöhe des Aufnahmesystems grundsätzlich für Spektralsignaturen (Ascii-) und Bilddaten (ERDAS 7.5- und ENVI bsq/bil-Format) durchgeführt werden. Eine „in-flight“-Kalibrierung von Aufnahmesystemen ist bei verfügbaren Referenzmessungen (ρ_l, t_d) möglich.

Derzeit führt AtCPro[®] alle Berechnungen für Nadirbeobachtung durch; die nächste Ausbaustufe wird optional die Berücksichtigung variabler Beobachtungswinkel gestatten. AtCPro[®] wird mit Abschluss der schriftlichen Dokumentation (Nutzeranleitung) demnächst frei verfügbar sein (s. <http://www.feut.uni-trier.de:8080/>). Eine experimentelle Version (ATMOD) des gleichen Ansatzes ist unter IDL implementiert; dieses Paket berücksichtigt bereits Variationen in Einstrahlungs- und Beobachtungsgeometrie, ermöglicht aber gegenwärtig noch nicht die Abschätzung der Wasserdampfkonzentrationsverteilung aus Bilddaten. Ein regelmäßiger Abgleich von Modellrechnungen zwischen AtCPro[®] und ATMOD erlaubt es, beide Pakete konsistent weiterzuentwickeln.

Literatur

- BERK, A., ANDERSON, G.P., ACHARYA, P.K., CHETWYND, J.H., BERNSTEIN, L.S., SHETTLE, E.P., MATTHEW, M.W. & ADLER-GOLDEN, S.M., 1999: MODTRAN4 user's manual, Hanscom AFB, MA 01731-3010: Air Force Research Laboratory, Space Vehicles Directorate, Air Force Materiel Command.
- HILL, J. & STURM, B., 1991: Radiometric correction of multitemporal Thematic Mapper data for use in agricultural land-cover classification and vegetation monitoring. – *International Journal of Remote Sensing*, **12**: 1471–1491.
- HILL, J., MEHL, W. & RADELOFF, V., 1995: Improved forest mapping by combining corrections of atmospheric and topographic effects. – In: ASKNE, J. (ed.): *Sensors and environmental applications of remote sensing*. – Proc. 14th EAR-SeL Symposium, Göteborg, Sweden, 6–8 June 1994, 143–151, A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- HILL, J., 2002: Sensorkalibration und atmosphärische Korrektur von hyperspektralen Fernerkundungsdaten (HyMap). – In: Müller, P., Rumpf, S. & Monheim, H. (Hrsg.): *Umwelt und Region: Aus der Werkstatt des Sonderforschungsbereichs 522*. – 163–173, Selbstverlag, Trier.
- ITTEN, K.I., MEYER, P., KELLENBERGER, T., LEU, R., SANDMEIER, S., BITTER, P. & SEIDEL, K., 1992: Correction of topography and atmosphere on Landsat-TM forest mapping of alpine regions. – *Remote Sensing Series*, vol. **18**, (University of Zurich: Zurich, Switzerland).
- KAUFMAN, Y.C. & SENDRA, C., 1988: Algorithm for automatic atmospheric correction to visible and near-IR satellite imagery. – *International Journal of Remote Sensing*, **9**: 1357–1381.
- RAHMAN, H. & DEDIEU, G., 1994: SMAC: A simplified method of atmospheric correction of satellite measurements in the solar spectrum. – *International Journal of Remote Sensing*, **15**: 123–143.
- RICHARDS, J.R. & JIA, X., 1999: *Remote sensing digital image analysis*. – Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- RICHTER, R., 1997: Correction of atmospheric and topographic effects for high spatial resolution satellite imagery. – *International Journal of Remote Sensing*, **18**: 1099–1111.
- ROYER, A., CHARBONNEAU, L. & TEILLET, P.M., 1988: Interannual Landsat-MSS reflectance variations in an urbanized temperate zone. – *Remote Sensing of Environment*, **24**: 423–446.
- SCHLAEPFER, D., SCHAEPMANN, M. & ITTEN, K., 1998: PARGE: Parametric geocoding based on GCP-calibrated auxiliary data. – *SPIE Int. Symp. On Opt. Sc., Eng. And Instr.*, San Diego (CA), 334–444.
- SCHOTT, J.R., 1997: *Remote sensing – the image chain approach*. – Oxford University Press, New York, Oxford.
- TANRÉ, D., DEROO, C., DUHAUT, P., HERMAN, M., MORCRETTE, J.J., PERBOS, J. & DESCHAMPS, P.Y., 1990: Description of a computer code to simulate the signal in the solar spectrum: the 5S code. – *Int. J. Remote Sens.*, **11** (4): 659–668.
- ZIBORDI, G. & MARACCI, G., 1993: Reflectance of antarctic surfaces from multispectral radiometers: the correction of atmospheric effects. – *Remote Sensing of Environment*, **43**: 11–21.

Anschriften der Autoren:

Prof. Dr. rer. nat. JOACHIM HILL, Abteilung Fernerkundung, Universität Trier, D-54286 Trier, Tel. + 49-651-2014592, Fax + 49-651-2013815, email: hillj@uni-trier.de

WOLFGANG MEHL, Institute for Environment and Sustainability, Soil and Waste Unit, European Commission, Joint Research Centre, I-21020 Ispra (Va), Italien, Tel. + 39-0332-789072, Fax + 39-0332-789803, email: wolfgang.mehl@jrc.it

Manuskript eingereicht: November 2002

Angenommen: November 2002

Fernerkundung und Geodatenverarbeitung zum Monitoring von Desertifikation und Degradation im mediterranen Raum

ACHIM RÖDER, JOACHIM HILL, Trier & PATRICK HOSTERT, Berlin

Keywords: remote sensing, geomatics, monitoring, land degradation, desertification

Zusammenfassung: Die Abteilung Fernerkundung an der Universität Trier beschäftigt sich seit Jahren mit der Entwicklung und Anwendung fernerkundlicher Methoden zur Erfassung und zum Monitoring von Degradationsprozessen in semi-ariden bis sub-humiden Regionen, insbesondere dem europäischen Mittelmeerraum. Der folgende Beitrag bietet einen Überblick über die methodischen Entwicklungen der letzten Jahre, die im Rahmen mehrerer, von der Europäischen Union geförderter Forschungsprojekte vorangetrieben wurden. Während erste Arbeiten von der Suche nach geeigneten, raumdifferenzierenden Indikatoren und Möglichkeiten ihrer fernerkundlichen Ableitung geprägt waren, stand anschließend die Fortentwicklung von Methoden und ihre operationelle Anwendung zur Erfassung der zeitlichen Dynamik im Mittelpunkt. Zunehmende Bedeutung erlangt dabei die Integration fernerkundlich gewonnener Informationen mit Prozessorientierten Ansätzen anderer Disziplinen, um ausgehend von einer beschreibenden räumlichen Darstellung Möglichkeiten zur Minderung von Degradationsprozessen oder deren Vermeidung aufzuzeigen.

Summary: *Remote Sensing and Geomatics for Desertification and Degradation Monitoring in the Mediterranean Basin.* One of the major fields of research at the Remote Sensing Department at the University of Trier is the development and application of methodologies to assess and monitor desertification and land degradation processes, especially in the European Mediterranean. This contribution provides a brief overview of the achievements attained in the context of several, EU-funded research projects. While initial efforts were confined to the evaluation of potential spatial indicators of degradation and how these could be inferred from spatial data sources, current approaches focus on methodological improvements, their multi-temporal application, and the development of remote sensing based environmental process models. In this context, an increasing integration with different disciplines is of utmost importance to proceed from purely descriptive approaches towards the definition of alternative management strategies to support the prevention or mitigation of land degradation.

1 Einleitung

Nach jahrelanger Diskussion definierte die 1994 ratifizierte United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) in ihrem Artikel 1 Desertifikation als „die Landverödung in ariden, semiariden und trockenen subhumiden Gebieten infolge verschiedener Faktoren einschließlich Klimaschwankungen und menschlicher Tätigkeiten“, und stellt in ihrem Annex IV explizit die „besonderen Bedingungen der Regionen Nördliches Mittelmeer“ heraus, als

deren Kernpunkte die negativen Einflüsse nicht nachhaltiger Wassernutzung, unkontrollierter Waldbrände und inadäquater Landnutzungsformen genannt werden (UNCCD 1994). Damit betonte sie erstmals die gleichberechtigte Betrachtung natürlicher Einflussgrößen und sozio-ökonomischer Randbedingungen. In den europäischen Mittelmeerländern wurden daraufhin sogenannte „Nationale Aktionspläne“ (NAP) zur Bekämpfung der Desertifikation erstellt und für die Koordination nationaler und internationaler Bemühungen entspre-

chende Kontaktstellen („Focal Points“) etabliert.

Auf europäischer Ebene wurden die Bekämpfung von Desertifikation und Degradation in den Mitgliedsländern der EU und die Forderung nach einer nachhaltigen Entwicklung ländlicher Gebiete zentrale Bestandteile der folgenden Forschungs-Rahmenprogramme. Dabei trat neben den Begriff der Desertifikation immer stärker der politisch weniger stark besetzte Terminus der Degradation. (JOHNSON & LEWIS 1995, THOMAS & MIDDLETON 1994).

Von besonderer Bedeutung ist im Bereich der Degradationsforschung die Betrachtung des jeweiligen regionalen Kontextes. Generell ist die Degradation von Ressourcen jedoch immer das Resultat eines komplexen Zusammenspiels physisch-geographischer und sozio-ökonomischer Faktorenkomplexe (Abb. 1). Sie tritt insbesondere dann auf, wenn beide Komplexe mit negativem Vorzeichen interagieren.

Der europäisch-mediterrane Raum stellt einen äußerst heterogenen Naturraum dar, in dem sich infolge jahrtausendelanger Nutzung ein dementsprechendes Mosaik unterschiedlichster Nutzungsstrukturen bzw. -intensitäten ausbildete. Eine Reihe von Arbeiten beschäftigt sich mit daraus folgenden Implikationen (z. B. PEREZ-TREJO 1994, NOY-MEIR 1997). Generell führt diese europäische Besonderheit jedoch dazu, dass Konzepte aus anderen Regionen der Erde oftmals nicht direkt übertragbar sind. An-

dererseits kann gerade für die europäischen Mittelmeerländer festgestellt werden, dass Schutz natürlicher Ressourcen und Entwicklung sich keinesfalls ausschließen, sondern vielmehr gegenseitig bedingen.

2 Erste Ansätze zur fernerkundlichen Erfassung und Beschreibung degradationsbezogener Indikatoren und Prozesse

Seit den frühen 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts reagierte die Europäische Union auf das Thema Desertifikation im Rahmen mehrerer großangelegter Forschungsprogramme. Neben einem verbesserten Prozessverständnis wurde als wichtiges Ziel die Beschaffung entsprechender Daten und Informationen definiert, und in das 4. Rahmenprogramm für Forschung und Entwicklung integriert. Damit erschien ein substantieller Beitrag der Fernerkundung notwendig, denn nur satellitengestützte Verfahren erlauben die regelmäßige und flächenhafte Erfassung großer Gebiete. Innerhalb des Teilprogrammes für Umwelt und Klima wurde deshalb von der Kommission das Projekt „*De Mon-Integrated Approaches to Desertification Mapping and Monitoring in the Mediterranean Basin*“ (1992–1995) ins Leben gerufen. Neben methodischen Entwicklungen mit dem Ziel, den quantitativen Vergleich optischer Fernerkundungsdaten zu ermöglichen, galt das Hauptaugenmerk der Definition räumlicher Indikatoren für Degradation und ihrer Ableitung. Von Seiten der Fernerkundung erschienen dabei vor allen Dingen boden- und vegetationsbezogene Informationen als geeignet, um den Degradationsstatus von Oberflächen zu charakterisieren (GRAETZ 1996, HILL et al. 1995, IMESON 1996, PICKUP & CHEWINGS 1994). Dabei wurde aber auch deutlich, dass insbesondere im Bereich der Bodenerosion einige geeignete Indikatoren maßstabsbedingt nicht mit Fernerkundungsdaten erhoben werden können und deshalb alternative, oftmals indirekte Indikatoren herangezogen werden müssen.

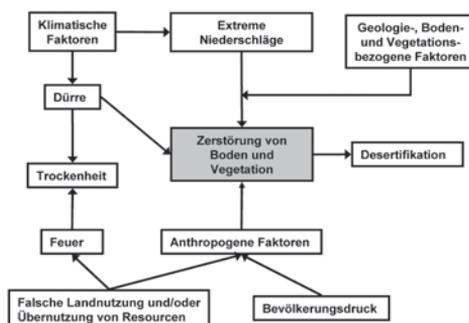


Abb. 1: Interaktion von Degradations-relevanten Prozessen (verändert nach PEREZ-TREJO 1994).

Eines der wichtigsten Ziele von DeMon war daneben der Aufbau einer Prozessierungskette für optisch-reflektive Fernerkundungsdaten, um nach einer geometrischen und bildbasierten, radiometrischen Korrektur schließlich multi-temporal vergleichbare Reflexionswerte als physikalisch definierte Messwerte zu erhalten. Zur Beschreibung des aktuellen Stands der Methodik siehe auch den Beitrag von HILL & MEHL in diesem Heft. Eine erste Validierung erfolgte im Rahmen von DeMon für Arbeitsgebiete in der Ardèche (Frankreich) und Xilokastron (Griechenland) bezogen auf eine Reihe von Landsat-TM Aufnahmen sowie hyperspektrale Befliegungsdaten des Sensors AVIRIS (Advanced Visible and Infrared Imaging Spectrometer) (HILL et al. 1995).

Nach der radiometrischen Prozessierung ist in einem nächsten Schritt die Ableitung sekundärer Information bzw. Indikatoren erforderlich. Dazu stand eine Reihe erprobter Verfahren zur Verfügung, wie beispielsweise die Bildklassifizierung oder empirische Ansätze, wie die Verwendung von Vegetationsindizes. Während die Klassifizierung in heterogen strukturierten Gebieten aufgrund von Mischpixeln und mangelnder spektraler Trennbarkeit von Klassen problembehaftet ist, unterliegen Vegetationsindizes vor allem in Gebieten mit geringer Vegetationsdichte vielfältigen Fehlerquellen (HILL et al. 1995). Eine Alternative dazu bietet beispielsweise das semi-empirische Verfahren der Spektralen Mischungsanalyse (Spectral Mixture Analysis, SMA) zur Ableitung quantitativer, oberflächenbezogener Information. Der Ansatz beruht auf der Annahme, dass die spektrale Varianz einer gegebenen Oberfläche als Kombination verschiedener, reiner Oberflächentypen interpretiert werden kann (SMITH et al. 1990). Das in einem Pixel einer Satellitenaufnahme aufgezeichnete Signal setzt sich demnach aus einer Mischung des Reflexionssignals verschiedener Referenz-Oberflächen zusammen, so genannter „Endmember“. Sind diese Oberflächen, beispielsweise in Form einer Spektraldatenbank (PREISSLER et al. 1998) bekannt, so kann durch Invertierung der entsprechenden Matrix der jeweilige Flächenanteil am Pixel bestimmt werden.

Während der Einsatz von SMA zur Schätzung von Vegetations-Anteilen bereits erfolgreich angewendet wurde, wurde in DeMon das Verfahren erstmals zur Charakterisierung des Bodenzustands in Wert gesetzt (HILL et al. 1995). Mittels Spektraler Mischungsanalyse konnten dabei unter Verwendung des Konzeptes progressiver und regressiver Bodenbildung von BIRKELAND (1990) Bodenzustandsstufen in den Untersuchungsgebieten erfasst werden, und die Anwendung des Ansatzes auf AVIRIS-Hyperspektraldaten sowie optische EOS-Daten ergab ein räumlich klar differenzierendes Bild (HILL et al. 1996b).

Darüber hinaus wurde in einem weiteren Schritt untersucht, wie mithilfe der Entmischung (SMA) der Anteil grüner Vegetation optimiert abgeleitet werden kann. Basierend auf Versuchen mit synthetischen Spektren konnte gezeigt werden, dass mittels der Beurteilung der Entmischungsresiduen die Auswahl eines korrekten „Hintergrund“-Spektrums möglich ist, was zumindest beim Einsatz von Hyperspektraldaten wie AVIRIS zu einer verbesserten Vegetationsschätzung führt (HILL et al. 1996b).

Zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Methodik wurden die vorgestellten Ansätze auf zwei Landsat-TM Szenen für das Arbeitsgebiet in Xilokastron angewandt. Dabei zeigte sich, dass trotz geologischer und pedologischer Unterschiede beider Gebiete eine Differenzierung in Bodenzustandsgruppen möglich ist. Eine synoptische Analyse entmischungsbasierter Information zu Böden und Vegetation ermöglichte darüber hinaus die großräumige Identifizierung der Dynamik von Oberflächenveränderungen, was einen ersten Schritt hin zu einem Degradations- bzw. Gefährdungsindex darstellt (HILL et al. 1996a).

Neben der großräumigen, eher deskriptiven Erfassung degradationsbezogener Indikatoren stand die Bewertung von Modellen zur Simulation von Bodenerosion auf lokalen und regionalen Maßstabsebenen. Während diese Modelle einen wertvollen Beitrag zum allgemeinen Prozessverständnis lieferten, zeigte sich doch eine Limitierung durch die notwendige starke Generalisierung, bzw.

den enorm hohen Bedarf räumlich verteilter Eingangsdaten bei lokalen Modellen (HILL et al. 1996a). Auch dieses Ergebnis unterstreicht die Notwendigkeit optimierter fernerkundungsbasierter Verfahren zur Bereitstellung der erforderlichen Daten.

3 Methodische Erweiterungen und Wege zur operationellen Anwendung

Eine zweite Projektphase (*DeMon-II, 1996–1999*) innerhalb des 4. Rahmenprogrammes zielte vor allem auf eine methodische Weiterentwicklung, konzeptionelle Erweiterung und operationelle Anwendung der bisher gewonnenen Erkenntnisse. Schwerpunkte waren dabei unter anderen die konzeptionelle und methodische Optimierung von Indikatoren zur Entwicklung der Vegetationsdichte bzw. des Bodenzustandes, die Integration ökologischer Modelle mit Fernerkundungsmethoden und insbesondere die Erfassung der zeitlichen Komponente von Degradationsprozessen. Diese Ergebnisse mündeten in die Konzeption eines Gefährdungs-Index und die Integration der verschiedenen Komponenten im Rahmen einer interdisziplinären Fallstudie für Zentral-Kreta.

Basierend auf den im Rahmen von DeMon-I erarbeiteten Grundlagen wurden zunächst die geometrische und radiometrische Datenprozessierung weiter optimiert, insbesondere wurde die Strahlungstransfermodellierung um eine Komponente zur Einbeziehung topographieabhängiger Beleuchtungseffekte erweitert (siehe Beitrag von HILL & MEHL in diesem Heft). Ein wichtiges Ziel dieser Prozessierungskette war der Aufbau langer Zeitreihen vergleichbarer Daten. Die Basis bilden Satellitendaten des Landsat Programms, das seit 1972 eine ganze Reihe von Satelliten mit vergleichbaren Sensorsystemen in Betrieb nahm und dadurch überhaupt die Grundvoraussetzung für lange Reihen kompatibler Daten schaffte. Es existieren eine Reihe qualitativer Unterschiede zwischen dem „jüngeren“ TM- und dem „älteren“ MSS-System. Die entschei-

dende Herausforderung liegt allerdings im Fehlen von Informationen über die Entwicklung der Sensorsensitivität für die radiometrische Korrektur von MSS-Daten.

Um diese Einschränkung zu überwinden wurde ein Verfahren entwickelt, das eine Ableitung der MSS-Kalibrierkonstanten unter Zuhilfenahme des TM-Sensors als kalibrierter Referenz und damit eine radiometrische Prozessierung der Landsat-MSS Daten erlaubt (RÖDER et al. 2001).

Mit seiner großen naturräumlichen Heterogenität und den extremen Reliefunterschieden stellt Kreta auf technisch-methodischer Ebene ein ideales Testfeld für die geometrische und radiometrische Korrektur dar. Zudem ist Kreta ein wichtiges Beispiel der sozio-ökonomischen Entwicklung vieler europäischer Mittelmeerländer, mit einer infolge von Agrar- und Infrastruktursubventionen stark intensivierten Nutzung, insbesondere durch Beweidung und Olivenanbau. Vor diesem Hintergrund wurde das Auftreten von Anzeichen einer fortschreitenden Degradation durch eine etwaige Übernutzung unter Zuhilfenahme einer Vielzahl von Datenebenen untersucht (Abb. 2).

Um die dynamische Komponente der Entwicklung der betrachteten Indikatoren bestmöglich zu erfassen, wurde eine Zeitreihe von Landsat-TM- und -MSS-Daten (1977 bis 1997) geometrisch und radiometrisch korrigiert bzw. interkalibriert und anschließend spektral entmischt. Zur Interpretation dieses Datensatzes wurde ein pixelbasiertes, lineares Trendmodell genutzt. Neben Steigung und Offset der Trendfunktion ist das Niveau, auf welchem sich Änderungen manifestieren ein zweiter wichtiger Aspekt bei der Interpretation der Vegetationsentwicklung. Das mittlere Vegetationsniveau wurde zu diesem Zweck mit der Stärke und der Richtung des Trends zu einem Degradationsindex kombiniert (HOSTERT 2001). Für die beweideten Gebiete des zentralen Psiloritis-Gebirge ergibt sich daraus eine deutliche Differenzierung des Gebietes in unterschiedliche Degradationsstufen, die eine hohe Übereinstimmung mit Ergebnissen aus Geländebegehungen aufweisen (Abb. 3).

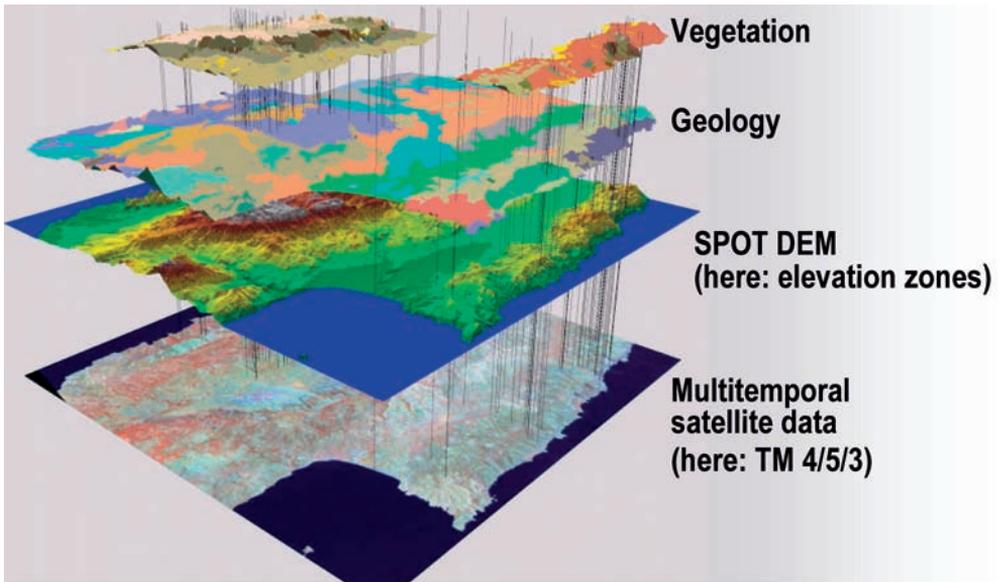


Abb. 2: Integration verschiedener Datenebenen zur thematischen Interpretation mit Lage der Messpunkte im Gelände.

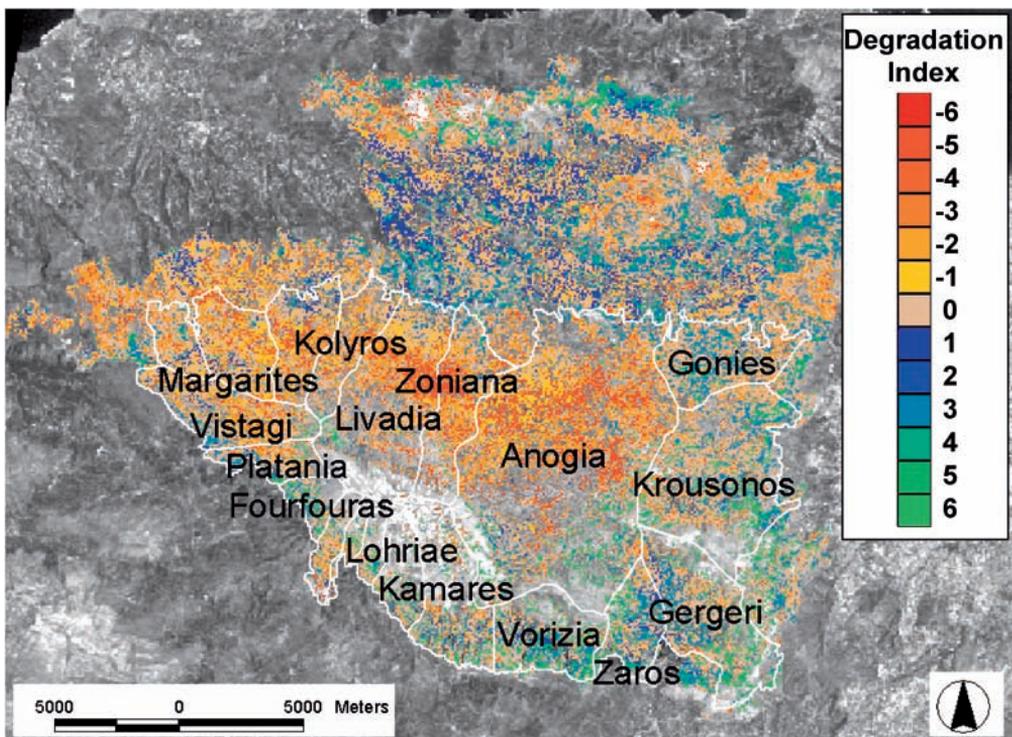


Abb. 3: Differenzierung der Psiloritis-Region in Degradations-Gefährdungsklassen.

In einem weiteren Interpretationsschritt wurde untersucht, inwiefern sich die aufgezeigten Veränderungen durch sozio-ökonomische und physisch-geographische Determinanten erklären lassen (HOSTERT 2001). Während für die letzteren kaum ein direkter Einfluss aufgezeigt werden konnte, ergab eine Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Vegetationsveränderung und Entwicklung der Tierzahlen auf Gemeindeebene zumindest in Teilen eine deutlich positive Korrelation (Abb. 4).

Neben dem erwarteten positiven Zusammenhang zeigen sich auch Bereiche, in denen sich trotz zunehmender Bestockungsdichten eine mittlere Zunahme der Vegeta-

tion zeigt. Eine mögliche Ursache ist der massive Straßenausbau in ehemals entlegenen Bergregionen, der einen Transport von Tieren in andere Regionen sowie eine Zufütterung ermöglicht. Zudem ist die in vielen ländlichen Gebieten zu beobachtende Überalterung der Bevölkerung häufig ein Grund dafür, dass Herden nur noch in der Nähe der Ortschaften gehalten werden; ein Effekt, der durch die Mittelung des Trends auf Gemeindeebene maskiert wird. Zudem erlaubt der Ansatz in Bereichen dichter, hochstämmiger Vegetation keine Erfassung der beweideten, tieferen Vegetationsschicht (HOSTERT 2001).

Neben dieser zeitlichen Analyse wurde die Ableitung quantitativer Parameter zur Beurteilung des aktuellen Zustandes von Ökosystemen auf räumlicher Basis untersucht. Der verwendete Ansatz basiert auf der Verbindung traditionell erhobener Geländebzw. Labordaten mit fernerkundlicher Information. Dabei wurden im Rahmen mehrerer Geländekampagnen eine Vielzahl von Vegetationsbeständen bezüglich ihrer Dichte und Artenzusammensetzung kartiert und mittels Laboranalyse ihre Biomasse ermittelt. So konnten für die Biomasse empirische Beziehungen mit der Vegetationsdichte bestimmt und in einem weiteren Schritt auf die aus Satellitendaten abgeleiteten Daten der Vegetationsdichte angewendet werden (RÖDER et al. 2001) (Abb. 5).

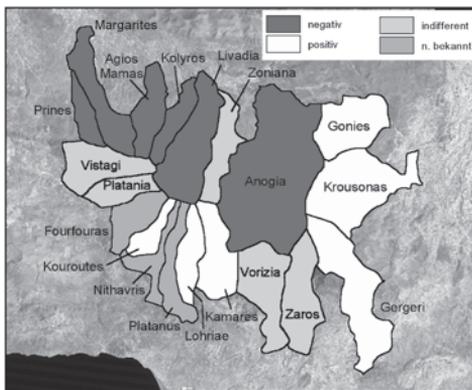


Abb. 4: Zusammenhang zwischen Bestockungsdichte und Vegetationsentwicklung auf Gemeindeebene.

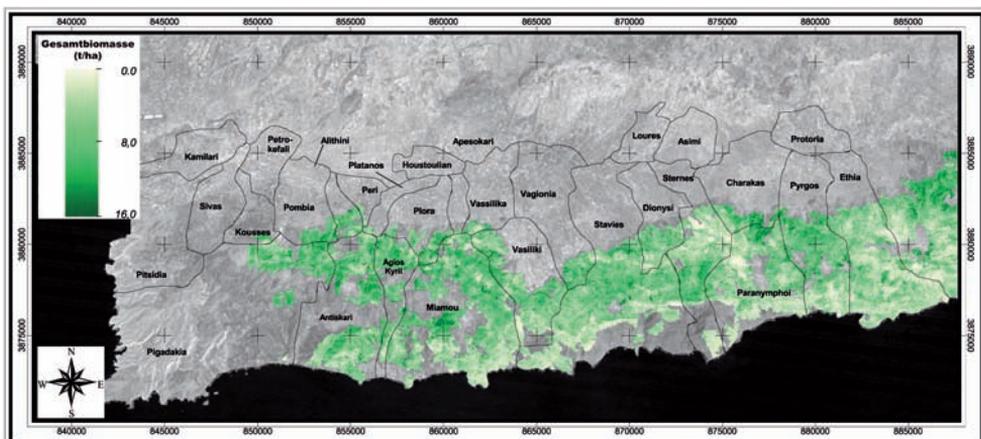


Abb. 5: Aus Fernerkundungs-, Boden- und Labordaten abgeleitete Biomasse-Karte (t/ha).

Im Hinblick auf das angestrebte Konzept eines flächendeckenden europäischen Degradations-Monitoring muss aber auch festgestellt werden, dass eine Ausdehnung vieler Ansätze auf weitaus größere Gebiete kaum realisierbar erscheint. Im Rahmen von DeMon-II wurde deshalb ein Ansatz zum „Ecozoning“ entwickelt, der Faktoren wie z. B. klimatische Parameter, Lithologie und Böden bzw. Bodeneigenschaften betrachtet, um ein konsistentes und transparentes System zur Einteilung von Regionen in Ökozonen zu schaffen (BROUWER et al. 1998). Daneben wurden die Bemühungen intensiviert, Fernerkundungsdaten mit der Modellierung ökologischer Prozesse zu kombinieren. So wurden für das Arbeitsgebiet in Languedoc/Frankreich basierend auf dem Forest BGC-Modell Stickstoff-, Kohlenstoff- und Wasserkreisläufe in einem mediterranen *Quercus-coccifera*-Bestand nachgebildet, und unter Verwendung meteorologischer und bestandsspezifischer Parameter LAI, Evapotranspiration und Biomasse simuliert. Zur Validierung wurde eine Serie von Landsat-TM Daten prozessiert, und über eine empirische Beziehung aus proportionaler Vegetationsdichte flächenhafte LAI-Werte abgeleitet. Die übereinstimmenden Ergebnisse aus Modell und Satellitenbildkartierung zeigten, dass nach einer substantiellen Reduzierung der Belastung durch Beweidung in der Regel eine Stabilisierung der Vegetationsdichte auf relativ hohem Niveau erreicht wird (TABARANT 1999).

Insgesamt zeigte also DeMon-II, dass ein räumlich differenzierter Ansatz eines Langzeitmonitorings für Degradations-gefährdete mediterrane Räume möglich ist. In Gebieten unterschiedlicher historischer und rezenter Entwicklung konnten die jeweils relevanten Prozesse durch die Entwicklung angepasster Indikatoren abgebildet werden. Außerdem wurde mit der Kombination fernerkundlicher Datenanalyse und ökologischer Modellierung das künftige Potential einer solchen Integration verschiedener Disziplinen verdeutlicht.

4 Bewertung mediterraner Ökosysteme und Strategien zu ihrer nachhaltigen Nutzung

Innerhalb des 5. europäischen Rahmenprogramms wurde erneut ein Fokus auf die Erforschung der Ursachen und der relevanten Prozesse von Degradation und Desertifikation, sowie Möglichkeiten zu deren Bekämpfung gelegt. Im Rückblick auf bisherige Arbeiten wurde kritisiert, dass diese trotz hochwertiger Ergebnisse für einzelne Testgebiete kaum vergleichbar seien, und für künftige Projekte eine höhere Integrationsstufe verschiedener Disziplinen gefordert. Außerdem legte die Europäische Kommission größten Wert darauf, dass Projektergebnisse den Anforderungen der jeweiligen Planungs- und politischen Entscheidungsträger an eine konkrete Umsetzbarkeit Rechnung tragen.

Folglich konzentriert sich das Projekt „GeoRange – Geomatics in the Assessment and Sustainable Management of Mediterranean Rangelands“ (2001–2003) auf die Entwicklung und Anwendung von Konzepten in so genannten „rangelands“, den marginalen Gebieten, welche aus Gründen physisch-geographischer Beschränkungen nicht oder nicht mehr für Siedlung oder Landwirtschaft genutzt werden, sondern als Nahrungsquelle für Weidetiere, zur Gewinnung von Brennholz, als Frischwasserquelle oder zur Regeneration dienen. Eine Reihe von Arbeiten beschäftigt sich mit der Abschätzung des Degradationsstatus solcher Gebiete unter Verwendung räumlicher Daten (z. B. BOER et al. 1996, TUELLER 1995, PICKUP & CHEWINGS 1994), bzw. eines verbesserten Managements basierend auf den Ergebnissen raumbezogener Analysen. Neben der Konzentration auf die Bereiche Boden und Vegetation als Degradations-Indikatoren erlangt gerade in semi-ariden bis ariden Regionen auch immer stärker die Frage der Wasserverfügbarkeit bzw. -Verwertung Bedeutung (PUIGDEFABREGAS et al. 1999, BOER 1999).

Ein erster Schritt in Richtung einer angepassten Nutzung solcher multi-funktionaler Räume ist die Bewertung ihres momentanen

Zustands in Relation zu ihrem Potential sowie ihrer zurückliegenden Entwicklung. Die zur Formulierung von Vorschlägen einer nachhaltigen Nutzung benötigten räumlich differenzierten Daten können im Gelände meist nur unter großem Aufwand und für begrenzte Gebiete erfasst werden. Deshalb werden in GeoRange Fernerkundung, räumliche Datenanalyse und GIS-Techniken mit konzeptioneller Forschung und spezifischen Geländearbeiten kombiniert. Das Ziel ist dabei die Etablierung eines thematischen und konzeptionellen Bewertungsschemas, welches auf die Bedürfnisse von Ökologen, Landnutzungsplanern und Planungsbehörden zugeschnitten ist. Neben der Erfassung des gegenwärtigen Landschaftszustandes ist dabei vor allen Dingen die retrospektive Analyse basierend auf Fernerkundungsdaten von Bedeutung, mittels derer Auswirkungen zurückliegender planerischer Interventionen bewertet werden können. Dazu tritt eine modellbasierte Identifizierung der steuernden physisch-geographischen und sozio-ökonomischen Parameter, um schließlich die Formulierung angepasster Management Szenarien zu ermöglichen. Neben technischen Aspekten eines transparenten Daten-Managements und der Kommunikation von Projektergebnissen ist hierfür vor allen Dingen die Einbindung lokaler Expertise von größter Bedeutung.

Die untersuchten Arbeitsgebiete in Spanien, Griechenland und Sardinien spiegeln dabei für den Mittelmeerraum typische Problemfelder wieder, wie beispielsweise die Auffassung von Flächen gefolgt von Verbuschung und Feuergefährdung, die Intensivierung der Nutzung durch Beweidung und Ackerbau, oder die Kombination dieser Faktoren. Im Hinblick auf die geforderte regionale Relevanz und Umsetzung der Ergebnisse wurden für alle Gebiete die für die lokale Planung zuständigen Institutionen bzw. Behörden in das Projektkonsortium eingebunden. Unter Einbeziehung dieser Nutzer wurde zunächst ein konzeptioneller Rahmen entwickelt, welcher auch die Basis für den zu entwickelnden, GIS-basierten Entscheidungsbaum zur Bewertung von Ranglands bilden soll. Daneben wurde ein

Katalog von Indikatoren entwickelt, der sowohl die Vergleichbarkeit von Arbeitsgebieten als auch die Charakterisierung jeweiliger Besonderheiten gewährleisten soll. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf Schnittpunkte zwischen Gelände- und fernerkundungsbasierten Daten gelegt, um eine Kombination bzw. ein Upscaling zu ermöglichen. Basierend auf einem gemeinsamen Datenmodell wurden zunächst für alle Arbeitsgebiete räumliche Datenbanken erstellt. Ein essentielles Element dieses Modells ist eine Metadaten-Struktur, die durch einen schnellen Überblick über Inhalte und Erstellungsmethoden eines Datensatzes die gemeinsame Nutzung von Daten und Ergebnissen durch verschiedene Anwender erlaubt, und welche unter www.georange.org im Internet zur Verfügung gestellt wird.

Die Vorprozessierung der für alle Arbeitsgebiete beschafften Zeitserien von Satellitendaten erfolgte nach dem in DeMon-II bewährten Schema. Nach der Prozessierung ergaben sich Differenzen von maximal $\pm 2,5\%$ beim übergreifenden Vergleich der Reflexion pseudo-invarianter Flächen über die Zeitreihen. Diese Rasterdatenebene der räumlichen Datenbank wurde durch gebietsspezifische Informationen im Vektorformat ergänzt. Sie reichen von thematischen Karten bis hin zu den Ergebnissen der Geländeerhebungen an exakt lokalisierten Messpunkten. Zusätzlich fließen die im Rahmen des Projekts gewonnenen Ergebnisse in die Datenbank mit ein. Schließlich erfordern die Interpretations-Ansätze eine Charakterisierung von Oberflächentypen mittels spektraler Messungen, welche ergänzend zu vorhandenen Datenbanken im Gelände bzw. auf Basis von Proben im Labor vorgenommen wurden.

Das Hauptaugenmerk der letzten, derzeit laufenden Projektphase liegt auf der Integration der verschiedenen Teilaspekte mit dem Ziel der konsistenten Bewertung multifunktionaler Räume und der Formulierung angepasster Management-Strategien vor dem Hintergrund der von Planungsseite ausgesprochenen Vorgaben.

Außerdem werden einige experimentelle Studien durchgeführt, die das Potential in-

novativer Verfahren für die Fragestellung bewerten sollen. Dabei ist vor allen Dingen die Anwendung physikalisch-basierter Bestandsreflexionsmodelle für mediterrane Strauchgesellschaften zu nennen. Dabei soll untersucht werden, ob solche Modelle für die nicht-landwirtschaftlichen und dispers im Raum verteilten *Quercus-coccifera*-Bestände des Arbeitsgebietes in Nordgriechenland (Lagadas) anzupassen. Dabei soll eine Kopplung erprobter Modelle, wie z. B. SAIL (VERHOEF 1984) und PROSPECT (JACQUEMOUD & BARET 1990) mittels geometrisch-optischer Modelle an die tatsächlichen Geländeeinheiten angepasst, und unter Zuhilfenahme neuronaler Netze und im Gelände gemessener Parameter für Kombinationen von LAI, Blattwassergehalt und Chlorophyll-Konzentration invertiert werden (siehe dazu auch ATZBERGER 2001).

5 Ausblick

Im Bereich der Charakterisierung von Degradationsprozessen erfuhr die Bedeutung von Fernerkundung und Geodatenverarbeitung eine stetige Zunahme. Neben der Fortentwicklung von Ansätzen für Studien auf lokalem bis regionalen Maßstab und der zunehmenden Integration so gewonnener Daten mit anderen Disziplinen liegt in den kommenden Jahren das Augenmerk auf einer Erweiterung der Methodik hin zu größeren Raumeinheiten. Während auch künftig detaillierte Studien einen essentiellen Beitrag zu Prozessverständnis und lokaler Planung liefern werden, erscheinen kleinmaßstäbige Ansätze als wichtiger Schritt, um politische Entscheidungsträger und national wie international agierende Umweltplaner mit adäquaten, räumlichen Informationsprodukten zu versorgen. In allerjüngster Vergangenheit wurde dieser Aspekt im Rahmen des Aktionsplans für „Global Monitoring for Environment and Security“ erneut betont, welcher die europäische Kompetenz im großräumigen Monitoring von Umweltprozessen nachhaltig verbessern soll. Von entscheidender Bedeutung ist dabei die Produkt-Orientierung aller Ansätze im Hinblick auf die Bedürfnisse potenzieller

Nutzer. Daneben steht die Identifizierung momentan noch existierender Lücken bei der Datenbeschaffung bzw. -Verfügbarkeit sowie der methodischen Seite im Vordergrund. In diesem Kontext zielt das Projekt Ladamer – „*Land Degradation Assessment in Mediterranean Europe*“ darauf ab, eine kleinmaßstäbige Charakterisierung des Degradations-Status großer Räume bzw. die Identifizierung von „Hot Spots“ zu ermöglichen. Größter Wert liegt dabei auf dem Aufbau einer auf vorhandenen Datensätzen basierenden Datenbank. Die darauf aufbauenden Arbeiten konzentrieren sich auf eine Integration vielfältiger Ansätze von Landschaftsökologie, Bodenkunde, Fernerkundung, Geodatenverarbeitung und Landnutzungsmodellierung. Dabei sollen auf lokaler bis sub-regionaler Ebene erprobte Modelle so modifiziert werden, dass sie mit angemessener Signifikanz auf große Räume angewendet werden können, wie beispielsweise den europäisch-mediterranen Bereich.

Danksagung

Der überwiegende Anteil der hier dargestellten Projektarbeiten konnte nur dank der finanziellen Unterstützung durch die Europäische Kommission, DG Science, Research and Development realisiert werden (DeMon-II: ENV4-CT95-0166; GeoRange: EVK2-CT-2000-22089; Ladamer: EVK2-2002-00599). Unser Dank gilt hierbei vor allen Dingen Dr. DENIS PETER, der die Arbeiten stets konstruktiv begleitete. Darüber hinaus gebührt unser Dank den in den Projekten involvierten Partnern, die mit ihrem fachlichen und persönlichen Engagement maßgeblich zum Gelingen der Arbeiten beitrugen.

Literatur

ATZBERGER, C., 2001: Development on an invertible forest reflectance model: the INFORM model. – In: BUCHROITHNER, M.F. (Hrsg.): A Decade of Trans-European Remote Sensing Cooperation. – Proceedings of the 20th EAR-SeL Symposium, 14–16 Juni, 2000, Dresden, Germany, 39–44.

- BIRKELAND, P.W. 1990: Soil-geomorphic Research – a Selective Overview. – *Geomorphology*, **3**: 207–224.
- BOER, M., DEL BARRIO, G. & PUIGDEFABREGAS, J., 1996: Mapping soil depth classes in dry Mediterranean areas using terrain attributes derived from a digital elevation model. – *Geoderma*, **72**: 99–118.
- BOER, M., 1999: Assessment of dryland degradation, linking theory and practice through water balance modelling. – *Netherlands Geographical Studies* 25, 294 S., KNAG, Utrecht.
- BROUWER, L.C., DE JONG, S.M. & RIEZEBOS, H.T., 1998: Ecozones in Mediterranean Europe. – Unveröffentlichter Projektbericht.
- GRAETZ, R.D., 1996: Empirical and Practical Approaches to Land Surface Characterisation and Change Detection. – In: HILL, J. & PETER, D. (Hrsg.): *The Use of Remote Sensing for Land Degradation and Desertification Monitoring in the Mediterranean Basin. State of the Art and Future Research*. – Proceedings of an expert workshop jointly organized by JRC/IRSA and DG XIII, 13–15 June, 1994, Valencia, Spain, 9–22.
- HILL, J., MÉGIER, J. & MEHL, W., 1995: Land Degradation, soil Erosion and Desertification Monitoring in Mediterranean Ecosystems. – *Remote Sensing Reviews*, 1995, **12**: 107–130.
- HILL, J. (Hrsg.), 1996a: DeMon – Integrated Approaches to Desertification Mapping and Monitoring in the Mediterranean Basin. – Final Report of the DeMon-1 Project, EUR 16448 EN, Brussels/Luxembourg.
- HILL, J., SOMMER, S., MEHL, W. & MÉGIER, J., 1996b: A Conceptual Framework for Mapping and Monitoring the Degradation of Mediterranean Ecosystems with Remote Sensing. – In: HILL, J. & PETER, D. (Hrsg.): *The Use of Remote Sensing for Land Degradation and Desertification Monitoring in the Mediterranean Basin. State of the Art and Future Research*. – Proceedings of an expert workshop jointly organized by JRC/IRSA and DG XIII, 13–15 June, 1994, Valencia, Spain, 23–44.
- HOSTERT, P., 2001: Monitoring von Degradationserscheinungen im europäisch-mediterranen Raum mit Methoden der Fernerkundung und GIS. Untersuchungen am Beispiel der Weidegebiete Zentralkretas. – 219 S., Dissertation Universität Trier, Trier.
- HOSTERT, P., RÖDER, A., JARMER, Th., UDELHOVEN, Th. & HILL, J., 2002: The potential of Remote Sensing and GIS for Desertification Monitoring and Assessment. – *Annals of Arid Zone*, **40** (2): 103–140.
- IMESON, A., 1996: Desertification Research – Thematic Issues and Spatial and Temporal Scaling. – In: HILL, J. & PETER, D. (Hrsg.): *The Use of Remote Sensing for Land Degradation and Desertification Monitoring in the Mediterranean Basin. State of the Art and Future Research*. – Proceedings of an expert workshop jointly organized by JRC/IRSA and DG XIII, 13–15 June, 1994, Valencia, Spain, 1–8.
- JACQUEMOUD, S. & BARET, F., 1990: PROSPECT: A model of leaf optical properties spectra. – *Remote Sensing of Environment*, **34**: 75–91.
- JOHNSON, D.L. & LEWIS, L.A., 1995: *Land Degradation. Creation and Destruction*. – Blackwell, Oxford/Cambridge.
- NOY-MEIR, I., 1997: Effects of grazing on Mediterranean grasslands: the community level. – In: PAPANASTASIS, V.P. & PETER, D. (Hrsg.): *Ecological Basis of Livestock Grazing in Mediterranean Ecosystems*. – Proceedings of the International Workshop held in Thessaloniki (Greece), October 23–25, 1997. 350 S., Luxembourg.
- PEREZ-TREJO, F., 1994: Desertification and land Degradation in the European Mediterranean. – EUR 14850 EN, Official for Official Publications of the European communities, Luxembourg.
- PICKUP G. & CHEWINGS, V.H., 1994: A grazing gradient approach to land degradation assessment in arid areas from remotely-sensed data. – *International Journal of Remote Sensing*, **15**: 597–617.
- PREISSLER, H., BOHBOT, H., MEHL, W. & SOMMER, S., 1998: MEDSPEC – a Spectral Database as a Tool to Support the Use of Imaging Spectroscopy Data for Environmental Monitoring. – In: SCHAEPMAN, M., SCHLAEPFER, D. & ITTEN, K. (Hrsg.): *1st EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*, Zurich, 6–8 October 1998, 455–462.
- PUIGDEFABREGAS, J., SOLE, A., GUTIER-REZ, L., DEL BARRIO, G. & BOER, M., 1999: Scales and processes of water redistribution in drylands: results from the Rambla Honda field site in southeast Spain. – *Earth Science Reviews*, **48**: 39–70.
- RÖDER, A., HILL, J. & HOSTERT, P., 2001, Radiometric intercalibration of Landsat-TM and – MSS data for quantitative long-term environmental monitoring. – In: BUCHROITHNER, M.F. (Hrsg.): *A Decade of Trans-European Remote Sensing Cooperation*. – Proceedings of the 20th EARSeL Symposium, 14–16 Juni, 2000, Dresden, Germany, 213–218.

- RÖDER, A., HOSTERT, P., HILL, J., TSIOURLIS, G. & KASAPIDIS, P., 2001: Resource assessment to support the sustainable management of Mediterranean ecosystems. An approach integrating remote sensing and ecology. – Proceedings of the International Workshop on Geo-Spatial Knowledge Processing for Natural Resource Management, 28–29 Juni 2001, Varese, Italy, 303–309.
- SMITH, M.O., USTIN, S.L., ADAMS, J.B. & GILLESPIE, A.R., 1990: Vegetation in Deserts: I. A Regional Measure of Abundance from Multi-spectral Images. – Remote Sensing of Environment, **31**: 1–26.
- TABARANT, F., 1999: Apport de la télédétection et de la modélisation à l'étude de la dynamique de production d'un écosystème méditerranéen de chêne vert (*Quercus ilex*) dans le sud de la France. – Laboratoire d'Ecologie Vegetale, Université Orsay–Paris.
- TUELLER, P., 1995: Remote Sensing in the Management of Rangelands. Annals of the Arid Zone, **34** (3): 191–207.
- THOMAS, D.S. & MIDDLETON, N.J., 1994: Desertification – Exploding the Myth. – 208 S, Wiley and Sons, London.
- United Nations Convention to Combat Desertification – UNCCD (Hrsg.), 1994: Übereinkommen der Vereinten Nationen zur Bekämpfung der Wüstenbildung in den von Dürre und/oder Wüstenbildung schwer betroffenen Ländern, insbesondere in Afrika. – Dt. Übersetzung 1998, Bonn.
- VERHOEF, W., 1984: Light scattering by leaf layers with application to canopy reflectance modeling: The SAIL model. – Remote Sensing of Environment, **16**: 125–141.
- Anschriften der Autoren:
Dipl.-Geogr. ACHIM RÖDER, Abteilung Fernerkundung, Universität Trier, Geozentrum, D-54286 Trier, Tel.: +49-651-201-4606, Fax: +49-651-201-3815, e-mail: roeder@uni-trier.de
Prof. Dr. rer. nat. JOACHIM HILL, Abteilung Fernerkundung, Universität Trier, Geozentrum, D-54286 Trier, Tel.: +49-651-201-4592, Fax: +49-651-201-3815, e-mail: hillj@uni-trier.de
Prof. Dr. rer. nat. PATRICK HOSTERT, Geographisches Institut, Humboldt-Universität zu Berlin, Post: Unter den Linden 6, D-10099 Berlin, Sitz: Chausseestraße 86, D-10115 Berlin, Tel.: +49-30-2093-6805, Fax: +49-030-2093-6835, e-mail: patrick.hostert@rz.hu-berlin.de
- Manuskript eingereicht: November 2002
Angenommen: November 2002

Einfluss der spektralen und räumlichen Auflösung von Fernerkundungsdaten bei der Nadelwaldklassifikation

MARTIN SCHLERF, JOACHIM HILL, SAMUEL BÄRISCH & CLEMENT ATZBERGER, Trier

Keywords: remote sensing, imaging spectrometry, spatial resolution, classification, forest

Zusammenfassung: Optische Fernerkundungsdaten wurden zur Kartierung von Nadelwaldflächen im westlichen Hunsrück eingesetzt. Es war zu untersuchen, ob hyperspektrale Daten einen höheren Informationsgehalt zur Unterscheidung von Baumarten und Altersklassen besitzen als multispektrale Daten. Zudem war zu prüfen, welchen Einfluss die räumliche Auflösung der Datensätze auf das Klassifikationsergebnis hat.

Die radiometrisch aufbereiteten und geometrisch korrigierten, hyperspektralen Reflexionsdaten aus dem Jahr 1999 wurden einem Verfahren zur Datenreduktion und -verbesserung unterzogen. Multispektrale TM-Daten wurden über eine spektrale bzw. geometrische Degradation aus den räumlich und spektral hoch aufgelösten Hyperspektraldaten abgeleitet. Es konnten drei verschiedene Datensätze erzeugt werden: spektral degradiert, räumlich degradiert und eine Kombination aus beidem. Die Datensätze wurden mit dem Spectral Angle Mapper klassifiziert.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Kartierung der Nadelwaldflächen durch die Verwendung von Hyperspektraldaten gegenüber Multispektraldaten verbessert wird. Die Klassifikationsgenauigkeiten für die räumlich hoch aufgelösten Bilddaten ist jedoch geringer als für die geometrisch degradierten Daten, was dadurch erklärt werden kann, dass letztere eine geringere Bildvarianz aufweisen.

Summary: *Influence of the spectral and the spatial resolution of remote sensing imagery on forest classification.* Optical remote sensing imagery was classified to map coniferous forest cover for a study area located in the Western Hunsrück, Germany. Our objectives were to investigate if hyperspectral data contains more information relevant to the classification of species and age classes than multispectral imagery and to look at the influence of the spatial resolution on the classification accuracies.

Airborne hyperspectral data (HyMap) covering the entire test site has been acquired for July 1999. Subsequent to radiometric and geometric correction, data reduction and enhancement was performed by a Minimum Noise Fraction transformation. Multispectral data (TM) was simulated through degradation of the spectral and/or spatial information of the HyMap data. Three different synthetic datasets were created: spectrally degraded, spatially degraded and a combination of both. The classification was performed with the Spectral Angle Mapper algorithm.

The results show that mapping of coniferous forest cover is improved by the use of hyperspectral compared to multispectral data but that classification accuracy is lower using high spatial resolution data compared to spatially degraded data. This is explained by the lower image variance of the latter data set.

1 Einleitung

Die Kenntnis der Baumarten und Altersstrukturen in Waldökosystemen spielt im Forstmanagement eine wichtige Rolle. So wird beispielsweise die Baumartenzusammensetzung von Forstbeständen im Rahmen der Aktualisierung der Forsteinrich-

ungsdaten in regelmäßigen Abständen erfasst und Holzvorratsschätzungen sind in hohem Maße abhängig vom Bestandsalter. Auch in biogeochemischen Prozessmodellen, wie z. B. Forest-BGC (RUNNING & COUGHLAN 1988, RUNNING et al. 1994) erfolgt die Parametrisierung bestimmter Ein-

gangsvariablen in Abhängigkeit von der jeweiligen Baumartenspezies.

Die Kartierung von Wäldern hinsichtlich ihrer Baumarten- und Altersverteilung aus Luftbildern stellt in der forstlichen Praxis ein gängiges Verfahren dar. Multispektrale Fernerkundungsdaten wurden bereits zur Unterscheidung von Nadel- und Laubwäldern (z. B. NELSON et al. 1985, HILL et al. 1995) und von Baumarten (z. B. WALSH 1980, FRANKLIN 1994, VOHLAND, 1997) eingesetzt. Eine genauere Erfassung von Forst-ökosystemen hinsichtlich ihrer ökologischen Eigenschaften wird mit hyperspektralen Fernerkundungsdaten angestrebt. So sind Hyperspektraldaten in forstwissenschaftlichen Untersuchungen bislang hauptsächlich zur Ableitung blattchemischer Größen (PETERSON et al. 1988, WESSMAN et al. 1988, JOHNSON et al. 1994, GASTELLU-ETCHEGORRY et al. 1995) und struktureller Parameter, wie z. B. des Blattflächenindex (GONG et al. 1992, UDELHOVEN et al. 2000) zur Anwendung gekommen. Jedoch haben sich wenige Studien mit der Kartierung von Baumartenspezies aus hyperspektralen Daten befasst. Mit *in situ* Hyperspektraldaten konnte eine Unterscheidung von sechs Koniferenarten (GONG et al. 1997) und mehrerer tropischer Baumarten (COCHRANE 2000) erzielt werden. Erfolge bei der Klassifikation von Waldbaumarten aus hyperspektralen Bilddaten zeigten Untersuchungen von FRANKLIN (1994) und MARTIN (1998). Derartige Datensätze wurden mit eingeschränktem Erfolg auch dazu verwendet, die Altersstruktur im Forst zu erfassen (NIEMANN 1995, KÖHL & LAUTNER 2001).

Bilddaten, die mittels flugzeuggestützter Bildspektrometer aufgezeichnet werden, haben in der Regel sowohl eine hohe spektrale als auch geometrische Auflösung. Beim Übergang zu satellitengestützten Sensoren muss aus technischen Gründen entweder eine geringere räumliche oder spektrale Auflösung in Kauf genommen werden. So hat beispielsweise der auf der EO-1 Plattform befindliche Hyperion-Sensor 220 Bänder (von 0,4 bis 2,5 μm) und eine räumliche Auflösung von 30 m. Dagegen weist der Ikonos-Sensor 4 Bänder bei einer Pixelgröße von

4 m auf. Es stellt sich daher die Frage, ob zur Klassifikation von Waldflächen eher eine hohe spektrale oder vielmehr eine hohe geometrische Auflösung der Bilddaten anzustreben ist.

2 Zielsetzung

Das in der vorliegenden Studie verfolgte Ziel war, die Eignung von vier Datensätzen mit unterschiedlicher spektraler und geometrischer Auflösung für die Erfassung von Baumarten und -alter für Nadelwälder zu vergleichen. Damit verbunden wurden zwei Hypothesen formuliert:

Hypothese 1: Hyperspektrale Daten enthalten ein größeres Maß an Informationen, die für die Waldklassifikation relevant sind, als multispektrale. Daher wird für den Datensatz hoher spektraler Auflösung eine bessere Klassifikationsgenauigkeit erwartet als für den geringer aufgelösten. Während multispektrale Sensoren das reflektierte Signal nur in wenigen Spektralkanälen aufzeichnen, erfassen Hyperspektralsensoren das gesamte Reflexionsspektrum. Hierfür stehen Analysemethoden zur Verfügung, die die gesamte im Spektrum enthaltene Information nutzen.

Hypothese 2: Räumlich hoch aufgelöste Daten enthalten mehr Informationen, die für die Waldklassifikation relevant sind, als Daten geringer geometrischer Auflösung. Daher wird für den Datensatz mit einer Pixelgröße von 5 m eine bessere Klassifikationsgenauigkeit erwartet als für den 30-m-Datensatz.

3 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

Das Untersuchungsgebiet (49°40'N, 7°10'E) umfasst den im westlichen Hunsrück gelegenen Idarwald. Der Höhenzug des Hunsrücks, morphologisch durch einen NE-SW streichenden Härtingsrücken gekennzeichnet, ist aus unterdevonischem Taunusquarzit aufgebaut. Auf den nährstoffarmen, zum Teil stark versauerten Böden bilden arten-

arme Buchenwälder die natürlichen Waldgesellschaften. Heute nimmt jedoch die Fichte (*Picea abies*), mit der ab dem Ende des 18. Jahrhunderts aufgeforstet wurde, den größten Flächenanteil ein, gefolgt von Buche (*Fagus sylvatica*), Traubeneiche (*Quercus petraea*) und Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) (Arbeitskreis Standortkartierung 1985).

Hyperspektrale Bilddaten wurden im Juli 1999 aufgenommen. Der verwendete HyMap-Sensor erfasst den Wellenlängenbereich von 400 bis 2500 nm in 128 Spektralkanälen bei einer spektralen Bandbreite von 10–20 nm. Die geometrische Auflösung wurde über die Flughöhe auf fünf Meter festgelegt. Die radiometrische Korrektur der Bilddaten erfolgte am RSD der Universität Trier nach einem von HILL et al. (1995) entwickelten Verfahren. Dabei wurden die aufgezeichneten Grauwerte zunächst über eine Sensorkalibrierung in Strahldichten umgerechnet und dann atmosphärisch und topographisch bedingte Einflüsse eliminiert. Die Geocodierung des Datensatzes wurde mit der Software PARGE (SCHLÄPFER et al. 1998) durchgeführt.

Das zur Verfügung stehende forstliche geographische Informationssystem (FoGIS) enthält die aktuellen Forsteinrichtungsdaten (Stichtag: 01. 10. 1994) in aufbereiteter Form. Das FoGIS deckt nahezu den gesamten HyMap-Flugstreifen ab und stellt im Wesentlichen bestandsweise Informationen zur Baumartenzusammensetzung und Altersstruktur zur Verfügung (VOHLAND 1997).

4 Methoden

In Vorbereitung auf die Klassifikation wurden einige Schritte der Datenvorverarbeitung durchgeführt. Da sich die weitere Klassifikation ausschließlich auf Nadelwaldbestände beschränkte, wurden Bildpixel, die keinen Nadelwald repräsentieren, ausmaskiert. Dies erfolgte über eine Nadelwaldmaske, die mittels einer unüberwachten Klassifikation (Isodata-Algorithmus) aus den Hyperspektraldaten erzeugt wurde. Aus dem resultierenden Datensatz konnten alle

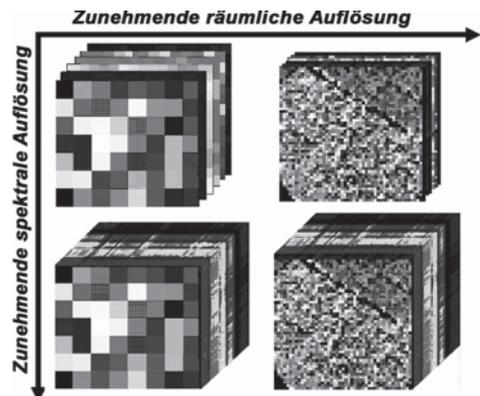


Abb. 1: Vier Datensätze unterschiedlicher spektraler und räumlicher Auflösung. Oben links: TM 30 m, oben rechts: TM 5 m, unten links: HyMap 30 m, unten rechts: HyMap 5 m.

vier zu klassifizierenden Datensätze berechnet werden (Abb. 1).

4.1 Minimum Noise Fraction Transformation

Der hyperspektrale Datensatz musste einem Verfahren der Datenreduktion und -verbesserung unterzogen werden. Dies ist notwendig, da von abbildenden Spektrometern erfasste Fernerkundungsdaten aufgrund ihrer hohen spektralen Auflösung ein hohes Maß an redundanter Information enthalten; lange Rechenzeiten und Schwierigkeiten bei der Klassifikation können die Folge sein. Als Standardmethode zur Reduktion und Verbesserung von hyperspektralen Fernerkundungsdaten hat sich die Minimum Noise Fraction (MNF) Transformation (GREEN et al. 1988, LEE et al. 1990) entwickelt. Die MNF berechnet, ähnlich der Hauptkomponentenanalyse, für Linearkombinationen der ursprünglichen Spektralwerte Gewichte, mit denen das Koordinatensystem durch Drehung der Achsen in ein neues rechtwinkliges Achsensystem transformiert wird. Die neuen Achsen stellen die Faktoren dar. Diese sind mit zunehmender Ordnungszahl nach sukzessiv abnehmendem Signal-Rausch Verhältnis geordnet. Somit lassen sich die Komponenten mit hohem Informa-

tionsgehalt von den nur noch wenig Information enthaltenen abtrennen. Bei den verwendeten Bilddaten wurden anhand eines Eigenwert-Plots 19 MNF-Bänder mit den höchsten Eigenwerten von den restlichen Komponenten mit hohem Rauschanteil abgetrennt und für die weitere Datenauswertung verwendet.

Der multispektrale Datensatz wurde erzeugt, indem aus den Hyperspektraldaten die Bänder selektiert wurden, die den zentralen Wellenlängenpositionen der TM Kanäle entsprechen. Die beiden multi- und hyperspektralen Datensätze wurden schließlich räumlich degradiert, indem die 5 m Bildpixel durch Mittelwertbildung in 30 m Pixel überführt wurden (Abb. 1).

4.2 Training

Als Grundlage einer überwachten Klassifizierung wird in der Trainingsphase versucht, das spektrale Muster der zu untersuchenden Objektklassen möglichst repräsentativ in den verschiedenen Erscheinungsformen zu erfassen. Die Extraktion der Spektralsignaturen erfolgte unter Zuhilfenahme der im FoGIS enthaltenen Bestandspolygone (5-15 Polygone pro Objektklasse, 100-1000 Pixel pro Polygon). Es wurden nur solche Objektklassen berücksichtigt, die durch mindestens drei Bestände vertreten waren. Die Bestandspolygone sind zuvor nach innen gebuffert worden, um Mischpixel, die an den Bestandsgrenzen auftreten können, auszuschließen. Bereiche mit stark abweichendem Reflexionsverhalten, beispielsweise Sturmwurfflächen, die noch nicht im FoGIS ausgewiesen waren, wurden nach visueller Überprüfung ausgeschlossen. Die Trainingsdaten wurden über einen Zufallsgenerator in drei Pixeluntergruppen aufgeteilt: 10 Prozent für Trainingszwecke (Trainingspixel), 25 Prozent zur Validierung der Klassifikationsergebnisse (Validierungspixel); die verbleibenden 65 Prozent Pixel wurden nicht weiter verwendet. Mit dieser Gestaltung der Trainingsphase konnte die oftmals schwierige Aufteilung der Trainingsdaten in räumlich zusammenhängende Trainings- und Validierungsflächen vermieden werden,

die, je nach Art der Aufteilung, unterschiedliche Klassifikationsergebnisse zur Folge haben kann. Der relativ geringe Umfang an Trainingspixeln trägt der Tatsache Rechnung, dass in der Praxis zeitaufwendig zu erhebende Geländedaten häufig nur in eingeschränktem Umfang zur Verfügung stehen. Nach einer visuellen Analyse der extrahierten Reflexionsspektren wurde entschieden, sechs Objektklassen zu unterscheiden (vier Altersklassen bei Fichte und zwei Altersklassen bei Douglasie). Mit zunehmendem Bestandsalter zeigt sich insbesondere im nahen Infrarot eine starke Abnahme der Reflexion (nicht gezeigt). Douglasien haben ein generell höheres Reflexionsniveau als Fichten gleichen Alters. Während die jüngeren Altersklassen gut voneinander separierbar erscheinen, sind insbesondere für die Trennung von Baum- und Altholz (Fichte) Schwierigkeiten zu erwarten.

4.3 Klassifikation und Validierung

Für die Klassifikation wurde der Spectral Angle Mapper (KRUSE et al. 1993) eingesetzt. Dieses Verfahren ist relativ unempfindlich gegenüber Beleuchtungs- und Albedoeffekten. Der Algorithmus vergleicht in einem ersten Schritt im n-dimensionalen Merkmalsraum pixelweise jedes Bildspektrum (unbekannte Klasse) mit jedem der 44 Trainingsspektren (bekannte Klasse) und berechnet den dazugehörigen spektralen Winkel. Im Klassifikationsschritt wird dann einem Bildpixel die Objektklasse zugewiesen, die den geringsten Spektralwinkel aufweist. Im Anschluss an die Klassifikation wurden die 44 Unterklassen zu 6 Hauptklassen zusammengefasst. Einzelne, fehlklassifizierte Bildpixel konnten im Postklassifizierungsschritt (sieve and clump) entfernt werden.

Die Validation der Klassifikationsergebnisse erfolgte anhand der 25 Prozent Bildpixel, die nicht in den Trainingsprozess mit eingegangen waren. Für jede Klassifikation wurde eine Konfusionsmatrix errechnet, indem die tatsächliche Klasse eines Referenzpixels mit der in der Klassifikation zugewiesenen Klasse verglichen wird. Zwei Maße

für die Klassifikationsgenauigkeit wurden berechnet. Die Gesamtklassifikationsgenauigkeit (Overall Accuracy, OAA) quantifiziert den Prozentanteil korrekt klassifizierter Pixel:

$$OAA = \frac{\sum_{k=1}^q n_{kk}}{n} \cdot 100 \quad (1)$$

wobei n_{kk} die Anzahl der korrekt klassifizierten Validierungspixel (Diagonale der Konfusionsmatrix), q die Anzahl an Klassen und n die Gesamtzahl der Validierungspixel bezeichnet. Der Kappa Koeffizient kompensiert Effekte, die sich durch eine zufällige Übereinstimmung ergeben (FOODY 2002):

$$KAPPA = \frac{n \sum_{k=1}^q n_{kk} - \sum_{k=1}^q n_{k+} n_{+k}}{n^2 - \sum_{k=1}^q n_{k+} n_{+k}} \quad (2)$$

wobei n_{k+} die Summe der Validierungspixel in einer Klasse und n_{+k} die Summe der klassifizierten Pixel in dieser Klasse darstellt.

5 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Klassifikationen sind anhand der Gesamtklassifikationsgenauigkeiten und der Kappa-Koeffizienten in Tab. 1 zusammengefasst. Detaillierte Angaben zu den Klassifikationsgenauigkeiten der einzelnen Objektklassen finden sich in SCHLERF et al. (2002). Für einen Datensatz (hyperspektral, 5 m) ist das klassifizierte Bild bei-



Abb. 2: Trainingsgebiete über Hyperspektraldaten (HyMap-Bänder 83-29-15) (links); Klassifikationsergebnis und überlagerte Bestandsgrenzen (rechts); blau: Fichte-Altholz, gelb: Fichte-Baumholz, grün: Fichte-Stangenholz, cyan: Fichte-Dickung, rot: Douglasie-Stangenholz, orange: Douglasie-Dickung.

Tab. 1: Zusammenfassung der Klassifikationsergebnisse.

Datensatz	Gesamtklassifikationsgenauigkeit (%)	Kappa Koeffizient
A: HyMap 5 m	81.4	0.78
B: HyMap 30 m	95.0	0.94
C: TM 5 m	55.9	0.47
D: TM 30 m	69.5	0.64

spielhaft in Abb. 2 dargestellt. Insgesamt ergeben die hyperspektralen Datensätze deutlich bessere Klassifikationsergebnisse als die multispektralen Datensätze, mit Unterschieden von etwa 25 Prozent (OAA) bei beiden Varianten unterschiedlicher geometrischer Auflösung. Damit wird die zuvor aufgestellte Hypothese 1 eindeutig belegt. Offensichtlich ist die Information zur Unterscheidung von Baumarten und Altersklassen nicht vollständig in wenigen spektralen

Bändern sondern im gesamten Reflexionsspektrum enthalten. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich auch in vergleichbaren Untersuchungen. So konnte beispielsweise bei der Schätzung des Blattflächenindex mit Hyperspektraldaten eine größere Genauigkeit als mit Multispektraldaten erzielt werden (GONG et al. 1992).

Die geometrisch hoch aufgelösten Datensätze zeigen hingegen deutlich schlechtere Klassifikationsergebnisse als die gering aufgelösten Datensätze; die Unterschiede betragen hier annähernd 14 Prozent (OAA) im hyperspektralen als auch im multispektralen Fall. Somit wird Hypothese 2 klar widerlegt; vielmehr kann für das hier verwendete Verfahren belegt werden, dass eine Zunahme der räumlichen Auflösung bei der Klassifikation von Nadelwaldflächen zu schlechteren Ergebnissen führt. Die Gründe liegen darin, dass sich insbesondere Fichten durch eine mit dem Alter zunehmende Kronendachrauigkeit auszeichnen (SCHARDT 1990). Dies hat zur Folge, dass die Baumkronen im geometrisch hoch aufgelösten Bild einen beleuchteten und einen beschatteten Teil aufweisen, was sich durch kleinräumige Variationen im Spektralverhalten zeigt. Dies wird noch dadurch verstärkt, dass Lücken im Kronendach aufgelöst werden, deren Reflexionsverhalten sich durch Einflüsse des Unterwuchses oder der Bodenstreu stark von dem der Baumkronen abhebt. Diese Effekte werden im räumlich gering aufgelösten Datensatz durch Verringerung der Bildvarianz ausgeglichen. Ähnliche Resultate sind auch in der Literatur zu finden. So existieren Untersuchungen, in denen eine Zunahme der räumlichen Auflösung ebenfalls keine Erhöhung der Klassifikationsgenauigkeiten ergeben hat (MARTIN & HOWARTH 1989).

6 Ausblick

Das Potential verschiedener Sensoren zur Erfassung von Waldflächen ist bislang noch nicht eindeutig identifiziert worden. Gegenwärtige und zukünftige Sensorentwicklungen streben eine Erhöhung der räumlichen und/oder spektralen Auflösung an. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung be-

legen, dass die Klassifikation von Nadelwaldflächen durch eine Erhöhung der spektralen Auflösung verbessert wird. Dagegen wurde durch eine Erhöhung der räumlichen Auflösung keine Verbesserung erzielt. Allerdings wurden mit Textureigenschaften verbundene Informationen, die möglicherweise in den Daten enthalten sind, nicht berücksichtigt.

Ein alternatives Konzept der digitalen Bildverarbeitung betrachtet nicht einzelne Bildpixel, sondern homogene Pixelgruppen, so genannte Bildobjekte. Bei diesen objektbasierten Ansätzen werden homogene Pixelgruppen klassifiziert, die aus kontextueller Bildinformation abgeleitet werden (BLASCHKE & STROBL 2001). Es wird daher zukünftig angestrebt, die vorgestellte pixelbasierte Klassifikation im Sinne einer weiteren räumlichen Degradation auf Basis von Objekten durchzuführen. Zu diesem Zweck ist geplant, einen von ATZBERGER (2003; dieses Heft) entwickelten Ansatz anzuwenden. Danach werden auf einem segmentierten Bild für jedes Bildobjekt spektrale Objektsignaturen (wie z. B. Steigung und Bestimmtheitsmaß der linearen Relationen zwischen zwei Spektralkanälen) berechnet. Diese den Objekten eigene Texturinformation kann anschließend mit in den Klassifizierungsprozess einfließen und möglicherweise zu besseren Klassifizierungsergebnissen führen.

Danksagung

Die Untersuchung wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des SFB 522 „Umwelt und Region“ gefördert. Wir danken Dr. PATRICK HOSTERT (Humboldt-Universität, Berlin), Dr. THOMAS UDELHOVEN, WOLFGANG MEHL (Joint Research Centre; Ispra, Italy) und SEBASTIAN MADER für die gewährte Unterstützung bei der Vorverarbeitung der HyMap-Daten. Das Forst-GIS wurde dankenswerterweise von MICHAEL VOHLAND bereitgestellt. Herrn ANDREAS MÜLLER und Frau ANDREA HAUSOLD vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt danken wir für die erfolgreiche Befliegung mit dem HyMap-Sensor.

Literatur

- ARBEITSKREIS STANDORTKARTIERUNG, 1985: Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke in der Bundesrepublik Deutschland. – Münster.
- ATZBERGER, C., 2003: Möglichkeiten und Grenzen der fernerkundlichen Bestimmung biophysikalischer Vegetationsparameter mittels physikalisch basierter Reflexionsmodelle. – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, **2003** (1): 51–61 (dieses Heft).
- BLASCHKE, T. & STROBL, J., 2001: What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. – GIS, **6**: 12–17.
- COCHRANE, M. A., 2000: Using vegetation reflectance variability for species level classification of hyperspectral data. – Int. Jour. Rem. Sens., **10**: 2075–2087.
- FOODY, G. M., 2002: Status of land cover classification accuracy assessment. – Remote Sens. Environ., **80**: 185–201.
- FRANKLIN, S. E., 1994: Discrimination of subalpine forest species and canopy density using digital CASI, SPOT PLA, and Landsat TM data. – Photogr. Eng. & Rem. Sens., **60** (10): 1233–1241.
- GASTELLU-ETCHEGORRY, J. P., ZAGOLSKI, F. MOUTIN, E. et al., 1995: An assessment of canopy chemistry with AVIRIS – a case study in the Landes Forest, South-west France. – Int. Jour. Rem. Sens., **16** (3): 487–501.
- GONG, P., PU, R. & MILLER, J. R., 1992: Correlating leaf area index of Ponderosa pine with hyperspectral CASI data. – Canadian Journal of Remote Sensing, **18**: 275–282.
- GONG, P., PU, R. & YU, B., 1997: Conifer species recognition: an exploratory analysis of in situ hyperspectral data. Remote Sens. Environ., **62**: 189–200.
- GREEN, A. A., BERMAN, M., SWITZER, P. et al., 1988: A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. – IEEE Trans. Geosc. Rem. Sens. **26**, 1: 65–74.
- HILL, J., MEHL, W. & RADELOFF, V., 1995: Improved forest mapping by combining corrections of atmospheric and topographic effects. – In: ASKNE, J. (Ed.): Sensors and environmental applications of remote sensing. – Proc. 14th EARSeL Symposium, Göteborg, Sweden, 6–8 June 1994. 143–151, A. A. Balkema: Rotterdam, Brookfield.
- JOHNSON, L. F., HLAVKA, C. A. & PETERSON, D. L., 1994: Multivariate analysis of AVIRIS data for canopy biochemical estimation along the Oregon transect. – Remote Sens. Environ., **47**: 216–230.
- KÖHL, M. & LAUTNER, M., 2001: Erfassung von Waldökosystemen durch Hyperspektraldaten. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation, **2001** (2): 107–117.
- KRUSE, F. A., LEFKOFF, A. B., BOARDMAN et al., 1993: The spectral image processing system (SIPS) – Interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. – Remote Sens. Environ., **44**: 145–163.
- LEE, J. B., WOODYATT, A. S. & BERMAN, M., 1990: Enhancement of high spectral resolution remote sensing data by noise-adjusted principal components transform. – IEEE Trans. Geosc. Rem. Sens. **28**, 3: 295–304.
- MARTIN, L. & HOWARTH, P., 1989: Change-detection accuracy assessment using SPOT multispectral imagery of the rural-urban fringe. – Remote Sens. Environ., **30**: 55–66.
- MARTIN, M. E., NEWMAN, S. D., ABER, J. D. et al., 1998: Determining forest species composition using high spectral resolution remote sensing data. – Remote Sens. Environ., **65**: 249–254.
- NELSON, R. F., LATTY, R. S. & MOTT, G., 1985: Classifying northern forests using Thematic Mapper Simulator data. – Photogr. Eng. & Rem. Sens., **50**: 607–617.
- NIEMANN, K. O., 1995: Remote sensing of forest stand age using airborne spectrometer data. – Photogr. Eng. & Rem. Sens., **61** (9): 1119–1127.
- PETERSON, D. L., ABER, J. D., MATSON, P. A. et al., 1988: Remote sensing of forest canopy and leaf biochemical contents. – Remote Sens. Environ., **24**: 85–108.
- RUNNING, S. W., 1994: Testing Forest-BGC ecosystem process simulations across a climatic gradient in Oregon. – Ecol. Appl., **4**: 238–247.
- RUNNING, S. W. & COUGHLAN, J. C., 1988: A general model for forest ecosystem processes for regional applications. I. Hydrologic balance, canopy gas exchanges and primary production processes. – Ecol. Model. **42**: 125–154.
- SCHARDT, M., 1990: Verwendbarkeit von Thematic Mapper-Daten zur Klassifizierung von Baumarten und natürlichen Altersklassen. DLR-FB 90–44, Oberpfaffenhofen.
- SCHLÄPFER, D., SCHAEPMAN, M. E. & ITTEN, K. I. (1998): PARGE: Parametric Geocoding Based on GCP – Calibrated Auxiliary Data. – SPIE Int. Symp. on Opt. Sc. Eng. and Instr., San Diego (CA): 334–344.
- SCHLERF, M., ATZBERGER, C. & HILL, J., 2002: Tree species and age class mapping in a Central European woodland using optical remote sens-

- ing imagery and orthophoto derived stem density – performance of multispectral and hyperspectral sensors. – 22nd EARSeL Symposium “Geoinformation for European-wide integration”, Prague.
- UDELHOVEN, T., ATZBERGER, C. & HILL, J. (2000): Retrieving structural and biochemical forest characteristics using artificial neural networks and physically based reflectance models. – In: BUCHROITHNER (Hrsg.): A decade of trans-european remote sensing cooperation. – Proceedings of the 20th EARSeL Symposium, Dresden, Germany, 205–211.
- VOHLAND, M. (1997): Einsatz von Satellitenbild-daten (Landsat TM) zur Ableitung forstlicher Bestandsparameter und Waldschadensindikatoren. – Diplomarbeit, Universität Trier.
- WALSH, S.J. (1980): Coniferous tree species mapping using Landsat data. – Remote Sens. Environ., **9**: 11–26.
- WESSMAN, C.A., ABER, J.D., PETERSON, D.L. et al. (1988): Remote sensing of canopy chemistry and nitrogen cycling in temperate forest ecosystems. – Nature, **335**: 154–156.
- Anschriften der Autoren:
- Dipl.-Geogr. MARTIN SCHLERF, Abteilung Fernerkundung, Universität Trier, Geozentrum H-809, D-54286 Trier, Tel.: +49-651-201-4593, e-mail: schlerf@uni-trier.de
- Prof. Dr. rer. nat. JOACHIM HILL, Abteilung Fernerkundung, Universität Trier, Geozentrum H-808, D-54286 Trier, Tel.: +49-651-201-4592, e-mail: hillj@uni-trier.de
- cand. Dipl.-Geogr. SAMUEL BÄRISCH, Fernerkundung, Universität Trier, Geozentrum H-842a, D-54286 Trier, e-mail: baer5101@uni-trier.de
- Dr. rer. nat. CLEMENT ATZBERGER, Abteilung Fernerkundung, Universität Trier, Behringstraße, D-54286 Trier, Tel.: +49-651-201-4596, Fax: +49-651-201-3815, e-mail: atzberger@feut.de
- Manuskript eingereicht: November 2002
Angenommen: November 2002

Klassifikation von Getreideflächen mit hyperspektralen Bilddaten des HyMap-Sensors

THOMAS UDELHOVEN, Trier, PATRICK HOSTERT, Berlin, THOMAS JARMER & JOACHIM HILL, Trier

Keywords: remote sensing, GIS, HyMap, hyperspectral data, landuse, artificial neural networks (ANN)

Zusammenfassung: Für ein Testgebiet im Hunsrück (SW-Deutschland) wurde eine überwachte pixelbasierte Klassifikation von Getreideflächen mit hyperspektralen Bilddaten des HyMap-Sensors durchgeführt. Eine Grobklassifikation trennte Getreideschläge von sonstigen Landnutzungsflächen, wohingegen eine Detailklassifikation die Getreideklasse weiter in Hafer, Roggen, Sommer- und Wintergerste sowie Weizen differenzierte. Wichtige Vorverarbeitungsschritte beinhalteten die parametrische Geokodierung und radiometrische Korrektur der Bilddaten. Als Klassifikationsalgorithmus wurde ein künstliches neuronales Netz (artificial neural network, ANN) mit resilient propagation (Rprop) als Lernalgorithmus verwendet. Eine aktuelle terrestrische Landnutzungserhebung unter Verwendung von Katasterinformationen stellte die Referenz für die Klassifikation dar. Die Anwendung des trainierten ANN auf einen Testdatensatz erbrachte eine gute Differenzierung des Getreideanbaus aus dem monotonalen Datensatz.

Summary: *Classification of crop areas using hyperspectral data from the HyMap-sensor.* A modular, pixel based, and supervised classification of crops was carried out with hyperspectral data from the HyMap-sensor for a test site in the Hunsrück mountains (SW-Germany). A pre-classification was employed for the differentiation of crop areas from non-crop areas, whereas the separability of wheat, oat, rye, winter barley, and summer barley was addressed in a sub-classification. Important pre-processing steps included a parametric geocoding approach and a radiometric correction. An artificial neural network (ANN) with the resilient backpropagation learning algorithm (Rprop) was applied for the actual classification. Cadastral information was combined with up-to-date land cover mapping to yield a reliable database for evaluation purposes. The transfer of the trained ANN to an independent test data set resulted in a reliable separation of the five different crops even from a mono-temporal data set.

1 Einleitung

Mit spektral hochauflösenden Fernerkundungssensoren können umweltbezogene Messgrößen auf verschiedenen Skalenebenen qualitativ und quantitativ abgeleitet werden. Bei der Klassifizierung von vegetationsbestandenen Flächen besteht jedoch häufig das Problem einer hohen Variabilität der Spektralsignaturen innerhalb einer Klasse. Landnutzungsklassifikationen lassen sich über multitemporale Auswertestrategien häufig durch die Ausnutzung von Unterschieden im phänologischen Verlauf un-

terschiedlicher Vegetationstypen verbessern. Bei der Verwendung flugzeuggestützter hyperspektraler Aufnahmesysteme, wie dem HyMap-Sensor, sind der Verfügbarkeit multitemporalen Bilddaten jedoch aus operativen, zeitlichen und monetären Gründen häufig Grenzen gesetzt. In dieser Studie wird die Differenzierbarkeit des Getreideanbaus in einem Untersuchungsgebiet im Hunsrück aus monotonalen HyMap-Bilddaten untersucht. In einer früheren Studie, die auf dem identischen Bilddatensatz beruht, wurde festgestellt, dass Hafer, Roggen, Sommergerste, Wintergerste und Weizen trotz

erheblicher Intra-Klassen-Varianzen interpretierbare spektrale Unterschiede aufweisen (HOSTERT et al. 2001). In der vorliegenden Untersuchung wird die Trennbarkeit dieser Getreidearten mit einem überwachten Klassifikationsansatz überprüft.

2 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Hunsrück etwa 10 km südlich der Stadt Trier. Es ist stark reliefiert und wird von Gesteinen des Unterdevons dominiert. Je nach Geländelage herrschen flach- oder tiefgründige Böden vom Typ des Rankers oder der sauren Braunerde vor. Diese meist flachgründigen Böden verfügen über einen hohen Sklettanteil und weisen mittlere Ackerzahlen von nur 35 auf. Im betrachteten Bildausschnitt liegen überwiegend Getreideanbauflächen, welche nur vereinzelt durch Ölsaaten abgelöst werden. Aufgrund der oftmals nur geringen bis mittleren Erträge ist in den Bilddaten mit spektralen Mischsignaturen der Vegetation mit dem Boden zu rechnen. Entlang der Talauen befindet sich bei einer ausreichenden Breite Grünland, ebenso wie auf den nicht mit Wald bestandenen Quellmulden der Plateauflächen. Der betrachtete Ausschnitt kann als repräsentativ für weite Bereiche der umgebenden Anbauflächen angenommen werden.

3 Material

Am 10. Juni 1999 wurden während eines Überflugs mehrere Aufnahmen mit dem HyMap-Sensor von landwirtschaftlich benutzten Flächen in der Region Trier akquiriert. Der HyMap-Sensor erfasst mit vier Spektrometern einen Wellenlängenbereich zwischen 400 nm und 2.500 nm in 128 Kanälen. Die spektrale Bandbreite der Kanäle variiert zwischen 13,7 nm und 24,3 nm. Das signal-to-noise Verhältnis ist nach Angaben der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt für alle Kanäle größer als 500 : 1 (DLR 2000). Eine radiometrische Qualitätsüberprüfung ergab jedoch, dass einige Kanäle durch striping (Kanäle 1, 2), sichtbares Rauschen (Kanäle 65, 67, 68, 97) und durch ein

graduell abnehmendes signal-to-noise Verhältnis (Kanäle 124 bis 128) fehlerbehaftet waren. Der mitgelieferte Hilfsdatenstrom umfasste die geometrische Position des Sensors, die mit vier differentiellen GPS verfolgt wurde, Fluglageparameter von einem mitgeführten IGI-System sowie radiometrische Kalibrierungsparameter.

Als Referenz für die durchzuführende Landnutzungsklassifikation stand eine terrestrische, parzellenbezogene Landnutzungserhebung zur Verfügung (Abb. 1), die von dem Lehrstuhl für Biogeographie an der Universität Trier während des späten Frühjahrs und Frühsommers 1999 durchgeführt wurde. Die Daten wurden zur Überlagerung mit den orthoentzerrten HyMap-Daten in einem GIS (ArcView 3.2) vorgehalten. Um störende Mischpixel an den Parzellengrenzen zu eliminieren, wurden die Vektoren der Landnutzungsklassen gepuffert (20 m) und jeweils nur die inneren Polygone für die weiteren Auswertungen verwendet.

Zum Überflugzeitpunkt erfolgten Referenzmessungen (Grünflächen, Böden, Asphalt und Sportplätze) mit einem ASD FieldSpec II-Spektrometriemeter im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 2500 nm. Für die Orthoentzerrung der Bilddaten wurden 30 Bodenkontrollpunkte mit einem GPS (Trimble Pathfinder ProXR) differentiell eingemessen. Die geometrische und radiometrische Weiterverarbeitung erfolgte zusammen mit einem auf 20 m Auflösung interpolierten ATKIS-DGM des Landesvermessungsamtes Rheinland-Pfalz.

4 Datenvorverarbeitung und Methoden

Die parametrisch-geometrische Korrektur der Bilddaten erfolgte mit der Software PargeTM (SCHLÄPFER & RICHTER 2002) unter Einbeziehung des digitalen Höhenmodells, der erhobenen Bodenkontrollpunkte, sowie der zeilensynchron verfügbaren Positionsparameter des Sensors. Die Überlagerung der korrigierten Bilddaten mit den vektorisierten großmaßstablichen Katasterdaten (Abb. 1) belegt die hohe Präzision der geometrischen Korrektur. Die Bilddaten wur-

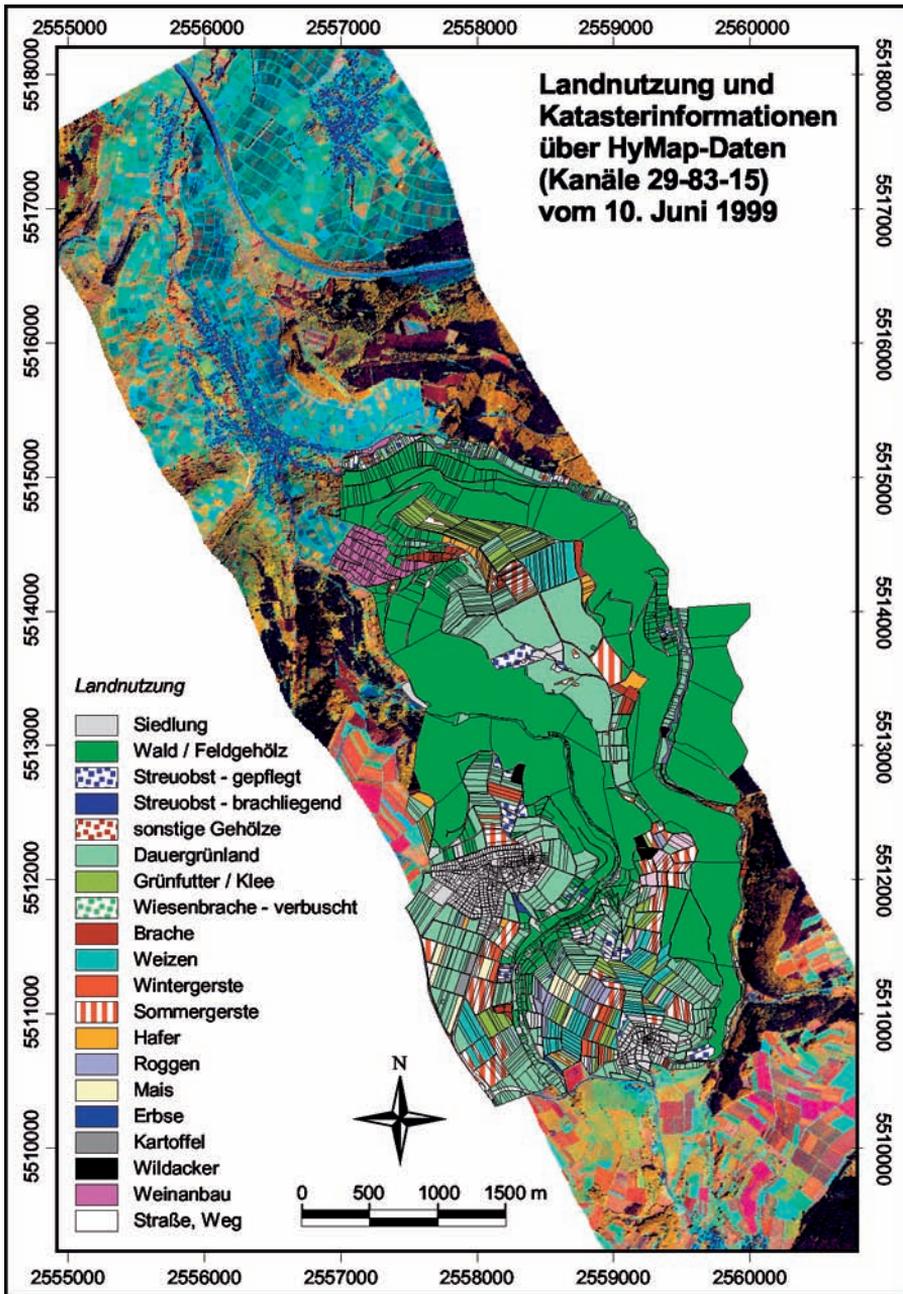


Abb. 1: Landnutzung über HyMap-Daten im Untersuchungsgebiet.

den anschließend mit den erhobenen Referenztargets und dem digitalen Höhenmodell radiometrisch korrigiert. Dies schloss eine across-track-Beleuchtungskorrektur, die Kompensation der zum Überflugzeitpunkt herrschenden atmosphärischen Bedingungen, eine topographische Beleuchtungskorrektur sowie eine „in-flight“ Kalibration des HyMap-Aufnahmesystems ein (HILL & MEHL, diese Ausgabe).

Zum Überflugzeitpunkt am 10. Juni dominierten im Anbau Weizen, Roggen, Hafer, Sommergerste und Wintergerste, deren spektrale Differenzierung den Schwerpunkt der vorliegenden Untersuchung darstellt. Mit einem zweistufigen neuronalen Klassifikationsansatz wurden zunächst Getreidepixel von nicht-Getreidepixeln getrennt. In der sich anschließenden Detailklassifikation erfolgte die Differenzierung der fünf Getreidearten.

Für die Erstellung und Validierung des Klassifikationsmodells wurden die Getreideschläge mit bekannter Nutzung in ein Training-, Monitoring- und ein Testset aufgeteilt. Um eine ausreichende Repräsentativität der drei Datensätze bei der Aufteilung zu gewährleisten, erfolgte eine Voranalyse der Getreideschläge mit dem unüberwachten Isodata-Algorithmus. Bei der Zuteilung der Parzellen wurde darauf geachtet, dass Schläge aus allen Clustern in den drei Datensätzen vertreten waren. Für die Grobklassifikation wurden diese Datensätze zusätzlich durch Trainingsgebiete erweitert, die sonstige Landnutzung repräsentierten. Diese sehr heterogene Gruppe umfasst u. a. Siedlungs-, Wasser- und Waldflächen sowie Hackfrucht- und Futterbau und Sonderkulturen. Für das Training der neuronalen Netze (ANN) war es ausreichend, nur ein Drittel der verfügbaren Trainingspixel, verteilt über alle Schläge des Trainingssets, zu verwenden.

Zur Datenkomprimierung der Pixelspektren wurde die Hauptkomponentenanalyse (PCA) eingesetzt. Um die Unabhängigkeit der drei Datensätze zu wahren und gleichzeitig eine optimale Differenzierung der Getreidearten zu erhalten, erfolgte keine globale PCA über alle Bilddaten. Vielmehr wur-

den selektiv die Trainings-Getreidespektren PC-transformiert. Die Spektren des Validierungs- und Testdatensatzes sowie die nicht-Getreide-Spektren wurden anschließend unter Verwendung der berechneten Eigenvektoren in den PC-transformierten Datenraum des Trainingssets überführt.

Für das überwachte Training eines dreistufigen ANN mit sigmoidalen Transferfunktionen wurde der Resilient propagation (Rprop-) Algorithmus verwendet (RIEDMILLER & BRAUN 1993). Die Zahl der Ausgabeneuronen ergab sich aus der Zahl der zu trennenden Klassen, d.h. zwei für die Grobklassifikation und fünf zur Detailklassifikation. Das ANN-Training erfolgte mit dem Trainingsdatensatz. Die geeignete Zahl an Inputneuronen (= Zahl der verwendeten Hauptkomponenten) und der verdeckten Neuronen wurde dagegen iterativ durch Minimierung des „Mean Squared Error“ (MSE) des Monitoringdatensatzes („Validierungsdatensatz“) durch systematische Variation der Neuronenzahl ermittelt.

Die Interpretation der Aktivierung der Ausgabeneuronen erfolgte nach dem winner-takes-all-Prinzip, wobei neben dem Ausgabeneuron mit der höchsten Aktivierung (= Gewinnerklasse) auch der Abstand zum Ausgabeneuron mit der zweithöchsten Aktivierung berücksichtigt wurde. Bei Verwendung sigmoidaler Transferfunktionen ist die Aktivierung der Neuronen dabei auf den Wertebereich [0,1] beschränkt. Die Definition einer Rückweisungsklasse erfolgte durch unterschiedliche Festlegung von Aktivierungsschwellwerten der Ausgabeneuronen, wobei entweder die Herstellergenauigkeit („error of omission“) oder die Nutzergenauigkeit („error of commission“) des Monitoringdatensatzes klassenspezifisch maximiert wurde. Die so gefundenen Schwellwerte wurden nach Anwendung der trainierten ANNs zur Post-Klassifizierung des Testdatensatzes verwendet.

5 Ergebnisse

Die Abb. 2 zeigt die Mittelwertsspektren der fünf zu klassifizierenden Getreideklassen mit den dazugehörigen Standardabwei-

chungen. Im Mittel sind die Vegetationsklassen sehr ähnlich; eine Trennung scheint am ehesten im nahen Infrarot (NIR) möglich zu sein. Weizen und Wintergerste lassen sich dort gut von Hafer, Sommergerste und Roggen unterscheiden. Allerdings zeichnet sich das NIR-Plateau auch durch die größten spektralen Standardabweichungen aus. Die Roggenspektren weisen dort besonders große Variabilitäten auf, aber auch Hafer und Weizen zeigen hohe Variabilitäten. Spektrale Überschneidungen der Klassengrenzen sind daher unvermeidbar.

Bei der systematischen Festlegung der ANN-Architektur erwies sich ein ANN mit 24 Inputneuronen (= PCs) und vier verdeckten Neuronen (24-4-5 Architektur) am geeignetsten für die Trennung der fünf Getreideklassen. Für die Grobklassifikation ergab sich ein 3-5-2 ANN-Modell. Tab. 1 und Tab. 2 stellen die Ergebnisse der Klassifizierung dar, die eine gute Differenzierung zwischen den Getreideklassen erkennen lassen. In Tab. 1 sind die Hersteller- und Nutzergenauigkeiten für die Klassifikation ohne Rückweisungsklasse zusammengefasst. Da das „winner-takes-all“-Prinzip zur Festlegung der Gewinnerklasse in diesem Fall uneingeschränkt gilt, wurden dabei die höchsten Herstellergenauigkeiten erreicht. Die Tab. 2 gibt die Ergebnisse nach Maximieren der Nutzergenauigkeit durch das Einführen einer Rückweisungsklasse wieder.

Erwartungsgemäß sind die Klassifikationsgenauigkeiten für den Trainingsdatensatz am höchsten. Doch auch im Testdatensatz werden ohne Berücksichtigung einer Rückweisungsklasse Hersteller- und Nutzergenauigkeiten bei Sommergerste, Wintergerste, Weizen und sonstiger Nutzung meist Werte von über 90 % erreicht. Eine Ausnahme stellen die mit Roggen bestandenen Schläge dar, für deren Pixel nur eine mittlere Zuordnungsgenauigkeit erreicht werden konnte. Obwohl der Monitoringdatensatz an der Modellbildung indirekt beteiligt war, sind dessen optimierte Herstellergenauigkeiten, mit Ausnahme von Wintergerste, schlechter als diejenigen des Testdatensatzes.

Trotz klassenspezifischer Maximierung der Nutzergenauigkeiten verbessern sich diese im Testdatensatz mit Ausnahme von Hafer und Roggen nur geringfügig. Der damit verbundene Rückgang der Herstellergenauigkeiten ist jedoch auffallend groß. Im Monitoringset können die Nutzergenauigkeiten zwar deutlich gesteigert werden, aber dies hat ebenfalls zum Teil inakzeptabel große Rückweisungsklassen, d. h. geringe Herstellergenauigkeiten, zur Folge.

6 Diskussion

Die spektrale Varianz innerhalb der fünf Getreideklassen ist aufgrund unterschiedlicher biophysikalischer Parameter, die wiederum

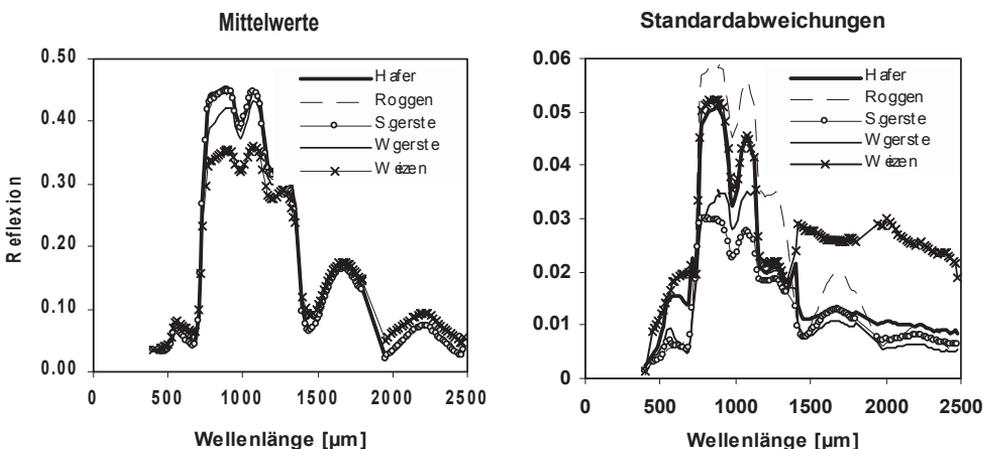


Abb. 2: Mittelwertsspektren und mittlere Standardabweichungen der Getreideklassen.

Tab. 1: Ergebnis der Getreideklassifikation aus HyMap-Daten ohne Rückweisungsklasse (Minimalaktivierung des Neurons der Gewinnerklasse: 0, Abstand zur Aktivierung der zweitbesten Klasse: 0). Die aufgeführten Werte für den Trainingsdatensatz ergaben sich nach Klassifikation des gesamten Trainingssets. Für das ANN-Training wurde nur jedes dritte Pixel (867 Pixel) aus diesem Set verwendet. Die angegebenen a-priori-Wahrscheinlichkeiten ergeben sich aus der Zusammensetzung der drei Datensätze und spiegeln daher nicht genau die Verteilung im Untersuchungsgebiet wider.

Trainingsdatensatz (4713 Pixel)

	A-priori	Hersteller Genauig-	Nutzer Genauig-
	prob.	keit	keit
Hafer	0.09	0.98	0.95
Roggen	0.06	0.92	0.90
S. gerste	0.26	0.97	0.92
W. gerste	0.09	0.99	0.99
Weizen	0.07	0.87	0.93
Sonst.			
Nutzung	0.43	0.95	0.98

Monitoringdatensatz (6012 Pixel)

	A-priori	Hersteller Genauig-	Nutzer Genauig-
	prob.	keit	keit
Hafer	0.03	0.75	0.88
Roggen	0.08	0.54	0.65
S. gerste	0.24	0.76	0.72
W. gerste	0.05	0.99	0.85
Weizen	0.21	0.46	0.94
Sonst.			
Nutzung	0.39	1.00	0.79

Testdatensatz (14150 Pixel)

	A-priori	Hersteller Genauig-	Nutzer Genauig-
	prob.	keit	keit
Hafer	0.07	0.75	0.76
Roggen	0.04	0.68	0.59
S. gerste	0.28	0.85	0.91
W. gerste	0.04	0.97	0.95
Weizen	0.25	0.92	0.92
Sonst.			
Nutzung	0.33	0.96	0.92

Tab. 2: Ergebnis der Getreideklassifikation mit HyMap-Daten mit klassenspezifischer Definition einer Rückweisungsklasse für den Monitoring- und Testdatensatz. Die winner-takes-all- (WTA-) Schwellwerte wurden durch Maximierung der Nutzergenauigkeit des Monitoringsets bestimmt.

Pixel der Monitoring-(Validierungs)-Schläge

Klasse	opt. WTA Grenzwert	opt. Dist. zum 2ten	Hersteller-genauigkeit	Nutzer-genauigkeit	RICHTIG	FALSCH	NICHT KLASS.
Hafer	0.90	0.90	0.50	1.00	88	3	84
Roggen	0.90	0.00	0.11	0.88	50	106	307
S.gerste	0.90	0.90	0.57	0.82	816	162	448
W.gerste	1.00	0.90	0.53	0.85	170	1	148
Weizen	0.90	0.00	0.29	0.99	372	312	608
Sonst.							
Nutzung	0.90	0.90	0.83	0.93	1935	0	402

Pixel der Test-Schläge (mit WTA-Schwellwerten aus dem Monitoringset)

Klasse	opt. WTA Grenzwert	opt. Dist. zum 2ten	Hersteller-genauigkeit	Nutzer-Genauigkeit	RICHTIG	FALSCH	NICHT KLASS.
Hafer	0.90	0.90	0.37	0.92	353	28	571
Roggen	0.90	0.00	0.41	0.86	217	86	230
S.gerste	0.90	0.90	0.54	0.98	2140	88	1711
W.gerste	1.00	0.90	0.68	1.00	393	4	185
Weizen	0.90	0.00	0.32	0.93	1120	67	2301
Sonst.							
Nutzung	0.90	0.90	0.63	0.97	2929	16	1711

standortabhängig sind, im Untersuchungsgebiet verhältnismäßig groß. Dafür verantwortlich sind Faktoren wie phänologischer Entwicklungszustand, Bestandsdichte und -höhe, Sichtbarkeit des Bodenhintergrundes, klimatische und pedologische Unterschiede. Diese Faktoren führen zu großen Intra-Klassenvariabilitäten (BARET & JAQUEMOUD 1994, GUYOT 1990). Die großen spektralen Standardabweichungen auf dem NIR-Plateau bei Roggen und Hafer können wahrscheinlich auf unterschiedliche geoökologische Randbedingungen der Schläge, die in Höhenlagen zwischen 130 m bis 350 m auftreten, zurückgeführt werden. Bei Wintergerste war zum Überflugtermin der Übergang von der photosynthetisch aktiven Phase zur Gelbreife bereits vollzogen, so dass eine gute Unterscheidung von den übrigen Getreideklassen möglich war. Die hohe Variabilität beim Weizen im Wellenlängenbereich des mittleren Infrarot ist wahrscheinlich ebenfalls durch Standortunterschiede, insbesondere durch eine unterschiedliche Wasserversorgung, zu erklären (GUYOT 1990). Insgesamt konnte jedoch eine gute Differenzierung zwischen den berücksichtigten Getreidearten erreicht werden.

Der im Vergleich zum Testset größere Klassifikationsfehler im Monitoringset zeigt, dass dieser die Varianz des Trainingsdatensatzes schlechter abbildet als der etwa doppelt so große Testdatensatz. Nicht völlig ausgeschlossen werden können auch vereinzelte Kartierfehler bei der terrestrischen Landnutzungserhebung. Das Ergebnis bestätigt die Bedeutung des Designs der Trainings- und Monitoringsets, die gleichermaßen für ein Untersuchungsgebiet repräsentativ sein sollten. Wenn, wie im vorliegenden Fall, ein Monitoringset an der Modellfindung beteiligt ist, stellt der Fehler eines unabhängigen Testdatensatzes ein besseres Maß zur Beschreibung der Generalisierbarkeit des ANN dar (DESPAGNE & MASSART 1998).

Die große Zahl der für eine gute Klassentrennung benötigten Hauptkomponenten überrascht hinsichtlich der rasch sinkenden Eigenwerte, die bereits nach der siebten Hauptkomponente Beträge < 1 aufwiesen.

Die wesentlichen Kriterien der PCA bilden die Kovarianzmaximierung und die Orthogonalität der Faktorwerte, nicht aber die Gruppenzugehörigkeit. Zudem werden bei der PCA nicht-lineare Abhängigkeiten in der X-Matrix unter Annahme eines linearen Zusammenhangs häufig nur auf hintere Hauptkomponenten projiziert. Obwohl nachrangige Hauptkomponenten nur wenig erklärte Varianz des X-Datenraumes auf sich vereinigen, leisten sie im Einzelfall einen signifikanten Beitrag zur Klassentrennung. Die Festlegung der Zahl signifikanter Hauptkomponenten ausschließlich durch ein Eigenwertkriterium ist daher häufig nicht die optimale Lösung (MALINOWSKI & HOWERY 1980, BARROS & RUTLEDGE 1998, DESPAGNE & MASSART 1998).

Die Hersteller- und Nutzergenauigkeit lassen sich über einen weiten Bereich durch angepasste Rückweisungsschwellen variieren. Bei einem modularen Modell ist dabei zu berücksichtigen, dass Veränderungen der Schwellwerte in der Grobklassifikation auch Veränderungen der Klassifikationsgenauigkeiten in den untergeordneten Modellen zur Folge haben. Bei der Grobklassifikation ist es sinnvoll, die Nutzergenauigkeit zu maximieren, um Fremdspektren wirksam herauszufiltern, die anderenfalls in den Untermodellen beim Einsatz von ANNs zu schwer vorhersagbaren Ergebnissen führen können. Hohe Nutzergenauigkeiten müssen jedoch bei spektralen Überschneidungen der Klassen mit zum Teil inakzeptabel großen Rückweisungsklassen erkauft werden.

7 Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung belegt eine erfolgreiche spektrale Differenzierung von Getreide aus mono-temporalen hyperspektralen Bilddaten des HyMap-Sensors trotz erheblicher Standortunterschiede zwischen den Schlägen. Voraussetzungen dafür waren das Erfassen eines geeigneten phänologischen Zustands und eine ausreichend große Zahl an Referenzen für die überwachte Klassifikation. Wegen der deutlichen Reliefunterschiede im Untersuchungsgebiet war

eine physikalisch basierte geometrische und radiometrische Datenvorverarbeitung notwendig. Der verwendete modulare Klassifikationsansatz birgt den Vorteil der Erweiterbarkeit, denn eine Klasse lässt sich durch weitere Sub-ANNs weiter differenzieren, ohne die Kalibrierung der übergeordneten ANNs wiederholen zu müssen. So könnte die bei der Grobklassifikation definierte Klasse „sonstige Nutzung“ ohne Einfluss auf die Trennung der bereits berücksichtigten Getreidearten weiter differenziert werden.

Danksagung

Diese Studie wurde mit Mitteln aus dem Sonderforschungsbereich 522 „Umwelt und Region“ an der Universität Trier gefördert. Das Autorenteam bedankt sich für die Unterstützung der Abteilung Biogeographie, FB VI, Universität Trier, für die zur Verfügung gestellte Referenzkartierung. Weiterhin sei allen studentischen Mitarbeitern gedankt, welche an der Datenaufbereitung beteiligt waren, insbesondere SAMUEL BÄRISCH.

Literatur

- BARET, F. & JACQUEMOUD, S., 1994: Modeling canopy spectral properties to retrieve biophysical and biochemical characteristics. – In: HILL, J. & MÉGIER, J. (eds.): *Imaging spectrometry – a tool for environment observations*. – 147–167, Kluwer, Amsterdam.
- BARROS, A. S. & RUTLEDGE, D. N., 1998: Genetic algorithm applied to the selection of principal components. – *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, **40**: 65–81.
- DESPAGNE, F. & MASSART, D. L., 1998: Neural networks in multivariate calibration. – *The Analyst*, **123**: 157R–178R.
- GUYOT, G., 1990: Optical properties of vegetation canopies. – In: STEVEN, M. D. & CLARK, J. A. (eds.): *Applications of remote sensing in agriculture*. – 19–43, Butterworths, London.
- German Aerospace Centre (DLR), 2000: Information on the HyMap Hyperspectral Mapping System, http://www.op.dlr.de/dais/hymap/hy-map_men.htm (21/11/2000).
- HILL, J. & MEHL, W., 2003: Geo- und radiometrische Aufbereitung multi- und hyperspektraler Daten zur Erzeugung langjähriger kalibrierter Zeitreihen. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation 2003* (1): 7–13. (diese Ausgabe)
- HOSTERT, P., JARMER, T., UDELHOVEN, T. & HILL, J., 2001: Sensitivity analysis of HyMap data for agricultural applications. – *Second EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*, Enschede, 2000, 6p.
- MALINOWSKI, E. H. & HOWERY, D. G., 1980: *Factor Analysis in Chemistry*. – John Wiley & Sons, New York.
- RIEDMILLER, M. & BRAUN, H., 1993: A direct adaptive method for faster backpropagation learning: The RPROP algorithm. – In: RUSPINI, H. (ed.): *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks (ICNN)* (San Francisco), 586–591.
- SCHLÄPFER, D. & RICHTER, R., 2002: Geosatmospheric Processing of Airborne Imaging Spectrometry Data Part 1: Parametric Orthorectification. – *International Journal of Remote Sensing*, **23**: 2609–2630.

Anschriften der Autoren:

Dr. rer.nat. THOMAS UDELHOVEN, Universität Trier, Abt. Fernerkundung, Behringstrasse, D-54286 Trier, Tel.: +49-651-201-4594, Fax: +49-651-201-3815, e-mail: udelhove@uni-trier.de

Dr. rer.nat. PATRICK HOSTERT, Juniorprofessor für Fernerkundung und Geoinformatik, Humboldt-Universität zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II, Geographisches Institut, Abt. Geoinformatik/Kartographie, Unter den Linden 6, D-10099 Berlin, Tel.: +49 30 2093-6805, Fax: +49 30 2093-6835 e-mail: patrick.hostert@geo.hu-berlin.de

Dipl.-Geogr. THOMAS JARMER, Universität Trier, Abt. Fernerkundung, Behringstrasse, D-54286 Trier, Tel.: +49-651-201-4605, Fax: +49-651-201-3815, e-mail: jarmer@uni-trier.de

Prof. Dr. rer.nat. JOACHIM HILL, Universität Trier, Abt. Fernerkundung, Behringstrasse, D-54286 Trier, Tel.: +49-651-201-4591, Fax: +49-651-201-3815, e-mail: hillj@uni-trier.de

Manuskript eingereicht: November 2002
Angenommen: November 2002

Spektroradiometrische Ableitung biophysikalischer Vegetationsparameter von Weizenbeständen: Vergleichende Untersuchung verschiedener empirisch-statistischer Verfahren

THOMAS JARMER, BENJAMIN KÖTZ & CLEMENT ATZBERGER, Trier

Keywords: remote sensing, spectroscopy, leaf area index, chlorophyll content, precision farming

Zusammenfassung: Fernerkundung hat sich als sehr wertvoll zur Überwachung von Pflanzenbeständen erwiesen. Räumlich kontinuierlich abgeleitete Bestandsparameter können beispielsweise im Konzept des „precision farming“ als Grundlage für agronomische Entscheidungen dienen. Dabei ist jedoch meist ungeklärt, welcher methodische Ansatz am geeignetsten ist. Um eine Hilfestellung bei der Auswahl der geeignetsten Schätzmethoden zu liefern, wurden in dieser Arbeit verschiedene empirisch-statistische Methoden zur spektroradiometrischen Bestimmung von Vegetationsparametern aus spektral hoch aufgelösten Daten miteinander verglichen. Dabei wurden sowohl Reflexionsspektren als auch deren 1. Ableitung einbezogen. Untersucht wurden unter anderem Inflexionspunktverschiebungen, normalisierte Differenzen, univariate Regressionen sowie die Partial Least Square Regression. Der für diese Analysen im Gelände akquirierte Datensatz umfaßt über den gesamten Phänologiezyklus die Dynamik der Vegetationsparameter und der Bestandssignatur von 4 Weizenbeständen. Die Kreuzvalidierten Ergebnisse zeigen, dass die Zielgrößen Blattflächenindex (LAI), Blattchlorophyll- (Cab) und Bestandschlorophyllgehalt (Cab x LAI) mit den vier verwendeten Ansätzen zuverlässig bestimmt werden können. Unter den analysierten empirisch-statistischen Methoden ergab die Partial Least Square Regression (PLS) unter Verwendung der Ableitungsspektren die stabilsten Ergebnisse (kruzvalidiertes r_{cv}^2 zwischen 0.8 und 0.9). Relative $RMSE_{cv}$ lagen bei dieser Methode je nach Zielgröße zwischen 12,8 und 14,1 %.

Summary: *Spektroradiometric determination of wheat canopy biophysical variables: Comparison of several empirical-statistical methods.* Remote sensing has been proven to be a valuable tool for monitoring vegetation surfaces. Canopy parameters can be derived from spatially continuous remote sensing data providing for example information relevant for crop management within the precision farming concept. The objective of this study is to compare the performance of several empirical-statistical methods to derive vegetation parameters from hyperspectral data. We analyzed shifts in the inflection point, normalized differences, univariate linear regressions and partial least square regressions with reflectance spectra and first derivatives as input variables. A data set has been acquired, comprising top of canopy reflectances and the corresponding canopy parameters of four wheat canopies over the full phenological crop cycle. The assessment of the different approaches shows reliable retrieval performances for the leaf area index (LAI), leaf chlorophyll content (Cab) and canopy chlorophyll content (Cab x LAI). The results of the Partial Least Square Regression (PLS) were nevertheless the most stable with cross-validated r_{cv}^2 between 0.8 and 0.9. Percent $RMSE_{cv}$ were for this method in the range between 12,8 and 14,1 %.

1 Einführung

„Precision Farming“ ist ein relativ neues Konzept innerhalb der Agrarwirtschaft, das die lokale Variabilität innerhalb eines Vegetationsbestandes bei der Bewirtschaftung von Agrarflächen berücksichtigt. Durch die räumlich differenzierte Aufbringung von Dünger- und Pflanzenschutzmitteln ist es möglich, den wirtschaftlich optimalen Ertrag zu erzielen und gleichzeitig die Belastung der Natur zu minimieren (BRYSON et al. 2000, DUTHILL 1999, MORAN et al. 1997, MORAN 2000, POILVÉ 2002).

Vitalität und Produktivität einer Pflanze werden hauptsächlich von ihrer Photosynthese und Evapotranspiration bestimmt. Beide Prozesse sind direkt abhängig von der vorhandenen aktiven Blattfläche und dem Chlorophyllgehalt im Blatt. Sowohl strukturelle Bestandeseigenschaften wie der Blattflächenindex (LAI), als auch der Blattchlorophyllgehalt (Cab) können aus optischen Fernerkundungsdaten in hoher räumlicher Auflösung bestimmt werden, da beide Vegetationsgrößen die spektrale Signatur des Vegetationsbestandes bestimmen (u. a. BARET et al. 2000).

Relativ früh wurden empirische Schätzverfahren auf der Grundlage spektraler Indizes entwickelt (z. B. TUCKER 1980). Diese meist auf der Rot- und nIR-Reflexion basierenden Indizes sind auch heute noch weit verbreitet und werden für operationelle Vegetationsbeobachtungen eingesetzt (u. a. DAUGHTRY 2000). Durch die zunehmende Verfügbarkeit von Hyperspektraldaten stehen für die Auswertung neben den klassischen Vegetationsindizes jedoch noch weitere empirisch-statistische Schätzverfahren zur Verfügung, von denen einige wichtige im Rahmen dieser Geländestudie vergleichend untersucht werden sollen. Auf die Möglichkeiten und Grenzen von physikalisch basierten Reflexionsmodellen zur Bestimmung biophysikalischer Vegetationsparameter kann hier aus Platzgründen nicht eingegangen werden. Siehe dazu auch ATZBERGER (2003; dieses Heft).

2 Datengrundlage

Vier Weizenbestände wurden im Jahr 2000 über den gesamten Phänologiezyklus spektrometrisch und hinsichtlich ihrer biophysikalischen Eigenschaften erfasst (Abb. 1). Die vier Bestände (B1a, B1b, B2a und B2b) liegen im Bitburger Gutland, zirka 20 km nördlich von Trier. In allen Beständen wurden jeweils drei 40 cm × 40 cm große Plots an vier wolkenfreien Beobachtungstagen innerhalb der Vegetationsperiode vermessen (Day of Year: 115, 129, 160, 172).

Die spektralen Messungen wurden mit einem tragbaren Spektrometrisch (ASD FieldSpec II) in einer Höhe von 1,5 m direkt über jedem einzelnen Plot durchgeführt und durch eine Referenzpanelmessung in absolute Reflexionswerte umgerechnet. Das Instrument misst dabei die vom Vegetationsbestand reflektierte Strahlung im Wellenlängenbereich 350–2500 nm mit einer spektralen Auflösung von 3–10 nm. Auf Grund hoher Rauschanteile wurden die Messungen unter 420 und über 2400 nm eliminiert. Ebenfalls eliminiert wurden die Reflexionswerte in den Wasserdampfbanden der Atmosphäre (1,34–1,45 µm, 1,75–1,97 µm). Um die Rauscheffekte im Hinblick auf die Bildung von Ableitungsspektren zu minimieren, wurden die Spektren unter Verwendung des Savitzky-Golay-Algorithmus gefiltert (SAVITZKY & GOLAY 1964). Bei diesem Filterverfahren gleitet ein (hier 31 nm breites) „Fenster“ über das zu glättende Spektrum, entnimmt die entsprechenden Reflexionswerte, fittet ein Polynom als Funktion der Wellenlänge durch die Originalwerte (hier Polynom 3. Grades) und schreibt den gefitteten Reflexionswert an die zentrale Stelle des gleitenden Fensters zurück. Die so geglätteten Reflexionsspektren und ihre Ableitungsspektren 1. Ordnung wurden für die anschließende Auswertung verwendet. Eine weitere Datenvorbehandlung der Reflexionsmessungen erfolgte nicht.

Zur Bestimmung des grünen Blattflächenindex (LAI) wurden anschließend die Pflanzen von den einzelnen Plots abgeerntet und mit Hilfe des LICOR3100 ausplanimetriert. So war ein direkter Zusammenhang

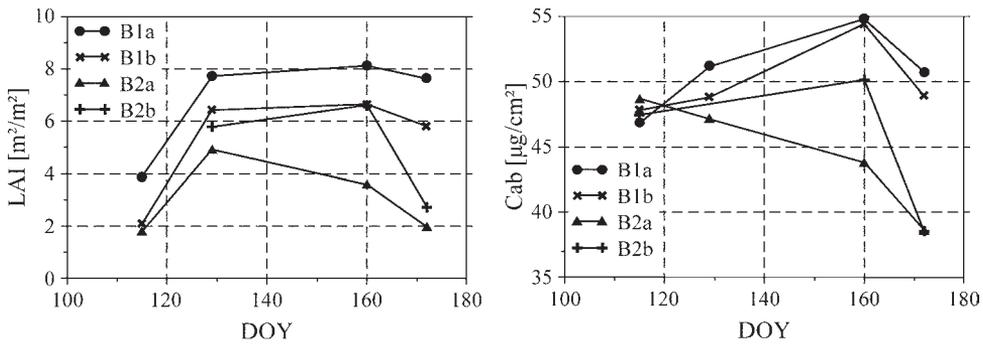


Abb. 1: Zeitlicher Verlauf von LAI (links) und Blattchlorophyllgehalt (rechts) der untersuchten Weizenbestände (aus Gründen der Deutlichkeit wurden die einzelnen Messwerte in der graphischen Darstellung verbunden).

Tab. 1: Grüner LAI, Blatt- und Bestandschlorophyllgehalte der untersuchten Weizenbestände.

	LAI [m ² /m ²]*					Cab [µg/cm ² Blattfläche]**					Cab x LAI [µg/cm ² Bodenfläche]***				
	B1a	B1b	B2a	B2b	ges.	B1a	B1b	B2a	B2b	ges.	B1a	B1b	B2a	B2b	ges.
n _{obs}	12	12	12	9	45	4	4	4	3	15	12	12	12	6	42
mean	6,8	5,3	3,1	5,0	5,0	51	50	45	45	48	352	265	139	218	247
stdv	2,1	2,2	1,7	1,9	2,4	3,3	3,0	4,5	6,1	4,7	117	117	80	125	134
max	8,7	8,7	6,9	7,2	8,7	55	55	49	50	55	475	474	325	345	475
min	2,6	1,4	1,0	2,3	1,0	47	48	39	39	39	122	67	38	87	38

* für den Bestand B2b konnten am DOY115 keine LAI-Messungen durchgeführt werden
 ** die Messungen der Blattchlorophyllgehalte des Bestandes B2b am DOY129 waren inkonsistent und wurden nicht berücksichtigt
 *** für den Bestand B2b ergab sich als Folge der fehlenden LAI- und Blattchlorophyllgehalte eine geringere Stichprobenanzahl

zwischen den Strukturmessungen und den Spektralmessungen gewährleistet.

Da eine nennenswerte Variation des Blattchlorophyllgehaltes innerhalb der einzelnen Bestände nicht zu erwarten war, wurden die Chlorophyllmessungen lediglich bestandsbezogen durchgeführt. Dazu wurden 20 zufällig über den Bestand verteilte Pflanzen selektiert und mit Hilfe eines optischen Chlorophyll-Meters (SPAD-502, Spectrum Technologies, Inc.) vermessen. Die SPAD-Werte wurden dann unter Verwendung einer empirischen Beziehung (MARKWELL et al. 1995) in absolute Blattchlorophyllgehalte konvertiert. Zusätzlich wurde über eine Multiplikation der beiden primären biophysikalischen Parameter LAI und Cab der Bestandschlorophyllgehalt (Cab x LAI) abgeleitet. Die Variabilität der erhobenen Bestandsparameter resultierte im Wesentlichen aus der Dynamik des Wachstumsverhaltens des Weizens, der lokalen Variabilität innerhalb eines Bestandes und der Anbauweise der jeweiligen Schläge (vgl. Tab. 1).

Die spektroradiometrische Schätzung der drei untersuchten abhängigen Vegetationsparameter (LAI, Cab, Cab x LAI) wurde mit verschiedenen empirisch-statistischen Verfahren durchgeführt:

3 Methoden

Die spektroradiometrische Schätzung der drei untersuchten abhängigen Vegetationsparameter (LAI, Cab, Cab x LAI) wurde mit verschiedenen empirisch-statistischen Verfahren durchgeführt:

- 1) Partial Least Square Regression (PLS) mit Reflexionsspektren bzw. 1. Ableitungen
- 2) Univariate lineare Regression mit Reflexionsspektren bzw. 1. Ableitungen
- 3) Normalisierte Differenzen mit Reflexionsspektren
- 4) Verschiebung des Inflexionspunktes in der sogenannten „red-edge“

Die Validierung der Modelle erfolgte über eine Kreuzvalidierung mit der leave-one-out-Schätzmethode. Die leave-one-out-Methode liefert im Vergleich zum Trainingsfehler eine nahezu unverzerrte Schätzung (OTTO 1997, FAHRMEIR 1996). Als Kriterien zur Beurteilung der kreuzvalidierten Modellergebnisse wurden das Bestimmtheitsmaß (r^2_{cv}), der Standardfehler ($RMSE_{cv}$) sowie der relative prozentuale Standardfehler ($PRMSE_{cv}$) verwendet.

Partial Least Square Regression (PLS)

Bei der Partial Least Square Regression (PLS) werden – wie auch bei der Hauptkomponentenregression – die Ausgangsdaten X in einem ersten Schritt in die Faktoren T transformiert. Im Gegensatz zur Hauptkomponentenregression wird allerdings für die Berechnung der Transformationsmatrix zusätzlich die Zielgröße Y verwendet (BÜNTING 1999). Bei diesem Verfahren wird die Richtung jeder PLS latenten Variable der X-Matrix derart verändert, daß zwischen dieser und den Vektoren der Y-Matrix die Kovarianzen maximiert werden (OTTO 1997). Das PLS-Verfahren berücksichtigt bei der Bestimmung der latenten Variablen somit neben einer möglichst großen Varianz in den Ausgangsdaten auch eine möglichst große Kovarianz zwischen Ausgangsdaten und Zielgrößen. Die Bestimmung der latenten Variablen ist dabei ein iterativer Prozess. Die Auswahl der Anzahl der latenten Variablen erfolgt anschließend anhand statistischer Kriterien. Die selektierten latenten Variablen fließen dann in eine multivariate lineare Regression ein.

Univariate lineare Regression

Die univariaten linearen Regressionskoeffizienten zwischen den Spektraldaten und den drei Vegetationsparametern wurden in 1 nm Schritten für alle Wellenlängen im Spektralbereich zwischen 420 und 2400 nm berechnet. Anschließend wurden die Beziehungen selektiert, die den engsten statistischen Zusammenhang zu den abhängigen Zielvariablen aufwiesen.

Normalisierte Differenzen

Die Berechnung aller theoretisch möglichen normalisierten Differenzen wäre bei einer Spektralaufösung von 1 nm zu rechenzeitintensiv. Daher wurden die Originalspektren zunächst auf eine Bandbreite von 10 nm resampled. Anschließend erfolgte die Berechnung der normalisierten Differenzen entsprechend:

$$nd = ((\lambda_1 - \lambda_2)/(\lambda_1 + \lambda_2)) \quad (1)$$

Die so berechneten normalisierten Differenzen wurden anschließend einzeln mit den drei Vegetationsparametern in eine lineare Beziehung gesetzt. Es wurden wiederum die statistisch am signifikantesten Regressionen selektiert.

Inflexionspunktverschiebungen

Der Inflexionspunkt in der so genannten „red-edge“ (zwischen 700 und 750 nm) entspricht der Wellenlänge, bei der die erste Ableitung der Reflexionsspektren maximal ist:

$$\Delta\rho = ((\rho_1 - \rho_2)/(\lambda_1 - \lambda_2)) \quad (2)$$

Die so berechneten Inflexionspunkte wurden anschließend mit den abhängigen Zielvariablen in eine lineare Beziehung gesetzt.

4 Ergebnisse

Blattflächenindex (LAI)

Der Blattflächenindex (LAI) ist eine wichtige Größe zur Charakterisierung der strukturellen Eigenschaften eines Bestandes und

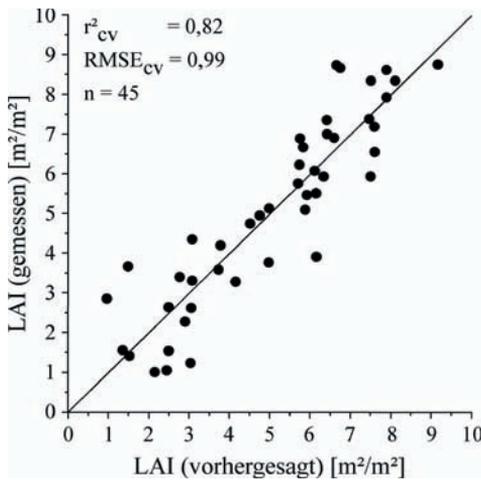


Abb. 2: Scatterplot der Kreuzvalidierung des PLS-Modells zur Vorhersage der LAI-Werte von Weizenproben (Ableitungsspektren 1. Ordnung).

variiert erheblich in Abhängigkeit von den Standortbedingungen und dem Phänologie-stadium des Bestandes (vgl. Tab.1). Die Schätzung der LAI-Werte aus den Reflexionsmessungen erfolgte auf der Basis der plotbezogenen Daten ($n_{obs} = 45$). Die Ergebnisse der Kreuzvalidierungen der LAI-Schätzungen mit PLS, normalisierter Diffe-

renz und Inflexionspunkt unterscheiden sich nur geringfügig ($r^2_{cv} = 0,81-0,83$; $RMSE_{cv} = 0,97-1,01$ (Abb. 2 u. Tab. 2). Während die Schätzung des LAI durch eine univariate Regression auf Basis der Ableitungsspektren noch ein gutes Resultat zulässt ($r_{cv} = 0,75$; $RMSE_{cv} = 1,16$), erlaubt das gleiche Verfahren bei den Reflexionsspektren keine ausreichend genaue Prognose des LAI ($r_{cv} = 0,48$; $RMSE_{cv} = 1,69$).

Auffällig sind die vergleichsweise großen Abweichungen einzelner Proben im Wertebereich von LAI 2,5 bis 4,0. Diese Proben stammen alle von einem Standort am Oberhang des untersuchten Weizenschlages B2a. Möglicherweise weist dieser Standort eine abweichende Bodensignatur auf, die diese Unterschiede erklärt.

Blattchlorophyllgehalt (Cab)

Der Blattchlorophyllgehalt steht in einer engen Beziehung zum Stickstoffgehalt der Pflanze und kann daher als Vitalitäts-indikator fungieren (CURRAN 1989). Wie bereits erläutert, wurden die Chlorophyllgehalte lediglich bestandsbezogen ermittelt ($n_{obs} = 15$).

Die Vorhersage der Blattchlorophyllgehalte über die PLS liefert mit einem r^2_{cv} von

Tab. 2: Bestimmtheitsmaß r^2 , Standardfehler RMSE und prozentualer RMSE der Kreuzvalidierung für die verwendeten Verfahren zur Schätzung von Vegetationsparametern der untersuchten Weizenbestände aus Reflexionsmessungen.

Verfahren	LAI			Cab			Cab x LAI		
	r^2	RMSE (PRMSE)	sel. λ^*	r^2	RMSE (PRMSE)	sel. λ^*	r^2	RMSE (PRMSE)	sel. λ^*
PLS	ρ	0,81 1,01 (13,0)	4	0,74 2,31 (22,7)	5	0,79 59,2 (13,6)	4		
	ρ'	0,82 0,99 (12,8)	2	0,90 1,44 (14,1)	5	0,81 56,6 (13,0)	2		
Uni- vari- at	ρ	0,48 1,69 (21,8)	707	0,55 3,08 (30,3)	721	0,50 93,5 (21,4)	709		
	ρ'	0,75 1,16 (15,0)	758,5	0,75 2,26 (22,2)	688,5	0,72 69,4 (15,9)	757,5		
nd	0,83	0,97 (12,5)	865;765	0,71	2,46 (24,2)	565;504	0,82	55,7 (12,8)	834;765
Inflexions- punkt	0,83	0,98 (12,6)	–	0,54	3,12 (30,6)	–	0,83	53,7 (12,3)	–

* bei der PLS ist an dieser Stelle die Anzahl der latenten Variablen angegeben

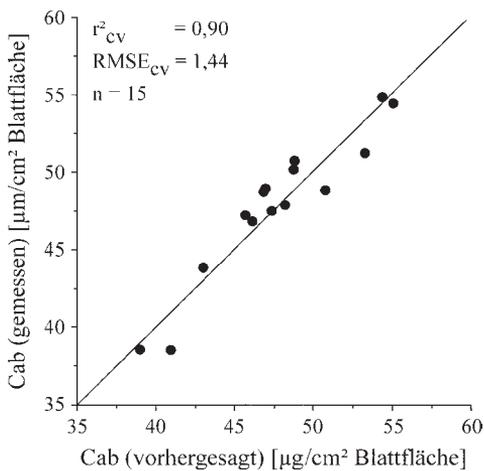


Abb. 3: Scatterplot der Kreuzvalidierung des PLS-Modells zur Vorhersage der Blattchlorophyllgehalte von Weizenproben aus integrierten Reflexionsmessungen (Ableitungsspektren 1. Ordnung).

0,90 ($RMSE_{cv} = 1,44$) für die Ableitungsspektren das mit Abstand beste Resultat (Abb. 3 u. Tab. 2). Dieses gute Ergebnis ist auf die Vorverarbeitung der Spektren zurückzuführen, denn ein PLS-Modell basierend auf Reflexionsspektren erlaubt nur noch eine Schätzung mit einer Modellgüte von 0,74. Der gleiche Effekt der Vorverarbeitung ist auch für die univariate Regression feststellbar. Bei diesem Verfahren steigt die Güte der Schätzung durch die Vorverarbeitung auf ein r_{cv}^2 von 0,75 ($RMSE_{cv} = 2,26$) gegenüber einem r_{cv}^2 von 0,55 für die Reflexionsspektren ($RMSE_{cv} = 3,08$). Eine Vorhersage des Blattchlorophyllgehaltes über die normalisierte Differenz ergibt ein r_{cv}^2 von 0,71 ($RMSE_{cv} = 2,46$), wohingegen sich eine Schätzung über den Inflexionspunkt als nicht möglich erwies (vgl. Tab. 2).

Bestandschlorophyllgehalt (Cab x LAI)

Da die fernerkundlichen Sensoren die integrierte Reflexion des Gesamtbestandes erfassen und nicht das Reflexionsspektrum eines Einzelblattes, wurde auch untersucht, ob sich sinnvolle empirisch-statistische Modelle zwischen Bestandschlorophyllge-

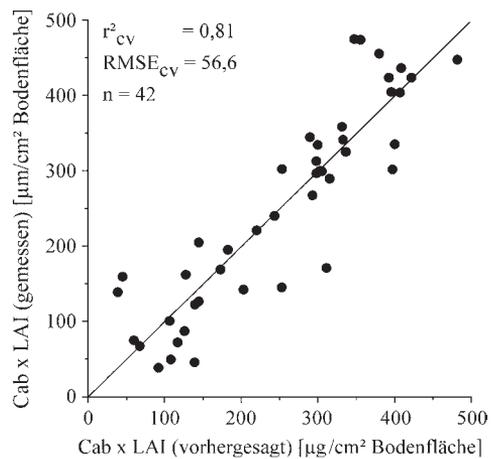


Abb. 4: Scatterplot der Kreuzvalidierung des PLS-Modells zur Vorhersage der Bestandschlorophyllgehalte von Weizenproben (Ableitungsspektren 1. Ordnung).

halten und Reflexionsmessungen etablieren lassen. Daher wurden aus den plotbezogenen LAI-Werten und den bestandsweise gemittelten Blattchlorophyllgehalten Bestandschlorophyllgehalte ($Cab \times LAI$) berechnet ($n_{obs} = 42$). Die erreichten Modellgüten sind denen für die Schätzung des LAI sehr ähnlich. Die Ergebnisse von PLS, normalisierter Differenz und Inflexionspunkt sind vergleichbar und liefern ein r_{cv}^2 zwischen 0,79 und 0,83 ($RMSE_{cv}$: 53,7–59,2). Wiederrum fallen die Proben des Weizenschlages B2a wegen überdurchschnittlicher Abweichungen auf (Abb. 4). Eine Prognose der Bestandschlorophyllgehalte über eine univariate Regression ergibt für die abgeleiteten Spektren ein r_{cv}^2 von 0,72 ($RMSE_{cv} = 69,4$). Eine univariate Regression unter Verwendung der Reflexionsspektren erwies sich auch zur Schätzung der Bestandschlorophyllgehalte als ungeeignet ($r_{cv}^2 = 0,50$; $RMSE_{cv} = 93,5$).

5 Diskussion und Ausblick

Für die untersuchten Weizenbestände war eine spektrometrische Ableitung biophysikalischer Größen mit empirisch-statistischen Verfahren grundsätzlich möglich. In

Abhängigkeit von der Zielgröße zeigten sich für die verschiedenen Verfahren jedoch erhebliche Unterschiede in den Schätzergebnissen. Die auf normalisierten Differenzen bzw. Inflexionspunkten beruhenden Verfahren ermöglichten eine fast identische Qualität der Vorhersage des LAI und der Bestandschlorophyllgehalte. Die Ergebnisse der univariaten Regressionen fielen im Vergleich dazu deutlich schlechter aus. Für die Schätzung der Blattchlorophyllgehalte erlaubten die univariaten Regressionen hingegen ähnliche Schätzgenauigkeiten wie die beiden anderen Verfahren.

Das einzige Verfahren, das für alle untersuchten Zielgrößen konstant gute Resultate lieferte, ist die Partial Least Square Regression, während sich mit den übrigen Methoden maximal zwei der untersuchten Größen mit einer vergleichbaren Genauigkeit vorhersagen ließen. Damit scheint die durch die PLS vorgenommene Datentransformation der Reflexionsspektren eine optimale Extraktion der vorhandenen Informationen und somit eine gute Schätzung aller Zielgrößen zu ermöglichen. Die Reflexionsmessungen von Vegetationsbeständen enthalten allerdings einen sehr hohen Anteil redundanter Information, so dass die benötigte Information teilweise bereits in ein oder zwei Wellenlängen enthalten ist (vgl. Tab. 2).

Die Ergebnisse der PLS und der univariaten Regressionen verdeutlichen außerdem den Vorteil einer Datenvorverarbeitung durch die Bildung von Ableitungsspektren 1. Ordnung. Für alle untersuchten Zielgrößen waren die Schätzergebnisse unter Verwendung von abgeleiteten Spektren besser als für die Originalspektren.

Die vorliegende Untersuchung hat auch gezeigt, dass der sichtbare Wellenlängenbereich (ab ca. 500 nm) und das nIR die wesentlichen Spektralinformationen für die Erfassung biophysikalischer Größen von Weizenbeständen beinhalten (vgl. Tab. 2; selektierte Wellenlängen). In diesen Spektralbereichen ist daher eine sehr hohe spektrale Auflösung existenziell, die eine Berechnung geeigneter spektraler Parameter wie Inflexionspunkt oder normalisierter Differenz in hoher spektraler Auflösung erlaubt. Die

außerhalb dieses Wellenlängenbereiches erfassten Spektralinformationen scheinen dagegen für die Erfassung der untersuchten Vegetationsgrößen nur von untergeordneter Bedeutung zu sein.

In einem nächsten Schritt soll untersucht werden, ob sich durch die schrittweise Multiple Regression bzw. den Einsatz künstlicher neuronaler Netze verbesserte Schätzgenauigkeiten erreichen lassen. In diesem Zusammenhang ist dann auch zu untersuchen, welche Ergebnisse sich mit Hilfe physikalisch basierter Reflexionsmodelle ergeben.

Danksagung

Diese Arbeiten wurden vom Forschungsfonds der Universität Trier sowie aus Mitteln des Kapitels 1512 finanziell gefördert. Für die gewährte Unterstützung bedanken sich die Autoren nachdrücklich. Die Autoren danken ebenfalls dem Maschinenring der Region Trier für die Hilfe bei der Auswahl geeigneter Flächen. Den an der Studie beteiligten Landwirten wird für ihre Bereitschaft gedankt, uns Zutritt zu ihren Schlägen zu gewähren. Darüber hinaus gilt unser besonderer Dank den Herren JAN KRAUSE, ANDREAS MARX und SEBASTIAN MADER für die geleisteten Gelände- und Laborarbeiten.

Literatur

- ATZBERGER, C., 2003: Möglichkeiten und Grenzen der fernerkundlichen Bestimmung biophysikalischer Vegetationsparameter mittels physikalisch basierter Reflexionsmodelle. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation, 2003 (1): 51–61 (dieses Heft).
- BARET, F., WEISS, M., TROUFLEAU, D., PREVOT, L. & COMBAL, B., 2000: Maximum information exploitation for canopy characterisation by remote sensing. – Aspects of Applied Biology, 60 – Remote sensing in agriculture: 71–82.
- BRYSON, R. J., CLARKE J. H. & CLARK, W. S., 2000: The role of remote sensing technologies in UK arable production. – Aspects of Applied Biology, 60 – Remote sensing in agriculture: 61–70.
- BÜNTING, U. H., 1999: Auswertemethoden für die zeitaufgelöste Fluoreszenzspektroskopie. –

- Göttingen (<http://webdoc.gwdg.de/diss/1999/buenting>).
- CURRAN, P.J., 1989: Remote Sensing of Foliar Chemistry. – *Remote Sensing of Environment*, **30**: 271–278.
- DAUGHTRY, C.S.T., WALTHALL, C.L., KIM, M.S., BROWN DE COLSTOUN, E. & MCMURTEY, J.E., 2000: Estimating Corn Leaf Chlorophyll Concentration from Leaf and Canopy Reflectance. – *Remote Sensing of Environment*, **74**: 229–239.
- DUTHIL, P., STRANG, M., NORMAN, K., BLONDLOT, A., GATE, P., BARET, F., FOURTY, T., BAGHDADI, N., GARCIA SANCHEZ, P., ALARCON, S., KERDILES, H., GILL, G., LEMOINE, G., DESCHAUX, V., PINET, P., POILVE, H., FOURTY, T. & POLVERINI, U., 1999: PAAGE: Pilot Project for Agriculture and Agri-Environment, Final report.
- FAHRMEIR, L. (Hrsg.), 1996: Multivariate statistische Verfahren. – 902 S., Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- MARKWELL, J., OSTERMAN, J.C. & MITCHELL, J.L., 1995: Calibration of Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. – *Photosynthetic Research*, **46**: 467–472.
- MORAN, S., VIDAL, A., TROUFLEAU, D., QI, J., CLARKE, T.R., PINTER, P.J., MITCHELL, T.A., INOUE, Y. & NEALE, C.M.U., 1997: Combining multifrequency microwave and optical data for crop management. – *Remote Sensing of Environment*, **61**: 96–109.
- MORAN, S., 2000: New imaging sensor technologies suitable for agricultural management. – *Aspects of Applied Biology*, **60** – Remote sensing in agriculture: 1–10.
- OTTO, M., 1997: Chemometrie. Statistik und Computereinsatz in der Analytik. – 355 S., Weinheim.
- POILVÉ, H., 2002: CROMA: Crop Reflectance Operational Models for Agriculture, Final report, EC research project EVG1-CT-2000-00027.
- SAVITZKY, A. & GOLAY, M.J.E., 1964: Smoothing and differentiation of data by simplified least square procedure. – *Analytical chemistry*, **36**: 1627–1638.
- TUCKER, C.J., HOLBEN, B.N., ELGIN, J.E. & MCMURTEY, J.E., 1980: The relationship of spectral data to grain yield variation. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **46**: 657–666.

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Geogr. THOMAS JARMER, Universität Trier, Abt. Fernerkundung, Behringstrasse, D-54286 Trier, Tel.: +49-651-201-4605, Fax: +49-651-201-3815, e-mail: jarmer@uni-trier.de

Dipl.-Umw. BENJAMIN KÖTZ, Universität Zürich, Remote Sensing Laboratories, CH-8057 Zürich, Tel.: +41-1-635-5251, Fax: +41 1 635 68 46, e-mail: bkoetz@geo.unizh.ch

Dr. rer. nat. CLEMENT ATZBERGER, Universität Trier, Abt. Fernerkundung, Behringstrasse, D-54286 Trier, Tel.: +49-651-201-4605, Fax: +49-651-201-3815, e-mail: atzberger@feut.de

Manuskript eingereicht: November 2002

Angenommen: November 2002

Möglichkeiten und Grenzen der fernerkundlichen Bestimmung biophysikalischer Vegetationsparameter mittels physikalisch basierter Reflexionsmodelle

CLEMENT ATZBERGER, Trier

Keywords: remote sensing, vegetation characteristics, reflectance model, model inversion, ill-posed problem, object-based modeling, artificial neural nets

Zusammenfassung: Mit dem vorliegenden Artikel soll ein systematischer Überblick über die Möglichkeiten und Grenzen physikalisch basierter Reflexionsmodelle bei der fernerkundlichen Abschätzung biophysikalischer Vegetationsparameter gegeben werden. Dabei wird ein besonderes Augenmerk auf das so genannte „ill-posed“ Problem gelegt. Dieser Begriff beschreibt die Tatsache, dass sehr unterschiedliche Modellparametrisierungen zu mehr oder weniger identischen Reflexionssignaturen führen können. Somit sind solche Reflexionssignaturen auch nicht mehr eindeutig einer einzigen Parameterkombination zuzuweisen. Entsprechende Fehlschätzungen in den biophysikalischen Vegetationsparametern sind die Folge. Nach einer allgemeinen Einführung zur fernerkundlichen Quantifizierung biophysikalischer Vegetationsparameter wird zunächst die Notwendigkeit einer physikalisch basierten Reflexionsmodellierung dargelegt. Es folgt eine eingehende Illustration des „ill-posed“ Problems. Nach einer kurzen Diskussion der bisherigen Lösungsstrategien wird dann eine vom Autor selbst entwickelte Inversionsmethode zur Schätzung der biophysikalischen Vegetationsparameter vorgestellt. Sie berücksichtigt simultan zur eigentlichen Pixelsignatur auch die so genannte Objektsignatur. Der dadurch mögliche Genauigkeitsgewinn wird mit Hilfe synthetischer Datensätze belegt.

Summary: *Potentials and limitations of physically based reflectance models in the retrieval of biophysical vegetation characteristics.* This article presents a systematic overview of physically based reflectance models for the retrieval of biophysical canopy variables. A special attention is given to the so-called “ill-posed” problem, describing the fact that quite different model parameterisations can yield almost identical reflectance spectra. Therefore, estimation of canopy variables can be highly erroneous. After the presentation of traditional strategies, this article focuses on the description of a new inversion methodology. The so-called object based model inversion simultaneously considers the pixel signature and the spectral signature of adjoining pixels belonging to the same image object. The approach is validated on synthetic data and results are presented.

1 Fernerkundliche Quantifizierung biophysikalischer Vegetationsparameter

Flächendeckende und räumlich detaillierte Informationen über die raumzeitliche Ausprägung biophysikalischer Vegetationsparameter wie Blattflächenindex (LAI; m^2

m^{-2}), Blattchlorophyll- (Cab; $\mu g\ cm^{-2}$) und Blattwassergehalt (Cw; cm) werden in den verschiedensten Anwendungsbereichen benötigt. So werden beispielsweise im so genannten „precision farming“, Dünge- und Pflanzenschutzmittel räumlich differenziert aufgebracht, wobei sowohl der aktuelle Wachstumszustand der Kulturpflanze, als

auch die jeweiligen Standortsbedingungen, berücksichtigt werden (SCHUELLER 1992). In der Forstwirtschaft ermöglichen Informationen über Struktur, Zusammensetzung und Vitalität der Bestände eine nachhaltigere Bewirtschaftung (FRANKLIN 2001). Eine räumliche differenzierte Parametrisierung prozessorientierter Modelle ist zur Abschätzung regionaler Stoff- und Energieflüsse notwendig (KIMBALL et al. 2000).

Fernerkundung kann zu den genannten Themenfeldern einen Beitrag leisten, da die gesuchten biophysikalischen Parameter die Spektralsignatur der Vegetationsbestände steuern und damit prinzipiell einer fernerkundlichen Kartierung zugänglich sind (GUYOT et al. 1989, BARET 1991, CURRAN 1994, DANSON & MORAN et al. 1997, BARET et al. 2000). Wie zu zeigen sein wird, ist dies jedoch kein triviales Unterfangen. Dies hängt vor allem damit zusammen, dass eine Vielzahl von (biophysikalischen) Parametern (V), sowie mehr oder weniger variablen Randbedingungen (θ), das Reflexionsspektrum (ρ_λ) beeinflussen:

$$\rho_\lambda = f(V_1, \dots, V_n, \theta) \quad (1)$$

Um aus den gemessenen Reflexionsspektren (ρ_λ), die gesuchten (biophysikalischen) Parameter (V) abzuleiten, können zwei Vorgehensweisen gewählt werden: (i) empirisch-statistische Verfahren, und (ii) Inversion physikalisch basierter Modelle.

1.1 Empirisch-statistische Verfahren

Zur fernerkundlichen Kartierung der gesuchten biophysikalischen Vegetationsparameter wurden zunächst empirisch-statistische Verfahren entwickelt (s.a. JARMER et al., 2003; dieses Heft). Bei diesen Verfahren werden zuerst mit Hilfe geeigneter Geländekampagnen Transferfunktionen zwischen den zu kartierenden biophysikalischen Parametern (V) und den Spektraldaten (ρ_λ) erstellt. Nach deren Kalibration können diese dann auf die Fernerkundungsszenen angewandt werden.

Diese Vorgehensweise ist relativ einfach, stößt aber immer dann an ihre Grenzen,

wenn die kalibrierten Transferfunktionen auf Daten mit abweichenden (Rand)Bedingungen angewandt werden. Daher lassen sich solche empirisch-statistischen Methoden generell nur schwer auf andere Regionen und Zeitpunkte übertragen (CURRAN 1994, TREITZ & HOWARTH 1999).

1.2 Physikalisch basierte Reflexionsmodellierung

Wegen der genannten Unzulänglichkeiten empirisch-statistischer Verfahren wurden seit den 80er Jahren erhebliche Anstrengungen unternommen, physikalisch basierte Transferfunktionen zu entwickeln – so genannte Strahlungstransfermodelle bzw. Reflexionsmodelle. Umfangreiche Darstellungen solcher Modelle, wie auch verschiedener Modellierungsstrategien, finden sich u. a. in GOEL (1987) und MYNENI & ROSS (1991). Im weiteren Verlauf des Textes wird sich ausschließlich auf solche Reflexionsmodelle bezogen.

Physikalisch basierte Reflexionsmodelle berechnen, auf der Grundlage physikalischer Prinzipien, die spektrale bi-direktionelle Reflexion von Vegetationsbeständen (Eq. 1), wobei vier Modellierungsstrategien unterschieden werden (GOEL 1987):

- geometrisch-optische Reflexionsmodelle (z. B. LI & STRAHLER 1986, CHEN & LEBLANC 1997)
- analytische Reflexionsmodelle (z. B. VERHOEF 1984, JACQUEMOUD et al. 1995)
- Kopplungen aus geometrisch-optischen und analytischen Reflexionsmodellen (z. B. ATZBERGER 2000, GARCIA-HARO & SOMMER 2002)
- Ray-Tracing Modelle (z. B. GASTELLU-ETCHEGORRY et al. 1996, NORTH 1996)

Geometrisch-optische Reflexionsmodelle werden hauptsächlich für forstliche Anwendungen eingesetzt, weil dort die Ausbildung von Baumkronen die Berechnung von Schattenwurf sinnvoll erscheinen lässt. Analytische Reflexionsmodelle approximieren den Bestand dagegen als ein „turbid medium“. Solche Bedingungen können typischerweise in landwirtschaftlichen Kultur-

pflanzenbeständen erwartet werden. Kombinationen aus den beiden vorstehend genannten Modelltypen berücksichtigen, dass auch Baumkronen nicht völlig opak sind und stellen somit eine Weiterentwicklung der geometrisch-optischen Modelle dar. Ray-Tracing Modelle sind im Prinzip am exaktesten, da sie den kompletten Gang der Photonen im Bestandsraum nachvollziehen. Die Berücksichtigung orts- und richtungsabhängiger Streu- und Absorptionsprozesse setzt allerdings eine komplette Beschreibung der 3-dimensionalen Bestandsstruktur voraus. Anwendungen dieses Modelltyps sind entsprechend schwierig zu parametrisieren und zudem sehr rechenzeitaufwendig

Auf weitere charakteristische Merkmale der verschiedenen Modelltypen kann hier aus Platzgründen nicht eingegangen werden. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass alle Reflexionsmodelle lediglich die spektrale Reflexion eines Vegetationsbestandes (ρ_i) für einen spezifizierten Parametersatz (V, θ) berechnen. Um mit Hilfe von physikalisch basierten Reflexionsmodellen die gewünschten biophysikalischen Parameter abzuleiten, sind solche Modelle zu invertieren. Dies ist allerdings wegen der Vielzahl der Parameter auf analytischem Wege nicht möglich. Zur Invertierung von Reflexionsmodellen wurden daher verschiedene Verfahren entwickelt (KIMES et al. 2000):

- „look-up-table“ Verfahren (z. B. COMBAL & BARET 2001, COMBAL et al. 2002)
- iterative numerische Minimierungen (z. B. ATZBERGER 1995, JACQUEMOUD et al. 1995)
- künstliche Neuronale Netze (z. B. GONG et al. 1999, UDELHOVEN et al. 2000)
- Bildung so genannter „predictive equations“ (z. B. BROGE & LEBLANC 2000, SCHLERF & ATZBERGER 2002)

Bei der numerisch-iterativen Inversion handelt es sich um ein klassisches Optimierungsproblem. Bei diesem wird ein Minimierungskriterium (meistens die aufsummierten quadrierten Residuen zwischen gemessener und simulierter Spektralsignatur) durch die iterative Anpassung der Modellparameter (i. e. V_1, \dots, V_n) minimiert, wobei die

Randbedingungen (θ) zuvor zu spezifizieren sind. Der zum Minimum führende Parametersatz wird dann als Ergebnis ausgegeben.

Diese rechenzeitaufwendige Optimierung kann durch die Verwendung so genannter Look-up-tables (LUT) vermieden werden. Hier wird das Reflexionsmodell lediglich dazu verwendet, eine große Anzahl von Spektren mit unterschiedlicher Parameterkombination zu simulieren. Diese werden dann gemeinsam in einer Tabelle abgelegt. Ein zu invertierendes Reflexionsspektrum muss dann nur noch mit den im LUT abgelegten Spektren abgeglichen werden. Der zum LUT-Spektrum mit den geringsten Abweichungen gehörige Parametersatz stellt dann das Ergebnis dar. Dieses prinzipiell einfache und elegante Verfahren stößt allerdings dann an seine Grenzen, wenn Reflexionsmodelle verwendet werden, die eine Vielzahl von Parametern aufweisen, deren spezifische Einflüsse in kleinen Schrittweiten Berücksichtigung finden sollen.

Eine dritte Herangehensweise besteht in der Nutzung so genannter künstlicher neuronaler Netze. Ähnlich wie bei den LUT Verfahren wird zunächst mit Hilfe des Reflexionsmodells eine große Anzahl von Spektren simuliert. Spektren und dazugehörige Parametersätze werden dann in einem Trainingsschritt dazu verwendet, die Koeffizienten des künstlichen neuronalen Netzes so anzupassen, dass aus einem gegebenen Reflexionsspektrum die biophysikalischen Parameter errechnet werden können. Künstliche neuronale Netze bieten gegenüber den iterativen Optimierungsverfahren den Vorteil, dass sie nach erfolgtem Training sehr schnell sind. Sie eignen sich daher auch hervorragend für die Prozessierung ganzer Fernerkundungsszenen. Im Vergleich zum empirisch-statistischen Vorgehen ist weiterhin positiv hervorzuheben, dass neuronale Netze auch nicht-lineare Beziehungen zwischen den Reflexionsswerten und den biophysikalischen Parametern berücksichtigen, ohne dass diese explizit formuliert werden müssten (KIMES et al. 1998). Nachteilig ist allerdings die relativ zeitaufwendige Trainingsphase.

Die Methodik so genannter „predictive equations“ ähnelt sehr stark den empirisch-statistischen Verfahren. Der entscheidende Unterschied besteht darin, dass abhängige und unabhängige Variablen nicht mehr experimentell gewonnen werden, sondern mit Hilfe der physikalisch basierten Reflexionsmodelle synthetisiert werden. Im Gegensatz zu den künstlichen neuronalen Netzen ist vom Auswerter allerdings explizit festzulegen, welche Art der Beziehung unterstellt werden soll.

2 Das „ill-posed“ Problem

Das grundlegende Problem bei der Arbeit mit Reflexionsmodellen besteht darin, dass sehr unterschiedliche Parameterkombinationen zu mehr oder weniger identischen Reflexionsspektren führen können (VERSTRAETE et al. 1996, BARET & FOURTY 1997). Diese Problematik gilt unabhängig von der gewählten Modellierungs- und Invertierungsstrategie. Damit können die gesuchten biophysikalischen Parameter auch nicht mehr zweifelsfrei aus den aufgezeichneten Spektraldaten abgeleitet werden. Man spricht hier im Sinne von COMBAL et al. (2002) vom so genannten „ill-posed“ Problem.

Zur Illustration dieses Sachverhaltes sind in Abb. 1a sechzehn mehr oder weniger identische Reflexionsspektren in den reflektiven TM-Kanälen dargestellt. Die aus sehr unterschiedlichen Parameterkombinationen resultierenden Spektren sind visuell

kaum noch zu unterscheiden. Die Mehrdeutigkeit der Reflexionssignatur ist augenscheinlich darauf zurückzuführen, dass sich die verschiedenen Parameter gegenseitig kompensieren (Abb. 1bc). So kann eine Zunahme des Blatthaltungswinkels (ALA) dadurch ausgeglichen werden, dass der LAI zunimmt und der Blattchlorophyllgehalt (Cab) abnimmt.

In Abb. 2 ist die simulierte Bestandsreflexion (Rot und nIR) zweier Bestände als Funktion des LAIs dargestellt. Der im linken Teil der Abbildung dargestellte Bestand weist eine planophile Blatthaltung auf, der andere dagegen eine erektophile Blatthaltung. Eine (exemplarische) Reflexion von 0.031 (Rot) bzw. 0.308 (nIR) entspricht danach beim planophilen Bestand einem LAI von nur 0.8, hingegen beim erektophilen Bestand einem LAI von 3.0. Dies hat gravierende Fehlschätzungen des LAIs zur Folge, wenn der Blatthaltungswinkel eines gegebenen Pixels falsch eingeschätzt wird.

Bislang wurden zur Lösung des „ill-posed“ Problems drei Strategien vorgeschlagen:

- Berücksichtigung externer *a priori*-Informationen (JACQUEMOUD 1993, COMBAL et al. 2002, COMBAL & BARET 2001)
- Nutzung multi-temporalen Aufnahmen zur Generierung und Berücksichtigung von *a priori* Information (KOETZ 2001, POILVÉ 2002)
- Assimilation der (multi-temporalen) Bestandsreflexion in prozessorientierten Modellen (DELÉCOLLE et al. 1992, MOULIN et al. 1998, ATZBERGER et al. 2001)

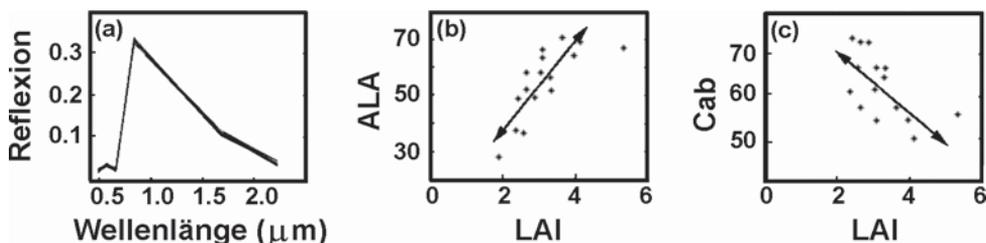


Abb. 1: (a) Zur Illustration des „ill-posed“ Problems sind 16 simulierte Reflexionsspektren in der spektralen Auflösung des Landsat TM Sensors dargestellt. Obwohl die den Spektren zugrunde liegenden Parameter weite Wertebereiche umfassen, sind die Spektren visuell kaum noch zu unterscheiden. (b) und (c): Die „ill-posed“ Problematik resultiert aus der Tatsache, dass sich einige Parameter in ihren Effekten gegenseitig kompensieren. Alle Simulationen wurden mit Hilfe des SPECAN Modells (JACQUEMOUD et al. 1995) durchgeführt.

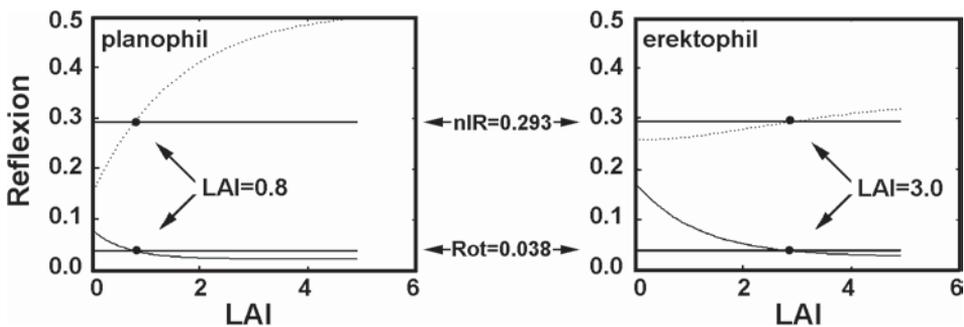


Abb. 2: Simulierte Abhängigkeit der Rot- (durchgezogene Linie) und nIR-Reflexion (gepunktete Linie) als Funktion des LAIs für einen planophilen Bestand (links), sowie einen erektophilen Bestand (rechts). Ebenfalls dargestellt ist die Kombination aus Rot und nIR-Reflexion, die in diesem speziellen Fall zu Fehlschätzungen des LAIs führen würde. Den Simulationen liegt das SPECAN Modell (JACQUEMOUD et al., 1995) zugrunde ($\theta_v = 0^\circ$, $\theta_z = 40^\circ$, $hot = 0.001$, $N = 2$, $C_m = 0.01$, $skyl = 0.1$, $psoil(nIR) = 0.051 + 1.2 \cdot \rho_{soil}(Rot)$). Planophiler Bestand: $ALA = 30^\circ$, $Cab = 75 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, $psoil(Rot) = 0.081$. Erektophiler Bestand: $ALA = 70^\circ$, $Cab = 25 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, $psoil(Rot) = 0.172$.

Die Berücksichtigung von externer *a priori* Information bringt spürbare Verbesserungen in der Schätzgenauigkeit, setzt allerdings voraus, dass die benötigten Informationen (z. B. Blatthaltungswinkel im jeweiligen Pixel) tatsächlich für jedes Pixel zur Verfügung stehen.

Die Stetigkeit der LAI-Entwicklung im Entwicklungszyklus der Pflanze wird bei der bildgestützten Generierung von *a priori* Information in Wert gesetzt. Dabei wird der LAI zunächst mit klassischen Verfahren für jeden einzelnen Aufnahmezeitpunkt geschätzt. Die geschätzten LAIs werden dann als Funktion der Zeit durch eine semi-empirische Funktion gefittet. Die so gefitteten LAIs zu den einzelnen Aufnahmezeitpunkten stellen dann in einem zweiten Schritt *a priori* Werte dar, mit denen die Modellinversion wiederholt wird. Der iterative Prozess wird so lange fortgesetzt, bis eine Stabilisierung der Ergebnisse erreicht ist.

Die Assimilation von Fernerkundungsdaten in prozessorientierte Modelle verzichtet gänzlich auf die Inversion des Reflexionsmodells. Vielmehr werden Prozess- und Reflexionsmodelle so miteinander gekoppelt, dass mit Hilfe der (klimatischen) Antriebsvariablen LAI-Entwicklungen simuliert werden, die wiederum die Berechnung temporaler Reflexionsprofile ermöglichen. Aufgezeichnete Reflexionsspektren zu einem

oder mehreren Zeitpunkten werden dann in einem iterativen Verfahren dazu verwendet, Parameter des gekoppelten Prozess-/Reflexionsmodells anzupassen, um so zu einer verbesserten Beschreibung der Energie- und Stoffflüsse zu gelangen.

Mit der vorliegenden Publikation soll ein weiterer, vom Autor selbst entwickelter Lösungsansatz, für die „ill-posed“ Problematik präsentiert werden (ATZBERGER 2002). Die Methodik berücksichtigt dabei neben der eigentlichen Pixelsignatur auch die Spektralinformation räumlich angrenzender Pixel, um die gesuchten biophysikalischen Parameter zu bestimmen.

3 Objektbasierte Reflexionsmodellierung und Modellinversion

Der objektbasierte Inversionsansatz berücksichtigt simultan zur eigentlichen Pixelsignatur die Spektralinformation der angrenzenden Pixel (d. h. die sogenannte „Objektsignatur“) (ATZBERGER 2002). Zur Berechnung der Objektsignatur müssen die Fernerkundungsdaten daher zunächst segmentiert werden. Dabei werden Bildobjekte ausgegrenzt, die in sich gesehen relativ homogen sind. Eine solche Homogenität ist dann gegeben, wenn die Objekte mit der gleichen Kultur bestockt sind und sich in

einer ähnlichen Entwicklungsphase befinden. Die Segmentierung kann entweder durch spezielle Segmentierungssoftware erfolgen oder auf der Basis eines GIS-Layers, der z. B. die einzelnen landwirtschaftlichen Schläge umfasst.

Nach der Segmentierung werden aus den Spektralwerten der einzelnen Pixel des jeweiligen Objektes die spektralen Objektsignaturen berechnet. Dabei werden neben den spektralen Mittelwerten und Standardabweichungen auch die spektralen Interdependenzen berücksichtigt (u. a. Steigung, y-Achsenabschnitt und R^2 zwischen den einzelnen Spektralkanälen) (Absatz 3.1).

3.1 Objektsignaturen im Merkmalsraum Rot-nIR

Um zu verdeutlichen, warum die Objektsignatur eine über die eigentliche Pixelsignatur hinausgehende Information enthält, sind in Abb. 3 simulierte LAI-Isolinien im 2-dimensionalen Merkmalsraum (Rot und nIR) dargestellt. Der linke Teil der Abbildung enthält LAI-Isolinien für planophile Bestände ($ALA = 30 \pm 3^\circ$), der rechte Teil für erektophile Bestände ($ALA = 70 \pm 3^\circ$). Im mittleren Teil sind LAI-Isolinien für planophile und erektophile Bestände gemeinsam dargestellt.

Es ist gut zu erkennen, dass im Überschneidungsbereich zwischen planophilen

und erektophilen LAI-Isolinien Probleme bei der klassischen Invertierung zu erwarten sind, da eine gegebene Kombination aus Rot und nIR-Reflexion je nach Blatthaltungswinkel mit unterschiedlichen LAIs und Bodenheiligkeiten erreicht wird.

Geht man dagegen davon aus, dass zwei ansonsten (spektral) nicht unterscheidbare Pixel zu zwei Grundgesamtheiten plano- bzw. erektophiler Pixel gehören, wird deutlich, warum die Objektsignatur einen Informationsgewinn beinhaltet. Variationen der biophysikalischen Bestandsparameter innerhalb eines landwirtschaftlichen Schlages werden sich nämlich in charakteristischen Verschiebungsvektoren widerspiegeln, die sich deutlich zwischen plano- und erektophilen Beständen unterscheiden (Abb. 4 u. Abb. 5). So weisen (für den in Abb. 2 illustrierten Fall) erektophile Bestände eine (schwache) positive Korrelation zwischen Rot und nIR Reflexion auf, während die planophilen Bestände eine (deutliche) negative Korrelation zeigen (Abb. 5). Damit sind Enge (R^2) und Richtung (Steigung und y-Achsenabschnitt) der Clusterhauptachse informationsbeinhaltende Objektcharakteristika.

In Abhängigkeit vom (mittleren) Blatthaltungswinkel der landwirtschaftlichen Schläge variieren auch die (kanalspezifischen) Standardabweichungen sowie die

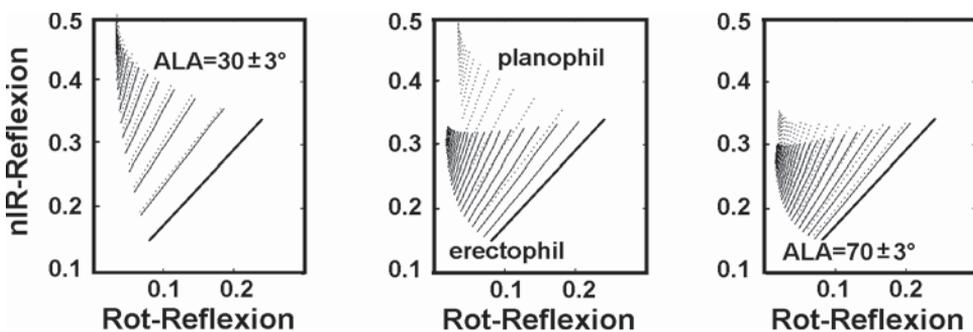


Abb. 3: Simulierte LAI-Isolinien im 2-dimensionalen Merkmalsraum aus Rot- und nIR-Reflexion für planophile und erektophile Bestände. Die LAI-Isolinien nehmen zwischen dem unbedeckten Boden ($LAI = 0$; fette Linie) und $LAI = 5$ mit Inkrementen von 0.2 LAI-Einheiten zu ($Cab = 40 \mu g cm^{-2}$; alle anderen Parameter wie in Abb. 2). Um zu verdeutlichen, wie sich bestandsinterne Variationen des Blatthaltungswinkels auf die Reflexionssignatur auswirken, sind links die LAI-Isolinien für Blatthaltungswinkel von 27 und 33° dargestellt, rechts von 67 und 73° .

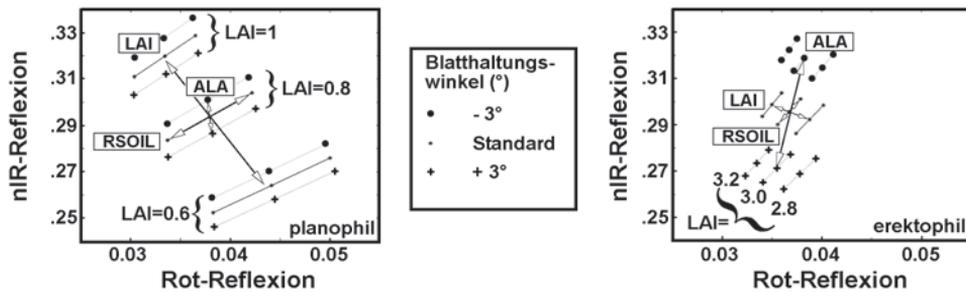


Abb. 4: Entstehung von Objektsignaturen im 2-dimensionalen Merkmalsraum aus Rot- und nIR-Reflexion durch „intra-field“ Variationen wichtiger biophysikalischer Modellparameter. Die Variationen um den in Abb. 2 spezifizierten Parametersatz betragen für den LAI ± 0.2 Einheiten, für den Blatthaltungswinkel $\pm 3^\circ$, und für die Bodenhelligkeit ± 0.01 . Eingetragen sind jeweils drei LAI-Isolinien für die Standard-Blatthaltung (durchgezogene Linien), sowie korrespondierende LAI-Isolinien, die sich aus einer Verminderung (●) bzw. Erhöhung (+) des jeweiligen Blatthaltungswinkels ergeben. Eingezeichnet sind die jeweiligen Verschiebungsvektoren, die aus den spezifizierten „intra-field“ Variationen resultieren.

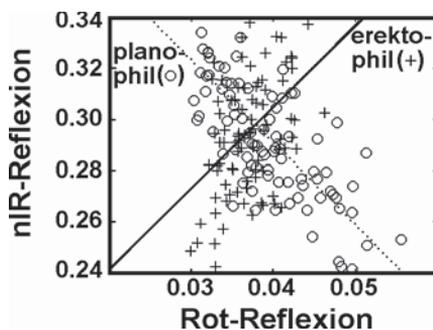


Abb. 5: Resultierende Objektsignaturen im 2-dimensionalen Merkmalsraum aus Rot- und nIR-Reflexion für planophile (o) und erektophile Bestände (+) bei zufallsgenerierter Variation von LAI (± 0.2), ALAI ($\pm 3^\circ$), Cab ($\pm 2 \mu\text{g cm}^{-2}$) und Bodenhelligkeit (± 0.01) um den in Abb. 2 spezifizierten Parametersatz.

Schiefen in den Häufigkeitsverteilungen der Reflexionswerte (hier nicht gezeigt). Ähnliche Beziehungen lassen sich auch für andere Kanalkombinationen darstellen, können hier allerdings aus Platzgründen nicht weiter besprochen werden. Es lag daher nahe, solche Muster mit Hilfe künstlicher neuronaler Netze zu trainieren und für die Modellinversion heranzuziehen (Absatz 3.2).

3.2 Ergebnisse des Objekt basierten Invertierungsansatzes

Um einen Vergleichsmaßstab zu haben, wurden die Ergebnisse der vorgeschlagenen objektbasierten Invertierung mit denen der klassischen (pixelbasierten) Invertierungsstrategie verglichen. Zur optimalen Kontrolle aller Parameter und Einflussfaktoren wurde dazu zunächst mit Hilfe etablierter Reflexionsmodelle (JACQUEMOUD et al. 1995) ein spezieller synthetischer Datensatz in den 6 reflektiven TM-Kanälen generiert (100.000 Objekte mit jeweils 25 Pixeln charakterisiert durch zufallsgenerierte Parameterverteilungen). Es wurde großen Wert darauf gelegt, dass die Modellparameter sehr große Wertebereiche umfassen, um eine Anwendung der Methodik auf den verschiedensten Kulturen gewährleisten zu können. Aus den jeweils 25 Pixeln pro Objekt wurden dann die Objektsignaturen berechnet (Absatz 3.1) und jeweils einem Pixel zugeordnet. Die verbleibenden 24 Pixel wurden nicht weiter berücksichtigt. Die vergleichende Analyse bestand dann darin, künstliche neuronale Netze mit und ohne diese Objektsignatur zu trainieren (nobs = 70.000) und auf einem unabhängigen Validierungsdatensatz (nobs = 30.000) zu testen (bei ansonsten identischen Bedingungen). Weitere Details finden sich in ATZBERGER (2002).

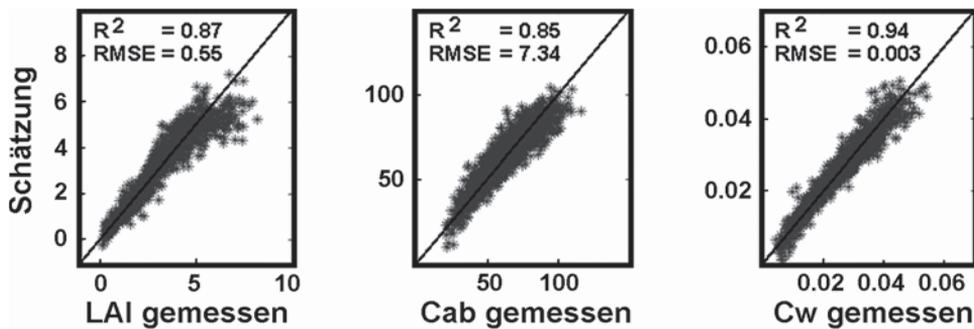


Abb. 6: Tatsächliche gegen geschätzte Bestandsparameter (Blattflächenindex, Blattchlorophyllgehalt und Blattwassergehalt) bei Verwendung des objektbasierten Inversionsverfahrens (synthetischer Validierungsdatensatz in der spektralen Auflösung des Landsat-TM; nobs = 30.000). Zur Umsetzung des objektbasierten Inversionsansatzes wurden künstliche neuronale Netze mit 10 Neuronen im verdeckten Layer verwendet. Zu Illustrationsszwecken ist lediglich jeder 10te Datenpunkt dargestellt (ATZBERGER 2002).

Tab. 1: Statistische Kenngrößen zwischen tatsächlichen und geschätzten Bestandsparametern für den objektbasierten und den pixelbasierten Inversionsansatz unter Verwendung eines synthetischen Validierungsdatensatzes in der spektralen Auflösung des Landsat-TM und künstlicher neuronaler Netze. Der T-Wert ähnelt dem R^2 , mit dem Unterschied, dass er die Abweichungen von der 1 : 1 Linie misst. Δ ist die Differenz zwischen den Mittelwerten aus tatsächlichen und geschätzten Variablen (nobs = 30.000) (ATZBERGER, 2002).

	objektbasiert			pixelbasiert		
	LAI	Cab	Cw	LAI	Cab	Cw
R^2	0.87	0.85	0.94	0.81	0.78	0.91
Steigung	0.869	0.854	0.937	0.812	0.780	0.909
y-Achsenab.	0.43	9.09	0.002	0.62	13.77	0.002
RMSE	0.55	7.34	0.0026	0.66	9.04	0.0030
PRMSE (%)	6.3	7.4	4.8	7.6	9.2	5.7
T-Wert	0.87	0.85	0.94	0.81	0.78	0.91
Δ	0.004	-0.008	0.000	0.012	0.024	0.000

Aus der graphischen Gegenüberstellung zwischen tatsächlichen und geschätzten Vegetationsparametern des unabhängigen Validierungsdatensatzes wird die Brauchbarkeit des objektbasierten Inversionsansatzes deutlich (Abb. 6). Es gelingt sowohl strukturelle Größen wie den LAI mit einer hohen Genauigkeit zu schätzen ($R^2 = 0.87$), als auch biochemische Größen wie den Blattchlorophyll- und Blattwassergehalt ($R^2 = 0.85$ bzw. 0.94) (Tab. 1). Obwohl die Analysen sehr weite Wertebereiche umfassen sind noch keine Sättigungseffekte zu erkennen. Relative RMSE liegen für die drei untersuchten biophysikalischen Vegetationsparameter zwischen 5 und 8 % (Tab. 1). Die Abweichungen zwischen tatsächlichen und

geschätzten biophysikalischen Vegetationsparametern sind dabei bei dem objektbasierten Ansatz deutlich enger um den 0-Wert zentriert, als beim herkömmlichen pixelbasierten Inversionsansatz (Abb. 7). Auch andere statistische Kenngrößen in Tab. 1 belegen den durch den objektbasierten Inversionsansatz erzielten Genauigkeitserfolg.

4 Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass die Verwendung physikalisch basierter Reflexionsmodelle Vorteile gegenüber den empirisch-statistischen Verfahren bietet. Gleichzeitig hat die Illustration des so genannten „ill-posed“ Problems aber auch deutlich gemacht, wo

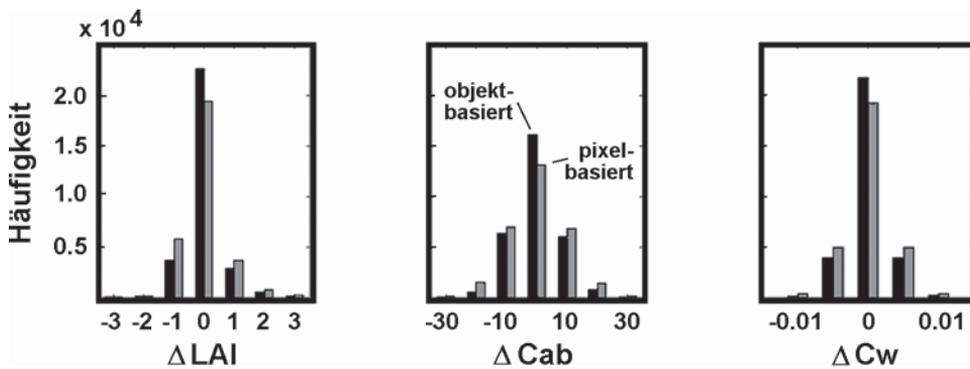


Abb. 7: Abweichungen zwischen tatsächlichen und geschätzten Bestandsparametern mit/ohne Verwendung der Objektsignaturen (synthetischer Validierungsdatensatz in der spektralen Auflösung des Landsat-TM) (ATZBERGER 2002).

selbst physikalisch basierte Reflexionsmodelle an ihre Grenzen stoßen.

Die bislang zur Lösung des „ill-posed“ Problems vorgeschlagenen Ansätze setzen allesamt Informationen voraus, die entweder extern beigesteuert werden müssen oder aber aus multi-temporalen Aufnahmesequenzen abzuleiten sind. Um davon unabhängig zu werden, wurde vom Autor ein Ansatz entwickelt, der die benötigten Informationen aus dem zu bearbeitenden Bild selbst extrahiert. Mit Hilfe der so genannten Objektsignatur ließen sich biophysikalische Vegetationsparameter wie Blattflächenindex, Blattchlorophyll- und Blattwassergehalt mit höheren Genauigkeiten schätzen, als beim pixelbasierten Ansatz (r^2 zwischen 0.85 und 0.94). Die prozentualen RMSE des unabhängigen Testdatensatzes lagen in allen Fällen unter 8%. Weitere Untersuchungen werden sich nun darauf konzentrieren, nachzuweisen, dass der vorgeschlagene Ansatz weniger anfällig für Sensorrauschen ist, als der klassische Invertierungsansatz. Zudem sind die besonders aussagekräftigen Objektsignaturen zu bestimmen. Daneben soll die vorgeschlagene Strategie auch auf forstliche Fragestellungen ausgeweitet werden.

Danksagung

Ich danke FRÉDÉRIC BARET und STÉPHANE JACQUEMOUD für die Bereitstellung der verwendeten Reflexionsmodelle. Dank gebührt

MARTIN SCHLERF und THOMAS UDELHOVEN für die Korrektur des Manuskriptes. Meiner Frau MAGDA CHELFAOUI danke ich für die gewährte Unterstützung.

Literatur

- ATZBERGER, C., 1995: Accuracy of multitemporal LAI estimates in winter wheat using analytical (PROSPECT + SAIL) and semiempirical reflectance models. – In: GUYOT (Ed.): Assessment of remote sensing tools for the estimation of photosynthesis and primary production. Present and future potential. – 423–428, Montpellier, Frankreich.
- ATZBERGER, C., 2000: INFORM: Ein invertierbares Forstreflexionsmodell zur fernerkundlichen Bestimmung biophysikalischer Größen. – In: ALBERTZ, J. (Ed.): Photogrammetrie und Fernerkundung. Neue Sensoren – Neue Anwendungen. – Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, **8**: 163–173.
- ATZBERGER, C., 2002: Object-based retrieval of structural and biochemical canopy characteristics using SAIL + PROSPECT canopy reflectance model: A numerical experiment. – In: SOBRIÑO (Ed.): Recent advances in quantitative remote sensing. – Valencia, Spanien, in Druck.
- ATZBERGER, C., GUÉRIF, M. & DELÉCOLLE, R., 2001: The use of GRAMI crop growth model and SPOT data for biomass estimations in winter wheat. – In: LEROY (Ed.): Physical measurements and signatures in remote sensing. – 705–711, Balkema, Aussois.
- BARET, F., 1991: Vegetation canopy reflectance: Factors of variation and application for agri-

- culture. – In: HUNT (Ed.): Physical measurements and signatures in remote sensing. – 145–167, France.
- BARET, F. & FOURTY, T., 1997: The limits of a robust estimation of canopy biochemistry. – In: GUYOT & PHULPIN (Ed.): Physical measurements and signatures in remote sensing. – 413–420, Balkema, Rotterdam.
- BARET, F., WEISS, M., TROUFLEAU, D., PREVOT, L. & COMBAL, B., 2000: Maximum information exploitation for canopy characterisation by remote sensing. – *Aspects of Applied Biology* 60 – Remote sensing in agriculture: 71–82.
- BROGE, N.H. & LEBLANC, E., 2000: Comparing predictive power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. – *Remote Sensing of Environment*, 76: 156–172.
- CHEN, J. & LEBLANC, S., 1997: A four-scale bidirectional reflectance model based on canopy architecture. – *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, GE- 35 (5): 1316–1337.
- COMBAL, B. & BARET, F., 2001: Estimation of chlorophyll content from remote sensing observations in the solar domain. – In: LEROY (Ed.): Physical measurements and signatures in remote sensing. – 461–471, Balkema, Aussois.
- COMBAL, B., BARET, F., WEISS, M.; TRUBUIL, A., MACÉ, D., PRAGNÈRE, A., MYNENI, R., KNYAZIKHIN, Y. & WANG, L., 2002: Retrieval of canopy biophysical variables from bidirectional reflectance using prior information to solve the ill-posed inverse problem. – *Remote Sensing of Environment*, 84: 1–15.
- CURRAN, P.J., 1994: Imaging spectrometry. – *Progress in Physical Geography*, 18(2): 247–266.
- DANSON, F.M. & CURRAN, P.J., 1993: Factors affecting the remotely sensed response of coniferous forest plantations. – *Remote Sensing of Environment*, 43: 55–65.
- DELÉCOLLE, R., MAAS, S., GUÉRIF, M. & BARET, F., 1992: Remote sensing and crop production models: Present trends. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 47: 145–161.
- FRANKLIN, S.E., 2001: Remote sensing for sustainable forest management. – Lewis Publishers, Boca Raton.
- GARCIA-HARO, F.J. & SOMMER, S., 2002: A fast canopy reflectance model to simulate realistic remote sensing scenarios. – *Remote Sensing of Environment*, 81: 205–227.
- GASTELLU-ETCHEGORRY, J.P., DEMAREZ, V., PINEL, V. & ZAGOLSKI, F., 1996: Modeling radiative transfer in heterogeneous 3-D vegetation canopies. – *Remote Sensing of Environment*, 58: 131–156.
- GOEL, N.S., 1987: Models of vegetation canopy reflectance, their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. – *Remote Sensing Reviews*, 4: 1–212.
- GONG, P., WANG, D.X. & LIANG, S., 1999: Inverting a canopy reflectance model using neural network. – *International Journal of Remote Sensing*, 20 (1): 111–122.
- GUYOT, G., GUGON, D. & RIOM, J., 1989: Factors affecting the spectral response of forest canopies: A review. – *Geocarto International*, 3: 43–60.
- JACQUEMOUD, S., 1993: Inversion of the PROSPECT + SAIL canopy reflectance model from AVIRIS equivalent spectra: Theoretical study. – *Remote Sensing of Environment*, 44: 281–292.
- JACQUEMOUD, S., BARET, F., ANDRIEU, B., DANSON, M. & JAGGARD, K., 1995: Extraction of vegetation biophysical parameters by inversion of the PROSPECT + SAIL models on sugar beet canopy reflectance data. Application to TM and AVIRIS sensors. – *Remote Sensing of Environment*, 52: 163–172.
- JARMER, T., KOETZ, B. & ATZBERGER, C., 2003: Spektroradiometrische Ableitung biophysikalischer Vegetationsparameter von Weizenbeständen: Vergleichende Untersuchung verschiedener empirisch-statistischer Verfahren. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation*, 2003 (1): 43–50 (dieses Heft).
- KIMBALL, J.S., KEYSER, A.R., RUNNING, S.W. & SAATCHI, S.S., 2000: Regional assessment of boreal forest productivity using an ecological process model and remote sensing parameter maps. – *Tree Physiology*, 20: 761–775.
- KIMES, D.S., KNYAZIKHIN, Y., PRIVETTE, J., ABUEL GASIM, A.A. & GAO, W., 2000: Inversion methods for physically-based models. – *Remote Sensing Reviews*, 18: 381–439.
- KIMES, D.S., NELSON, R.F., MANRY, M.T. & FUNG, A.K., 1998: Attributes of neural networks for extracting continuous vegetation variables from optical and radar measurements. – *International Journal of Remote Sensing*, 19: 2639–2663.
- KOETZ, B., 2001: Use of coupled evolution and radiative transfer models to derive biophysical canopy characteristics from multispectral/temporal remote sensing data. – *Diplomarbeit, Universität Trier, unveröff.*
- LI, X. & STRAHLER, A.H., 1986: Geometric-optical bidirectional reflectance modeling of a co-

- nifer forest canopy. – IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, **GE- 24** (6): 906–919.
- MORAN, S. M., INOUE, Y. & BARNES, E. M., 1997: Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. – Remote Sensing of Environment, **61**: 319–346.
- MOULIN, S., BONDEAU, A. & DELÉCOLLE, R., 1998: Combining agricultural crop models and satellite observations: From field to regional scales. – International Journal of Remote Sensing, **19** (6): 1021–1036.
- MYNENI, R. B. & ROSS, J. K., 1991: Photon-Vegetation Interactions. – Springer-Verlag, New York.
- NORTH, P. R. J., 1996: Three-dimensional forest light interaction model using a Monte Carlo method. – IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, **GE 34** (4): 946–956.
- POILVÉ, H., 2002: CROMA: Crop Reflectance Operational Models for Agriculture, Final report. – EC research project EVG1-CT-2000-00027.
- SCHLERF, M. & ATZBERGER, C., 2002: Use of a forest reflectance model for empirical estimation of Norway spruce characteristics from hyperspectral imagery. – In: SOBRINO (Ed.): Recent advances in quantitative remote sensing. – Valencia, Spanien, in Druck.
- SCHUELLER, J. K., 1992: A review and integrating analysis of spatially-variable control of crop production. – Fertilizer Research, **33**: 1–34.
- TREITZ, P. M. & HOWARTH, P. J., 1999: Hyperspectral remote sensing for estimating biophysical parameters of forest ecosystems. – Progress in Physical Geography, **23** (3): 359–390.
- UDELHOVEN, T., ATZBERGER, C. & HILL, J., 2000: Retrieving structural and biochemical forest characteristics using artificial neural networks and physically based reflectance models. – In: BUCHROITHNER (Ed.): A decade of trans-european remote sensing cooperation. – 205–211, Balkema, Dresden.
- VERHOEF, W., 1984: Light scattering by leaf layers with application to canopy reflectance modeling: The SAIL model. – Remote Sensing of Environment, **16**: 125–141.
- VERSTRAETE, M. M., PINTY, B. & MYNENI, R. B., 1996: Potential and limitations of information extraction on the terrestrial biosphere from satellite remote sensing. – Remote Sensing of Environment, **58**: 201–214.

Anschrift des Autors:

Dr. rer. nat. CLEMENT ATZBERGER, Universität Trier, Abt. Fernerkundung, Behringstraße, D-54286 Trier, Tel.: +49-651-201-4596, Fax: +49-651-201-3815 e-mail: atzberger@feut.de

Manuskript eingereicht: November 2002

Angenommen: November 2002

Berichte

CIPA WG 6 International Workshop on “Scanning for Cultural Heritage Recording”

Korfu, Griechenland, 1./2. September 2002

Der Workshop „Scanning for Cultural Heritage Recording – Complementing or Replacing Photogrammetry“ des ICOMOS/ISPRS Committee for Documentation of Cultural Heritage (CIPA) wurde durch deren Working Group 6 (Surveying Methods for Heritage Recorders) unter der Leitung von Chairman Prof. WOLFGANG BÖHLER gemeinsam mit der Kommission V der ISPRS (Präsident Prof. PETROS PATIAS) unmittelbar vor dem Symposium der Kommission V an gleicher Stelle durchgeführt. Mit 26 Beiträgen in Form von Vorträgen und Postern (wovon 23 im Tagungsband bzw. auf CD erschienen sind) sowie über 50 Teilnehmern bot der Workshop in einem überschaubaren Rahmen vielfältige Möglichkeiten zu Information, Erfahrungsaustausch und Diskussion über die verfügbaren Techniken zur Gewinnung geometrischer Informationen im Bereich der Dokumentation unseres kulturellen Erbes in Ergänzung bzw. in Konkurrenz zur Nahbereichsphotogrammetrie. Eine Ausstellung von fünf Anbietern für Laser-Scanner im Nahbereich rundete das Programm ab.

Die Vorträge und Poster waren in Vortragsblöcke unter den Überschriften

- Instrumente und Methoden,
- Eigenschaften und Genauigkeit von Laserscannern,
- Software,
- Dokumentation von Artefakten,
- Projekte und Erfahrungen sowie
- Verschiedenes

gegliedert, wobei die Projekt bezogenen Beiträge den größten Teil ausmachten. Hier wurde eine große Bandbreite der Anwendungen hinsichtlich des Umfangs und der Detailliertheit der Dokumentationsaufgaben mit eindrucksvollen Beispielen darge-

stellt. In mehreren Beiträgen wurde jedoch auch auf die offenkundige Diskrepanz zwischen der Leistungsfähigkeit der zurzeit verfügbaren Hardware und der Software hingewiesen. Bei der Software bleiben manche Wünsche offen, insbesondere im Bereich der Datenreduktion und der Modellierung.

Größere Fortschritte bei der Aufstellung von Richtlinien zur Dokumentation von Gebäuden, Skulpturen, Artefakten u.Ä. konnten im Rahmen dieses Workshops – erwartungsgemäß – nicht erzielt werden. Hierzu sind weitere breit angelegte Diskussionen zwischen Nutzern und Erfassern von Informationen – wie etwa in der *Recording, Documentation and Information Management (RecorDIM)* Initiative der CIPA vorgesehen – unentbehrlich.

MANFRED WEISENSEE, Oldenburg

ISPRS Kommission V Symposium “Close-Range Imaging, Long-Range Vision”

Korfu, Griechenland, 2.–6. September 2002

Der Präsident der Kommission V, Prof. PETROS PATIAS von der Aristoteles Universität in Thessaloniki hatte zum Zwischen-Symposium nach Griechenland geladen, auf die schöne Insel Korfu. Sonnenschein und milde griechische Nächte waren garantiert. Die Tagungsatmosphäre war geprägt von der Herzlichkeit und Gelassenheit der griechischen Gastgeber. 240 Teilnehmer aus 29 Ländern waren angemeldet und besuchten die technischen und Poster-Sitzungen sowie die Fachausstellung (Laserscanner-Firmen). Tagungsband und CD mit den 115 Beiträgen standen zu Beginn der Veranstaltung zur Verfügung; auf CD auch die Materialien mehrerer Tutorials.

Unmittelbar vor dem Symposium fand der CIPA Working Group 6 Workshop „Scanning for Cultural Heritage Recording“ statt (siehe Bericht von MANFRED WEI-

SENSEE, S. 63). Dass auch im Programm des Kommission V Symposiums eine Reihe von Beiträgen zum Thema Laserscanning enthalten waren, unterstreicht die zunehmende Bedeutung dieser Messtechnik, vor allem für Dokumentationsaufgaben in den Bereichen Architektur und Archäologie.

Als Keynote Speaker des Kommission V Symposiums zeigte Prof. ARMIN GRÜN in seinem Vortrag „*Return of the Buddha – New Paradigms in Photogrammetric Modeling*“ den momentanen Stand der Nahbereichstechniken auf und betonte zudem die Wichtigkeit der Modellierung bei der Aufnahme, Rekonstruktion und Darstellung von Objekten. Modelle sind im gesamten Ablauf enthalten, sie betreffen den Sensor (Geometrie, Radiometrie, Kalibrierung), das Design des Aufnahmeverbandes, den Abbildungsprozess, die Messung und die Weiterverarbeitung der Ergebnisse (Generierung virtueller Objekte, Visualisierung, Animation etc.). Anstelle separater Modelle sind miteinander zusammenhängende Ansätze anzustreben.

Betrachtet man die Verteilung der 115 Beiträge auf die Arbeitsgruppen der Kommission V, so erhält man folgendes Bild (in Klammern jeweils charakteristische Themen der eingereichten Berichte):

- WG V/1 „*Automation for Vision Metrology Systems and Industrial Applications*“: 23 Beiträge (Hochauflösende Digitalkameras, Kalibriermethoden, Datenfusion, neue Algorithmen und Messsysteme, industrielle Anwendungen)
- WG V/2 „*Scene Modelling and Virtual Reality*“: 20 Beiträge (Objektmodellierung mit unterschiedlichen Ausgangsdaten, automatische Verfahren zur Kalibrierung, Orientierung und Datengewinnung)
- WG V/3 „*Medical Image Analysis and Human Motion*“: 9 Beiträge (Beispiele zur Messung und Modellierung bei medizinischen Anwendungen, Röntgen- und CT-Bilder, Bewegungen des menschlichen Körpers)
- WG V/4 „*Image Analysis and Spatial Information Systems for Applications in Cultural Heritage*“: 39 Beiträge (Dokumentation von Kulturgütern mit Hilfe von metrischen

und nicht-metrischen Bildern, Laserscanning, Luft- und Satellitenbilddaten, Videosequenzen, photogrammetrischen „Simple Systems“, Orthobildherstellung etc. und Präsentation der Ergebnisse in einem GIS, als Video, im Internet usw.)

- WG V/5 „*Quick Response and Distributed Computing for Close-range Applications*“: 7 Beiträge (Automatische Objekterkennung, 3D Stadtmodelle u. a. m.)
- WG V/6 „*Visualization and Animation*“: 8 Beiträge (Beispiele für Visualisierung und Animation in verschiedenen Anwendungsbereichen)
- Inter-Commission WG V/III „*Image Sequence Analysis*“: 9 Beiträge (Analyse von Bildfolgen zur Erkennung von Bewegungen, zur Generierung von 3D-Modellen, zur Ermittlung von Parametern für die automatische Fahrzeugsteuerung).

Will man aus diesen Zahlen und den behandelten Themen einen Trend ablesen, dann den, dass es zwar bei den Messsystemen und Anwendungen in der Industrie in den letzten Jahren zu einer (weiteren) Verfeinerung der Geräte und Verfahren gekommen ist, dass jedoch die wesentlichen Fortschritte in den Bereichen Objektmodellierung, virtuelle Realität, Visualisierung erzielt wurden. Untermauert wurde dies in Korfu durch eine Reihe interessanter, zum Teil spektakulärer Demonstrationen von Beispielen der Bestandsaufnahme des kulturellen Welterbes. Der Übergang von der realen zur virtuellen Welt geschieht durch „Sampling“ der visuellen Erscheinungen der Objekte – dabei wirken Messtechnik (Genauigkeit der Messung, Kalibrierung, Automatisierung) und Visualisierung bestmöglich zusammen.

Abschließend sei daran erinnert, dass die Kommission V eine besondere Stellung innerhalb der ISPRS einnimmt, da sie das Zusammenkommen und die Zusammenarbeit der Photogrammeter mit Wissenschaftlern und Praktikern aus so unterschiedlichen Bereichen wie Physik und Messtechnik, Robotik und Computer Vision, Medizin, Architektur und Archäologie, auch der Film- und Spiele-Industrie usw. bewirkt und fördert. Diese Attraktivität gilt es zu bewahren.

Hierzu tragen wesentlich die Arbeitsgruppen der Kommission V bei, die im nächsten Jahr ihre Treffen abhalten werden – soweit bekannt:

- WG V/1 bei der „Optical 3D Measurement Techniques Conference“ in Zürich (25.–28. September 2003)
- WG V/2 im Rahmen der „Videometrics VIII“ in Santa Clara/USA (20.–24. Januar 2003)
- WG V/4 und IC WG V/III „Vision Techniques for Digital Architectural and Archaeological Archives“ in Ancona/Italien (1.–3. Juli 2003)
- WG V/5 während des „4th Int. Symposium on Mobile Mapping Technology“ in Kunming/China (13.–15. August 2003)
- WG V/6 „Visualization and Animation of Reality-based 3D Models“ in Tarasp-Vulpera/Schweiz (24.–28. Februar 2003)

Als weitere wichtige Konferenz-Termine sind zu nennen:

- 3rd Int. Conference on Computer Vision Systems in Graz (1.–3. April 2003)
- CIPA 2003 Int. Symposium in Antalya/Türkei (30. Sept.–4. Okt. 2003)
- 4th Int. Conf. on 3-D Digital Imaging and Modeling in Banff/Kanada (6.–10. Okt. 2003)

JÜRGEN PEIPE, München

ISPRS Kommission VI Symposium „Neue Wege zur Ausbildung und zur Kommunikation“

Sao Jose dos Campos, Brasilien, 16.–18. September 2002

Das Symposium der Kommission VI der ISPRS fand in Sao Jose dos Campos, am Gelände der brasilianischen Raumfahrtagentur INPE, statt. Unter den 68 Teilnehmern kamen allein 51 aus Brasilien. Aus den übrigen lateinamerikanischen Regionen kamen 3, aus Nordamerika 2, aus Europa 10 (davon 4 aus Deutschland) und aus Asien und Australien 2. Das ISPRS Council war mit fünf Mitgliedern vertreten. Insgesamt

wurden 45 Beiträge zum Symposium verfasst und auf CD-ROM publiziert. Allerdings waren nicht alle Verfasser in der Lage, nach Brasilien zu kommen. Nur 32 Beiträge wurden vorgetragen. Sie können im web abgerufen werden unter <http://www.commission6.isprs.org>.

Die Kommissionspräsidentin Dr. TANIA MARIA SAUSEN eröffnete das Symposium in einem hochmodernen Konferenzgebäude im Campus von INPE. Dr. MIRANDA, INPE's Direktor und der Präsident der brasilianischen Gesellschaft für Kartographie, Geodäsie, Photogrammetrie und Fernerkundung (BSC) GOMEZ begrüßten die Teilnehmer.

Das Symposium begann mit einer Vorstellung des brasilianisch-chinesischen Erderkundungs-Satellitenprojektes CBERS und der brasilianischen Nutzung der Satellitendaten.

Das technische Programm der Kommission VI umfasste vier Bereiche:

- Ausbildung und Fortbildung
- Rechnergestützte Lehre
- Internationale Zusammenarbeit und Technologietransfer
- Internetressourcen und Fernausbildung

Im Themenbereich *Ausbildung und Fortbildung* gab G. KONECNY (Hannover) eine Übersicht über den weltweiten Stand der Ausbildung im Bereich des Geoinformationswesens, der aus historischen und berufspolitischen Gründen in vielen Ländern der Welt als eigenständiges Curriculum (Vermessungswesen – Geoinformationswesen) eingerichtet worden ist. In einigen Ländern Europas, in Südafrika und Australien ergeben sich Fragen der Kapazitätsauslastung bestehender Institutionen, allerdings wird die Beibehaltung dieses eigenständigen Ausbildungssektors als sinnvoll angesehen. Wo ein eigenständiges Curriculum nicht besteht, werden Teilgebiete des Geoinformationswesens im Postgraduiertenstudium gelehrt, z. B. in Brasilien (SANDRA DA CORTE, Uni Vale do Paraibo). Über die Einrichtung eines Curriculums für Fernerkundung durch die französische Regierung in Französisch Guyana berichtete POLIDORI (ORSTOM).

Im Themenbereich *Rechnergestützte Lehre* stellte N. DIAS (Indiana State University, USA) eine CD-ROM für die interaktive Lehre in der Fernerkundung vor. Diese und weitere Entwicklungen (Ökologie, Regionalgeographie) sollen ab 2003 im Internet zur Verfügung stehen.

F. BISCHOFF aus Karlsruhe stellte die didaktischen und methodologischen Herausforderungen bei der Entwicklung von 14 interdisziplinären Kursen im GIS-Bereich dar. Als Beispiel wurden neu gestaltete Animationen der Laserabtastung vorgeführt. Die Posterpräsentationen von P. GRUSSENMEYER (Fortbildungskurs Städtische Anwendungen in Straßburg) und von TANIA MARIA SAUSEN (Fernerkundung auf der High School in Brasilien) ergänzten die vorgetragenen Beiträge.

A. MONTEIRO berichtete über die Entwicklung der bei INPE entstandenen Software „SPRING“ zur Nutzung von Fernerkundungsdaten und GIS in Brasilien. Diese kostenlose Software hat bereits 25000 Nutzer in Lateinamerika und ist Grundlage eines Trainings-Kurses für andere lateinamerikanische, karibische, afrikanische und asiatische Staaten (E. BANUS, INPE). SILVANA AMARAL (INPE) stellte das Softwarepaket im Detail vor und HILCEA FERREIRA (INPE) sprach über seine Nutzung, propagiert von der lateinamerikanischen Fernerkundungsvereinigung SELPER.

Zum Themenbereich *Internationale Zusammenarbeit und Technologietransfer* berichtete H. P. BÄHR (Karlsruhe) über die 20-jährige deutsch-brasilianische Kooperation zur Einrichtung eines Postgraduiertenstudiums in Geoinformationswesen in Curitiba und Recife aus der bereits 20 Doktorabsolventen hervorgegangen sind.

POLIDORI (ORSTOM) trug die französischen Entwicklungshilfeleistungen in der Region vor: In Cayenne wurde eine NOAA-AVHRR und SeaWifs-Empfangsstation eingerichtet. Daneben beteiligt sich Frankreich an den hauptsächlich von der Weltbank und von anderen Gebern aus USA und Europa geförderten Projekten des Land Managements und des Katasters in Mittelamerika.

C. VALENZUELA (ITC Bolivien) referierte über die Dezentralisierungsbestrebungen des ITC Enschede, weltweit fünf neue Ausbildungsinstitute einzurichten, darunter eines in Bolivien.

Der vierte Themenbereich *Internetressourcen* musste leider ausfallen. Dafür wurde eine Reihe von weiteren Entwicklungen der Geoinformatikausbildung vorgestellt und diskutiert.

K. HONDA (AIT, Bangkok) sprach über die im asiatischen Raum hauptsächlich durch Japan finanzierte Geoinformatikausbildung am Asian Institute of Technology in Bangkok. TANIA MARIA SAUSEN trug den Beitrag von RUDINEY PEREIRA (Uni of Santa Maria, Brasilien) vor, wo ein neues Geoinformatikcurriculum eingerichtet worden ist.

J. NIEDEROEST (TU Zürich) berichtete über die Unterstützungsmöglichkeiten außereuropäischer Länder durch die Europäische Union.

A. TOMMASELLI (Uni Sao Paulo) referierte über das an der Universität Sao Paulo neu eingerichtete Kartographieprogramm, welches das Gebiet des Geoinformationswesens umfasst.

H. HAUBOLD (UN-OOSA, Wien) trug die Aktivitäten des U.N. Office of Outer Space Affairs vor, die darauf abzielen, die Aus- und Fortbildung im Bereich der Weltraumtechnologie, u. a. der Fernerkundung zu unterstützen. So sind innerhalb der letzten zwei Jahre 11 internationale Workshops über verschiedene Themen abgehalten worden.

J. LICHTENEGGER (ESRIN, Frascati) sprach über die Ausbildungs- und Trainingsmöglichkeiten der ESA.

An diese Beiträge schlossen sich diverse Präsentationen der praktischen Anwendung von e-learning an:

L. FILLO (Militärinstitut, Rio de Janeiro) stellte ein Programm für die Lehre in digitaler Photogrammetrie vor.

HEIKE WEIPERT (Uni Stuttgart) berichtete über das BMBF-Projekt GIMOLUS, in welchem interaktive Lernmodule in XML-Sprache zur Verwendung mit ESRI Software im GIS- und Fernerkundungsbereich von acht Hochschulen entwickelt worden sind.

MARISA DANTAS (Uni Sao Paulo) sprach über die Entwicklung einer CD für Biologen zur Anwendung der Geoprozessierung.

G. KONECNY (Uni Hannover) stellte das in Hannover erstellte Softwarepaket SIDIP (Simple Digital Photogrammetry) vor.

P. GRUSSENMEYER (Uni Straßburg) berichtete über die Weiterentwicklung des web-basierten digitalen Photogrammetrie-Programms „ARPENTEUR“, und

I. DOWMAN (UCL) übernahm den Bericht über die Nutzungsmöglichkeiten des Internet für ISPRS von T. CHEN, der verhindert war, aus Taiwan nach Brasilien zu kommen.

JANA NIEDEROEST (TU Zürich) fasste die von der Arbeitsgruppe VI/1 gefassten Empfehlungen über Ausbildung und Fortbildung, verfügbare Software und die bibliographische Archivierung zusammen.

D. GHERARDI (INPE) sprach über Fortbildungsprogramme für brasilianische Manager auf dem Gebiet der Geoprozessierung und der Satellitenbildinterpretation.

Die Vorträge schlossen mit Beispielen der Ausbildungsmöglichkeiten im Sekundärausbildungsbereich.

LUIS MURGIO (Cordoba, Argentinien) zeigte die Motivierung argentinischer Gymnasiasten durch Vorträge über den argentinischen Satelliten uSat-2 auf.

Schließlich berichtete MARIA SOARES (INPE) über die Abfassung eines Buchs über Luftbild- und Satellitenbildinterpretation für High-School-Studenten.

Trotz der relativ geringen internationalen Beteiligung am Symposium zeigte das Programm der Kommission VI eine bemerkenswerte Aktualität der diskutierten Themen. Vor allem war feststellbar, dass Brasilien im technischen Bereich vielleicht ein Schwellenland, aber keinesfalls ein Entwicklungsland mehr ist.

Die Besonderheiten Brasiliens bei der Lösung wirtschaftlich-sozialer Probleme wurden den Teilnehmern auf intelligente Weise von Kommissionspräsidentin TANIA MARIA SAUSEN nähergebracht: Der Symposiumsempfang wurde in kompetenter und freundlicher Weise gänzlich durch die Gastronomiefachschule Sao Jose dos Campos ausgerichtet, die ihren Stolz daran setzte, eine

erinnerungswerte Party auszurichten. Die Schüler dieser Institution wurden durch eine Stiftung der Stadt aus den Favelas in die Schule aufgenommen und motiviert am wirtschaftlichen Wachstum des Landes mitzuwirken.

Wir, die Teilnehmer, bedauern, dass dieser positive Gesamteindruck des Symposiums nicht einer größeren Zahl internationaler Kollegen zuteil werden konnte. Umso mehr sei der Präsidentin Dr. SAUSEN und dem Sekretär JOAO AVILA für die effiziente und liebenswerte Durchführung des Symposiums gedankt.

GOTTFRIED KONECNY, Hannover

DGM-Anwenderseminar in Karlsruhe

Mit über 160 Teilnehmerinnen und Teilnehmern aus Verwaltung, Wirtschaft und Hochschule fand am 24. September 2002 in Karlsruhe ein Seminar unter dem Thema „Digitale Geländemodelle und ihre praktische Anwendung“ statt. Veranstaltet wurde das Seminar vom Landesvermessungsamt Baden-Württemberg. Teilnehmer aus dem ganzen Land, aus Bayern, dem Saarland, aus Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Hessen, Brandenburg und der Schweiz haben das Ländergrenzen überschreitende Interesse am Veranstaltungsthema unterstrichen. Neben den Datenanbietern und Entwicklern kamen Anwender und Vertreter der Wissenschaft zu Wort. 12 halbstündige Vorträge, dokumentiert in einer Tagungsmappe, bildeten ein kompaktes Programm. Sämtliche Vorträge können auch auf den Internetseiten des Landesbetriebs Vermessung (<http://www.lv-bw.de/>) eingesehen und als PDF-Datei heruntergeladen werden.

Das Landesvermessungsamt Baden-Württemberg richtet derzeit ein hochgenaues, landesweit flächendeckendes DGM mit dem Verfahren des Laserscannings ein. Dies war auch der Ausgangspunkt für den ersten Vortrag über den derzeitigen Einrichtungsstand des DGM und die aktuellen Entwicklungen, die von ANDREAS SCHLEYER,

Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, aufgezeigt wurden. In Ergänzung hierzu stellte ERWIN KISTER vom Bayerischen Landesvermessungsamt die DGM von Bayern vor. Die Vortragsreihe der Datenanbieter rundete Dr. STREILEIN vom Schweizerischen Bundesamt für Landestopographie mit seinem Vortrag „Digitale Höhenmodelle der Schweiz – Erstellung und Anwendung“ ab.

Die Erfassung der Laserscandaten für das baden-württembergische DGM präsentierte Dr. LINDENBERGER von der Fa. TopScan aus Entwicklersicht, bevor MANFRED SIGLE von der Fa. Inpho sich mit den modernen Verfahren zur Erstellung und Anwendung digitaler Geländemodelle im zweiten Vortragsblock befasste.

Noch bunter wurde es dann am Nachmittag. Eingeleitet wurde dieser mit einer virtuellen Begehung von Karlsruher Innenstadtbereichen. Ausgehend von einem Tiefenmodell wurde der Bodensee unterhalb der Wasseroberfläche betrachtet – beides präsentiert durch die Fa. Müller Systemtechnik. Anhand von wasserwirtschaftlichen Vorhaben der Gewässerdirektion Heidelberg, von digitalen Stadtmodellen in Stuttgart, der SWR-Sendernetzplanung, der vorbereitenden Bauleit- und Landschaftsplanung durch den Einsatz GIS-gestützter Analysen in einem Ingenieurbüro, wurden die Möglichkeiten der Anwendungen, die moderne Datenerfassungs- und Verarbeitungsmethoden im 3D-Bereich bieten, eindrucksvoll vorgestellt.

In der letzten Vortragsreihe war die Wissenschaft gefragt. Vertreter der Universitäten Stuttgart und Karlsruhe und der Fachhochschule Karlsruhe stellten ihre neuesten Entwicklungen bei der automatischen DGM-Erzeugung aus Laserscandaten, der automatischen Interpretation dieser Daten und von Visualisierungsmöglichkeiten von 3-D-Daten im Internet vor.

Und es hat sich bestätigt. Das DGM-Anwenderseminar war nicht nur während des offiziellen Vortragsprogramms ein hervorragendes Forum zur Begegnung und zum Kennen lernen neuer, interessanter Anwendungsmöglichkeiten, sondern war auch ein

Marktplatz für viele interdisziplinäre Gespräche am Rande der Veranstaltung. Im Jahr 2005 wird das baden-württembergische DGM-Projekt abgeschlossen sein. In diesem Zusammenhang auch gleich die Antwort auf eine immer wieder gestellte Frage zur Datenbereitstellung: Natürlich werden die Daten nicht erst nach der letzten Auswertung abgegeben. Was Block für Block ausgewertet ist, wird bereitgestellt.

GÜNTHER STEUDLE, Stuttgart

EuroGeographics

Aufbruchstimmung bei EuroGeographics: Innerhalb von 10 Jahren soll die Interoperabilität europäischer Kartographischer Informationen erreicht werden

Vom 30. 9. bis 2. 10. 2002 fand die **2. EuroGeographics-Vollversammlung** in Deutschland, in Frankfurt am Main statt. Insgesamt 109 Delegierte, Generaldirektoren und Mitarbeiter der nationalen kartographischen Behörden aus 33 Ländern haben teilgenommen, um in Diskussionen und Vorträgen zukunftsrelevante Themen amtlicher Geographischer Informationen in Europa zu erörtern.

Gastgeber dieser Veranstaltung war das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) in Frankfurt, das ehemalige „Institut für Angewandte Geodäsie“, das in diesem Jahr sein 50-jähriges Bestehen hatte und sich damit eine sehr gute Gelegenheit bot, auch die 2. Vollversammlung von EuroGeographics auszurichten. Die exzellent organisierte Vollversammlung fand in einer angenehmen Atmosphäre und unter sehr guten Tagungsbedingungen statt.

Nachdem Frau BRIGITTE ZYPRIES, Staatssekretärin im Bundesinnenministerium, am ersten Sitzungstag die internationalen Gäste begrüßt hatte, stand das Thema INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe) der Europäischen Kommission im Mittelpunkt. Mehrere Sprecher aus verschiedenen Bereichen der Europäischen

Kommission unterstrichen die Bedeutung einer europaweiten Geodateninfrastruktur (GI).

Am Nachmittag wurde durch Präsentationen von Vertretern aus der Wirtschaft die Notwendigkeit für eine Grenzen übergreifende GI hervorgehoben und die Auswirkungen der neuen Technologie auf die künftige Rolle der nationalen Behörden aufgezeigt. Die besondere Bedeutung der Aufgaben von EuroGeographics gründet gerade darauf, der offizielle Vertreter der nationalen Kartographischen Behörden zu sein und die Interoperabilität der nationalen Geodateninfrastrukturen zu erreichen, wie beispielsweise die Harmonisierung der Preisgestaltung und Lizenzbedingungen sowie der Spezifikationen von Datensätzen und Metadaten.

Nachdem über den Stand der Entwicklung in den einzelnen EuroGeographics-Projekten berichtet worden war, konzentrierte sich das Interesse am 2. Tag auf die Nützlichkeit partnerschaftlicher Zusammenarbeit insbesondere der nationalen Kartographischen Behörden und Katasterbehörden. Besonders hervorgehoben wurde die Notwendigkeit der Integration von Topographie und Kataster. Da 50 % der EuroGeographics-Mitglieder bereits sowohl für die amtliche Kartenherstellung (inklusive der entsprechenden digitalen Datensätze) als auch für das Kataster verantwortlich sind, sollte dieser Bereich selbstverständlich in die Zuständigkeit von EuroGeographics fallen.

Am dritten Tag erfolgte die Neuwahl des Direktionsausschusses. Der scheidende Präsident von EuroGeographics, RICHARD KIRWAN, dankte dem BKG-Präsidenten Prof. DIETMAR GRÜNREICH als Gastgeber für die gelungene Veranstaltung und begrüßte den neuen Präsidenten, JOAKIM OLLÉN, Generaldirektor der Landesvermessung von Schweden.

Die nächste und damit 3. Vollversammlung wird in der Türkei stattfinden.

MARTINA BOCK, Frankfurt am Main

Bericht über das 19. DFD Nutzerseminar in Oberpfaffenhofen

Am 15. und 16. Oktober 2002 fand im Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen das 19. Nutzerseminar statt. Bei den jährlichen DFD Nutzerseminaren treffen sich ehemalige Angehörige, Kunden, Wissenschaftler und Mitarbeiter des DLR zu einem informellen Erfahrungsaustausch. Allen Nutzern gemeinsam ist der große Rahmen der Fernerkundung mit seinen zahlreichen Varianten. Insgesamt sechs Themenblöcke standen in diesem Jahr auf dem Tagungsprogramm.

Mit der Begrüßung der Teilnehmer durch den Direktor des DFD Prof. STEFAN W. DECH wurde die Sitzung mit dem Themenblock der Übersichtsvorträge eröffnet. In einem anschaulichen Vortrag über die angewandte Fernerkundung im DLR-DFD wurden die Teilnehmer von Prof. DECH über die derzeitigen und zukünftigen Aktivitäten des DLR und des DFD informiert. Herr KÖNEMANN (DLR) stellte das nationale Erdbeobachtungsprogramm und die Möglichkeiten der Förderung von Projekten dar, deren Inhalt die satellitengestützte Fernerkundung ist. Über den derzeitigen Stand und Zukunftsperspektiven des GMES Programms referierte Dr. BRAUN (DLR) und Herr SEIFERT (ESA) stellte das Data User Element im Earth Observation Envelope der ESA vor. Dr. JASKOLLA von der Firma Infoterra berichtete über den Status von TerraSAR. Die Reihe der Übersichtsvorträge wurde durch einen sehr informativen Vortrag über ARES, ein neues Hyperspektralinstrument für die Umweltbeobachtung von Prof. KAUFMANN (GFZ, Potsdam), eindrucksvoll beendet.

Die Satellitenplattform **Envisat** und deren Sensoren war Inhalt des zweiten Themenblocks, der von Herrn WEBER (DLR-DFD) eröffnet wurde. Herr WEBER stellte die Mission und die Aufgaben des DLR im Bodensegment von Envisat dar. Vielfältige Möglichkeiten bieten die Instrumente zur Fernerkundung der Atmosphäre, von Dr. THO-

MAS (DLR-IMF) erläutert. Dr. GÜNTHER (DLR-DFD) stellte in einem sehr anschaulichen Vortrag das Potential des Sensors MERIS vor und Herr KOSMANN (DLR-DFD) gab einen Überblick über die Datenprodukte von ENVISAT-ASAR.

Die **automatisierte Prozessierung von Fernerkundungsdaten** ist nach wie vor ein sehr aktuelles Thema. Dr. HOLZER-POPP (DLR-DFD) hat eine Methode entwickelt, mit der eine atmosphärische Korrektur von Satellitendaten möglich ist, die zu qualitativ hochwertigen Ergebnissen führt. Herr RICHTER (DLR-DFD), soeben mit dem Preis des Seniorwissenschaftlers des DLR für seine herausragenden wissenschaftlichen Leistungen ausgezeichnet, stellte die von seinem Team entwickelte Atmosphärenkorrektur von Hyperspektraldaten vor. Herr BORG (DLR-DFD) referierte über Auto-CLASS, einen innovativen Klassifikationsansatz. Die Prozessierung von MODIS Bilddaten im DFD des DLR wurde von Dr. GÜNTHER eindrucksvoll dargestellt und bildete damit einen sehr gelungenen Abschluss des ersten Kongresstages.

Fernerkundungsdaten sind die meistgenutzte Basis für **Landnutzungskartierungen und Landschaftsbewertungen**. Folglich stellte dieser Block eindeutig den thematischen Schwerpunkt des Nutzerseminars dar. Eröffnet wurde die Reihe durch Herrn KEIL (DLR-DFD), der den deutschen Teil des CORINE Land Cover 2000 Projektes präsentierte. Herr DE KOK (GAF, München) stellte eine Methodik zur automatisierten Informationsgewinnung aus einem Megadatensatz am Beispiel eines deutschlandweiten Mosaikes auf der Basis von IRS 1C/1D Daten vor. Eine Möglichkeit der Aktualisierung generalisierter Landnutzungsdaten aus älteren CIR-Biotopinformatoren auf der Basis von Landsat ETM 7 Bilddaten wurde von Dr. SYRBE (Sächsische Akademie der Wissenschaften) erläutert. Prof. KENNEWEG (TU Berlin) stellte neue methodische Ansätze zur Fernerkundung in den Bereichen Landschaft, Wald und räumliche Planung auf der Basis räumlich sehr hoch auflösender Fernerkundungsbilddaten vor. Ein System zu einer multifunktionalen Land-

schaftsoptimierung auf der Basis einer funktionalen Landschaftsbewertung wurde von Herrn MEYER (UFZ, Leipzig) entwickelt. Im Bereich der angewandten Geomorphologie zeigte Herr SIEFKER (Universität Würzburg) das große Potential von Landsat ETM 7 Bilddaten am Beispiel einer geomorphologischen Kartiermethodik für Trockengebiete im Iran.

GIS und Fernerkundung in internationalen Projekten, insbesondere zur Analyse der Biodiversität auf dem afrikanischen Kontinent war das Thema von Frau Dr. Schaab (DLR-DFD). Im Rahmen des BIOTA-Projektes werden multitemporale Fernerkundungsdaten verschiedener Sensoren eingesetzt. Prof. MENZ (Universität Bonn) verwendete multisensorale Fernerkundungsdaten zur Analyse von Landnutzungsänderungen in Westafrika. Änderungen der Morphologie wurden anhand von Geländemodellen untersucht, die sowohl aus historischen Corona Bilddaten wie auch zu Vergleichszwecken aus aktuellen Aster Bilddaten abgeleitet wurden. Frau Prof. SCHMULLIUS (Universität Jena) stellte Ergebnisse des SIBERIA-II Projektes vor, dessen Ziel es ist, verschiedene Sensorsysteme und Datenprodukte auf ihre Eignung für eine Bilanzierung von Treibhausgasprodukten hin zu untersuchen.

Die **Fernerkundungsanwendungen in Behörden** finden einen immer größeren Zuspruch. Diese Tatsache wurde eindrucksvoll von Dr. LANGE (Landesamt für Umwelt Sachsen-Anhalt) dargestellt. In der Landesumweltverwaltung sind die Bestrebungen für einen operationellen Einsatz sowohl der satellitengestützten wie auch der flugzeuggestützten Fernerkundung schon weit voran geschritten. Prof. KOCH (Universität Freiburg) stellte ein Verfahren zur Aktualisierung des Waldflächenverzeichnisses im Land Thüringen vor, das auf der segmentbasierten Klassifikation von Satellitenbilddaten aufsetzt. Den abschließenden Vortrag dieses Themenblocks hielt Dr. TSCHACH (Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein). Er stellte die Nutzung von Fernerkundungsdaten in zwei Projekten dar und konnte über positive

Erfahrungen mit den hoch auflösenden Bilddaten des Sensors HRSC-AX für eine Biotoptypen- und Landnutzungstypenkartierung berichten.

Sehr gut gelungen war auch in diesem Jahr die Mischung aus theoretischen Vorträgen zum Design neuer Sensoren und Plattformen, deren Bilddaten zukünftig zur Verfügung stehen werden und den praktischen Anwendungen bereits operationell verfügbarer Fernerkundungsdaten. Den Veranstaltern, namentlich Prof. DECH und Dr. STRUNZ, gilt ein ausdrückliches Lob für das hohe Niveau der Tagung. Diese fiel wieder einmal angenehm durch die lockere Tagungsatmosphäre auf, die den Teilnehmern neben den Vorträgen auch genug Raum für interessante Diskussionen bot.

MATTHIAS MÖLLER, Vechta

INTERGEO® 2002

16.–18. Oktober in Frankfurt am Main

Auch im Jahre 2002 waren Kongress und Ausstellung der INTERGEO wieder ein wissenschaftlich-technischer Höhepunkt im Leben der Geodäten, Kartographen, Photogrammeter und Geoinformatiker.

Der „Deutsche Verein für Vermessungswesen“ DVW, Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e.V. hatte im *Jahr der Geowissenschaften* ein fachlich anspruchsvolles, umfassendes und Ländergrenzen übergreifendes Programm organisiert, das sicher fast allen Ansprüchen genügte.

In einer feierlichen Eröffnungsveranstaltung am 16. 10. 2002 im Congress Center der Messe Frankfurt am Main mit etwa 1000 Teilnehmern begrüßte der Präsident des DVW, Dipl.-Ing. HAGEN GRAEFF, Hamburg, die Teilnehmer an dieser Veranstaltung.

Eine festliche Zeremonie während der Eröffnungsveranstaltung war die Übergabe der FIG-Präsidentschaft von ROBERT W. FOSTER, USA (1999–2003) an Univ.-Prof. Dr.-Ing. HOLGER MAGEL, München. Er

wird in der Zeit von 2003 bis 2006 das Council der FIG leiten.

Den Festvortrag „*Die Shuttle Radar Topography Mission*“ hielt der Physiker und Astronaut Dr. GERHARD THIELE von der ESA. Er schilderte anschaulich die Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) vom 12. bis 22. Februar 2000, an der er maßgeblich teilgenommen hat. Dabei wurde das Relief der Erdoberfläche zwischen 60° N und 56° S mit einer zu erwartenden Genauigkeit von 5–10 m aufgenommen. Allerdings nimmt die Berechnung der Ergebnisse mehr Zeit in Anspruch als angenommen. Das heißt, das Produkt steht noch nicht zur Verfügung (siehe auch PFG 6/2001, S. 451/452).

Zum Kongressprogramm gehörten insgesamt 28 Vortragsblöcke mit 86 Referenten, darunter die Vorträge von Prof. JÖRG ALBERTZ – *Kartographische Nutzung von Fernerkundungsdaten* – und von Prof. GERHARD NEUKUM – *Vom Mars zur Erde* –. Schwerpunkte des Vortragsprogramms waren u. a.: „Geoinformation aus Fernerkundungsdaten“, „Immobilienwirtschaft“, „Anpassung des Berufsbildes an die Anforderungen“, „Ausbildung in Deutschland und Europa“ und „Location based Services (LBS)“.

Die Ausstellung von Geodätischen Instrumenten und Geräten, Vermessungsbedarf, Vermessungsausrüstungen, Vermarktungsmaterial, Software, Geoinformation, Datenverarbeitung, Geodatengewinnung und -nutzung, Reprotechnik, Büroorganisation, Photogrammetrie, Kartographie war auch 2002 sehr umfassend und informativ. Auf 22 000 m² stellten 479 Aussteller aus 23 Staaten ihre Produkte vor. Die geschätzte Besucherzahl betrug 16 000. Diese Zahlen liegen in der gleichen Größenordnung wie bei der INTERGEO 2001 in Köln.

Den Veranstaltern des DVW, der Firma HINTE Messe- und Ausstellungs-GmbH, verantwortlich für die Organisation, und dem Kongressdirektor WERNER GROSS sei hier Dank und Anerkennung ausgesprochen für eine gelungene erstklassige Fachveranstaltung des Vermessungswesens.

KLAUS SZANGOLIES, Jena

„Am Puls von Raum und Zeit“ 50 Jahre Deutsche Geodätische Kommission (DGK)

Die *Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften* (DGK) konnte im Jahre 2002 ihr 50-jähriges Bestehen feiern. Höhepunkt des Jubiläumjahres war eine Festveranstaltung, die am 25. Oktober 2002 in den Räumen der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in München stattfand.

Die Gründung der DGK war Teil der Neustrukturierung des deutschen Vermessungswesens als Folge des Zweiten Weltkrieges. Im Jahre 1949, in dem bereits die *Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie* in München neu gegründet worden war, haben Vertreter der geodätischen Wissenschaften auch die Gründung einer *Deutschen Geodätischen Kommission* vorbereitet. Am 8. Dezember 1950 kam es zur Gründungsversammlung in München, an der 11 Professoren teilgenommen haben. Die Photogrammetrie war von Anbeginn in der DGK vertreten, denn an der Gründung hatten RICHARD FINSTERWALDER, ERNST GOTTHARDT und GERHARD LEHMANN mitgewirkt, OTTO LACMANN ist unmittelbar nach der Gründung Mitglied geworden. Die DGK konnte keine Kommission der Bayerischen Akademie werden, sondern erhielt den Status einer Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Als solche wurde sie am 9. Juni 1952 beim Amtsgericht München in das Vereinsregister eingetragen. Dieser Zeitpunkt gilt – trotz des zwei Jahre früheren Gründungsbeschlusses – als offizielles Gründungsdatum der DGK.

Zu den Aufgaben der Kommission gehörte es, geodätische Forschungsarbeiten zu koordinieren und zu unterstützen, die Bundesrepublik Deutschland in internationalen Gremien zu vertreten, die Veröffentlichung von Forschungsergebnissen zu ermöglichen und vor allem ein Forschungsinstitut für alle Gebiete des Vermessungswesens – einschließlich Photogrammetrie und Kartographie – zu betreiben. Deshalb entstand ebenfalls im Jahre 1952 das *Deutsche Geodätische Forschungsinstitut* (DGFI), dessen erste Abteilung in München angesiedelt wurde und

dessen zweite Abteilung als *Institut für Angewandte Geodäsie* (IfAG) nach Frankfurt am Main zog. Im Jahre 1997 ist aus dem IfAG das *Bundesamt für Kartographie und Geodäsie* (BKG) hervorgegangen, so dass das DGFI jetzt auf München beschränkt ist. Gleichwohl verbleiben enge Verbindungen zwischen der DGK und dem BKG.

Von unschätzbarem Wert sind die Veröffentlichungsreihen der DGK; allein die Reihe C, in der auch viele Dissertationen und Habilitationsschriften zur Photogrammetrie erschienen sind, umfasst inzwischen weit über 500 Hefte. In der jüngeren Zeit hat sich die Kommission verstärkt um die Weiterentwicklung der geodätischen Lehre und eine bessere Information der Öffentlichkeit über *Geodäsie und Geoinformation* bemüht.

In diesem Sinne war auch die Jubiläumsveranstaltung „Am Puls von Raum und Zeit“ vom 25. Oktober 2002 konzipiert. Den Festakt am Vormittag eröffnete der Präsident der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Prof. Dr. HEINRICH NÖTH. Die Festvorträge des Vorsitzenden, Prof. Dr.-Ing. HANS-PETER BÄHR, über „*Geodäsie – Orientierung im Spannungsfeld der Gesellschaft*“ und des Altrektors der Technischen Universität Delft (Niederlande), Prof. Ir. KAREL WAKKER, über „*The European University in the 21st Century*“ waren Themen von weittragender Bedeutung gewidmet und haben interessante Thesen vermittelt. Die Fachvorträge am Nachmittag zeigten in sehr anschaulicher Weise die große Spannweite der Fachrichtung auf: „*Die Entwicklung der geodätischen Referenzsysteme*“ (Prof. Dr.-Ing. HERMANN DREWES), „*Photogrammetrie und Fernerkundung – vom Elektronenmikroskop bis zur Planetenbeobachtung*“ (Prof. Dr.-Ing. CHRISTIAN HEIPKE), „*Bodenordnung und Landentwicklung – Beiträge zu einer nachhaltige(re)n und gerechte(re)n Welt*“ (Prof. Dr.-Ing. HOLGER MAGEL), „*Satellitenmissionen – Chancen und Herausforderungen für die Physikalische Geodäsie*“ (Dr.-Ing. WOLFGANG BOSCH), „*Ingenieurgeodäsie für den einfachen Fall $n = 4$* “ (Prof. Dr.-Ing. HARALD SCHLEMMER), „*Zur Entwicklung und Nutzung von Geodiensten*“ (Prof. Dr.-Ing. LIQIU MENG).

Durch diese Vorträge wurde die Jubiläumsveranstaltung zu einem eindrucksvollen Beweis für die umfassende Bedeutung von Geodäsie und Geoinformation in unserer Gesellschaft. „*Am Puls von Raum und Zeit*“ wird deshalb auch der Titel der Festschrift sein, die zum Ausklang des Jubiläumsjahres erscheinen soll.

JÖRG ALBERTZ, Berlin

Joint ISPRS – CNES Initiative:

“HRS Study Team” for assessing DEM production with HRS data

Background

Following the launch of SPOT 5 on May 4th 2002 all instruments on board of the satellite have been tested during the commissioning phase and declared operational. The assessment of the High Resolution Stereoscopic instrument (HRS), made by CNES with Spot Image and IGN Espace, has proven that high accuracy DEM could be derived from HRS data. The DEM derived from HRS could be acquired from Spot Image but HRS raw data are not delivered with the DEM. Nevertheless CNES and Spot Image have agreed to satisfy scientific requests from the photogrammetric and remote sensing community to test the capability of HRS data for DEM production. For this purpose HRS data will be made available for an international HRS assessment project.

An offer by CNES to use the framework of ISPRS for this international assessment project was accepted by ISPRS Council and a first announcement of this project was made during the ISPRS Commission I Symposium at Denver in November 2002.

The HRS Scientific Assessment Program (HRS SAP)

Objectives

The HRS Scientific Assessment Program should allow the user community, within ISPRS, the opportunity to test HRS data,

not usually available, for generating DEM and for comparison with other DEM generation methods appropriate for their application domain. It should provide CNES an international scientific performance assessment of the HRS which will be taken into account in future programs.

Organization

This program will be jointly organized by ISPRS and CNES within an “HRS Study Team”. This Study Team is open to ISPRS Working Group members (and especially to participants of WG I/2 activities on “Sensor Calibration and Testing”) who are accepting its rules and obligations. (See below.)

The Study Team is managed by a Secretariat, co-chaired by Manfred Schroeder (ISPRS Chair WG I/2) and Alain Baudoin (CNES). Members of the Study Team are either Principal Investigators if they can provide to the Study Team, reference data (Ground Control Points, accurate DEM, ..) on a test area, or Co-Investigators if they work on the same data of a PI.

The Study Team Secretariat will coordinate and support the research activities of the Study Team members.

Main steps and schedule

The assessment program will be performed in five steps with the following tentative schedule:

- 1) HRS Study Team constitution (with Principal Investigators) – Definition of the HRS data set, to be acquired on known areas (where accurate reference data is available): by March 2003
- 2) Acquisition and delivery of the HRS data (by Spot Image on behalf of CNES) to Principal Investigators and agreements with Co-Investigators: by August 2003
- 3) Provision of ground reference data by Study Team Members: by August 2003
- 4) Exploitation and assessment of HRS data: according to investigators timing (beginning 2004).

5) Reports to the Study Team and results presentation to ISPRS at ISPRS Congress in Istanbul (July 2004). First results could be presented in the SPOT 5 Colloquium (to be organized at the end of 2003).

HRS Study Team rules and obligations of its members

The HRS Study Team is open to ISPRS members who will accept the following rules and obligations:

A membership solicitation should be sent to the HRS Study Team Secretariat before February 15th 2003 (see application form) either to be a Principal Investigator or a Co-Investigator of the HRS assessment program.

Members will be accepted by the Secretariat if they agree to use HRS data on commonly agreed areas and to share with other members of the HRS Study Team these HRS data and Ground Reference data.

CNES with Spot Image and IGN will make their best effort to acquire HRS data on test areas defined commonly with the Principal Investigators. They will provide, free of charge, HRS data and related auxiliary data to those Principal Investigators.

The Principal Investigators agree to deliver, free of charge, HRS and Ground Reference data to any other member of the HRS Study Team.

The Principal Investigators and the Co-Investigators agree to use the HRS and ground reference data only for scientific purposes.

All members of the HRS Study Team agree to deliver to its Secretariat:

- DEM derived from HRS
- a report describing methods used for the generation of DEM and any other derived products (slopes, etc.)

and to present results of his/her assessment at a dedicated ISPRS workshop or at the ISPRS Congress 2004 in Istanbul.

They accept the use of their DEM data derived from HRS, (for example for comparison studies) by any other member of the HRS Study Team.

Membership request (for Principal Investigators)

Send your request to: alain.baudoin@cnes.fr and Manfred.Schroeder@dlr.de with the following information:

- Name, organization, address, phone and fax numbers, e-mail
 - Area of interest (geographical coordinates)
 - Available Ground Reference data, which could be shared with other HRS Study Team members
- and with your acceptance of the HRS Study Team rules and obligations.

MANFRED SCHROEDER, Oberpfaffenhofen

Kompetenzzentrum Geoinformatik in Niedersachsen »GiN« gegründet

Die Aufgaben von GiN

Die Geoinformatik (GI) ist die wissenschaftliche Disziplin zur Erfassung und Analyse von Geoinformationen und zur Entwicklung von Geoinformationssystemen (GIS). Die Geoinformatik bietet somit das Know-how und die technologische Basis für den Zugriff auf weltweit erhobene Raumbezogene Daten und Methoden ihrer Verarbeitung.

Innovative Netzwerke innerhalb der Wissenschaft, aber auch zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und öffentlichen Verwaltungen werden zukünftig auf Lösungen Raumbezogener Fragestellungen angewiesen sein. Dabei geht es sowohl um die Erarbeitung von Grundlagenwissen zu innovativen Basistechnologien als auch um die Umsetzung dieses Potentials in volkswirtschaftlichen Nutzen.

Das interdisziplinäre Kompetenznetzwerk „Geoinformatik in Niedersachsen (GiN)“ stellt einen deutlichen Vorstoß in Richtung Kooperation und Koordination des Geoinformatik Know-hows dar. GiN wird von Hochschulen in Niedersachsen getragen und wird damit wesentlich zur Stärkung der IT-Kompetenz beitragen.

Wissenschaftlicher Leiter des Kompetenznetzes ist Prof. Dr. MANFRED EHLERS vom Forschungszentrum für Geoinformatik und Fernerkundung der Hochschule Vechta. Weitere Partner sind das Fachgebiet Geographie der Universität Osnabrück, der Fachbereich Bauwesen und Geoinformation der Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven sowie das Institut für Photogrammetrie, das Institut für Kartographie und Geoinformatik, beide an der Universität Hannover und das OFFIS an der Universität Oldenburg, wo die administrative Abwicklung erfolgt.

Was kann GiN für Sie tun?

GiN hat sich folgende Aufgaben gestellt:

- Wissenstransfer von den Hochschulen in die Industrie und in kommunale Gebietskörperschaften

- Geoinformatik – Marktanalysen
- Aus- und Weiterbildung in Geoinformatik
- Durchführung von Workshops und Seminaren
- GI-Consulting für private Firmen und öffentliche Verwaltungen
- Beobachtung ausgeschriebener Förderprogramme sowie Koordination bzw. Bündelung der Geoinformatik-Forschung
- Durchführung von F&E Projekten

Wissenschaftlicher Leiter GiN:

Prof. Dr. MANFRED EHLERS

Geschäftsführer: Dr. MATTHIAS MÖLLER

Eichendorffweg 30, 49364 Vechta

Tel.: 04441-15 428, Fax: 04441-15 583

<http://www.gin-online.de>

e-mail: info@gin-online.de

Hochschulnachrichten

Technische Universität München (TUM)



www.remotesensing-tum.de/pia03

Die ISPRS Konferenz „Photogrammetric Image Analysis“ PIA '03 wendet sich an Forscher und Anwender von Universitäten,

Forschungsinstituten, aus der Industrie, der Verwaltung und von Ingenieurbüros aus folgenden Bereichen:

- Automatische und halbautomatische Objektextraktion
- Modelle und Strategien für Objektextraktion aus Luft- und Satellitenbildern, Oberflächenmodellen, sowie aus Bildern von Videokameras und Laserscannerdaten
- Sensor- und Datenfusion inklusive der Nutzung der Information aus GIS- und CAD-Systemen
- Generierung digitaler Oberflächenmodelle und Shape-from-X
- Automatische Sensororientierung und -kalibrierung, Image Based Rendering, und Erweiterte Realität
- Integration und Interaktion von digitalen Systemen für Bildanalyse und GIS
- Industrielle Bildverarbeitungssysteme inkl. Echtzeitobjekterkennung
- Qualitätskontrolle und Evaluierung von Ansätzen

PIA '03 ist die Folgekonferenz der 1999 an der TUM abgehaltenen Konferenz „Automatic Extraction of GIS Objects from Digital Imagery“. Damals wurde zum ersten Mal in der Geschichte der ISPRS ein Double Blind Review durchgeführt. Dies hat sich, wie das diesjährige Symposium der Kommission III der ISPRS in Graz gezeigt hat, bewährt und kommt auch in dieser Konferenz zur Anwendung.

Maximal sechsstufige Vorträge müssen bis zum **17. März 2003** eingereicht werden. Die Benachrichtigung über die Annahme des Papiers erfolgt ab dem 2. Juni 2003. Weitere Information finden Sie unter www.remotesensing-tum.de/pia03. Oder senden Sie uns eine e-mail an pia03@remotesensing-tum.de. Wir würden uns freuen, Sie in München begrüßen zu dürfen.

HELMUT MAYER, München

Persönliches

Professor PETER WALDHÄUSL zum 70. Geburtstag



Prof. Dr. PETER WALDHÄUSL feierte seinen 70. Geburtstag mit einer Bergtour auf den Großvenediger. Das Bild zeigt ihn – umringt von seinen Freunden – auf dem 3670 m hohen Gipfel. Das übliche Klischee eines 70-Jährigen trifft also auf PETER WALDHÄUSL nicht zu. Er erfreut sich bester Gesundheit und ist auch beruflich aktiv wie am Höhe-

punkt einer beruflichen Laufbahn. Bis Ende 2002 war er noch Präsident des CIPA, des Internationalen Komitees für Architekturphotogrammetrie. Seit Kurzem bevorzugt man die Bezeichnung „CIPA-Heritage Documentation“. In seiner Amtszeit (seit 1998) wurde das CIPA zu einer Brücke zwischen Informationstechnik und Kulturerbe ausge-

baut. In seiner Amtszeit wurde auch die Brückenfunktion zwischen ICOMOS (International Council on Monuments and Sites) und ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) bei der Dokumentation des kulturellen Erbes weiter gestärkt. Sozusagen als Vorspann für das sehr gelungene 18. CIPA-Symposium in Potsdam im September vergangenen Jahres, an dem 241 Experten aus 31 Ländern teilgenommen haben (PFG-Heft 4/2002, S. 297–298), hat PETER WALDHÄUSL das sehr weite Betätigungsfeld des neuen CIPA im PFG-Heft 4/2001, S. 237–246, ausführlich dargelegt.

Die wichtigsten Stationen seines privaten und beruflichen Lebensweges sollen im Folgenden nur stichwortartig aufgezählt werden:

- Geboren am 30. 7. 1932 in Leipzig.
- Nach dem Studium des Vermessungswesens an der TH Wien in der Abteilung für Photogrammetrie war er am Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen tätig.
- Anschließend Hochschulassistent am Institut für Photogrammetrie der TU Wien.
- 1968 Promotion und 1975 Habilitation.
- 1969/70 als Photogrammetrie-Experte in Saudi-Arabien.
- Mehr als 150 Gutachten als gerichtlich beideter Sachverständiger.
- Vorsitzender der Studienkommission für Vermessungswesen und Mitglied des akademischen Senates der TU Wien.
- Aufnahme in Dreierorschlägen für Berufungen auf ein Ordinariat; die Bindung an Wien war immer stärker.
- Verheiratet, 3 Kinder und ein Enkelkind.

Eine gesonderte Erwähnung verdient noch sein Beitrag zum 18. ISPRS-Kongress 1996 in Wien. Als Programmdirektor war er unter anderem für das Management der 800 Beiträge in 117 Sitzungen (davon 36 Postersitzungen) und der Herausgabe des Bandes XXXI (sieben B-Teile und der besonders gelungene A-Teil) des Internationalen Archives für Photogrammetrie und Fernerkundung verantwortlich.

Seine große internationale Reputation kam auch beim Festkolloquium anlässlich seiner Emeritierung und eines damit verbun-

denen Symposiums „Tourism: Preserving World Heritage for the New Millennium“ im Schloss Schönbrunn am 27. September 1999 zum Ausdruck. Es waren Kollegen und Freunde aus 14 Ländern zu diesem Anlass zugegen. Im Heft 55 der Geowissenschaftlichen Mitteilungen der TU Wien wird über dieses Ereignis ausführlich berichtet. Dieses Heft enthält auch seinen detaillierten Lebenslauf und sein umfangreiches Publikationsverzeichnis.

Die Leser dieser Zeitschrift und die DGPF wünschen Herrn PETER WALDHÄUSL weiterhin Freude an seinem Beruf, die sich darin ausdrückt, dass er weiterhin nahezu jeden Tag ans Wiener Institut kommt und mittels Internet Wichtiges und Unwichtiges mit seinen Partnern im Netzwerk austauschen kann. Seine e-mail Adresse: pw@ipf.tuwien.ac.at; die CIPA-Homepage: <http://cipa.icomos.org/>

KARL KRAUS, Wien

RUDOLF FÖRSTNER 90 Jahre

Am 15. Oktober 2002 hat Professor Dr.-Ing. RUDOLF FÖRSTNER sein 90. Lebensjahr vollendet. Der Vorstand der DGPF und die Schriftleitung der PFG schließen sich den Gratulanten an und erinnern zugleich daran, dass ein zweites Jubiläum bald folgt, denn am 11. Februar 2003 kann RUDOLF FÖRSTNER sein 60-jähriges Doktor-Jubiläum feiern. Der Lebensweg und die fachlichen Verdienste des Jubilars wurden in der Zeitschrift der DGPF vor zehn Jahren (ZPF 1993, S. 204–206) und bei früheren Anlässen (u. a. BUL 1983, S. 37–39) ausführlich gewürdigt. Deshalb sollen hier nur die wichtigsten Daten genannt werden.

Geboren wurde RUDOLF FÖRSTNER in Geislingen an der Steige als Sohn des dortigen „Oberamtsgeometers“. Nach dem Studium an der TH Stuttgart absolvierte er die Referendarzeit und legte 1938 die Große Staatsprüfung ab. Danach wurde er Mitarbeiter der Hansa Luftbild GmbH in Berlin, ein Schritt, der seine Spezialisierung auf die Photogrammetrie und seinen weiteren Lebensweg entscheidend bestimmte. Die Tä-

tigkeit im Rahmen der seinerzeit weltweit größten Luftbildfirma bot ihm neben den praktischen Aufgaben auch reichen Stoff für seine wissenschaftlichen Ambitionen. Zur Bestimmung der erforderlichen Passpunkte nutzte man damals in großem Umfang die optische Streckenmessung mit der Basislatte. RUDOLF FÖRSTNER widmete sich – von seiner praktischen Erfahrung ausgehend – den wissenschaftlichen Fragen des Verfahrens und promovierte im Februar 1943 mit der Dissertation „*Passpunktbestimmung – Ein Beitrag zur indirekten Streckenmessung*“ an der Technischen Hochschule Berlin. Ein anderer Schwerpunkt waren umfangreiche Studien zur Radialschlitztriangulation, die zu seiner Habilitationsschrift „*Richtungsfehler geneigter Luftaufnahmen bei der Radialtriangulation*“ führten. FÖRSTNER hat sie im Januar 1945 an der TH Stuttgart eingereicht, abgeschlossen wurde das Habilitationsverfahren aber erst 1947. Im Jahre 1957 wurde er dann zum apl. Professor an der TH Stuttgart ernannt; daneben hat er viele Jahre auch einen Lehrauftrag an der Universität Frankfurt/Main wahrgenommen.

Ein weiterer Schritt von ausschlaggebender Bedeutung in RUDOLF FÖRSTNERS beruflicher Karriere war der Eintritt in das neu gegründete *Institut für Angewandte Geodäsie* (IfAG) in Frankfurt am Main im Jahre 1953. Er übernahm dort die Leitung der photogrammetrischen Abteilung, die er 18 Jahre lang führte. Die Zeit war geprägt von der Vervollkommnung der Analogphotogrammetrie, der photogrammetrischen

Punktbestimmung und der Entwicklung der Orthophototechnik.

Einen hohen Stellenwert hatte das Engagement in der OEEPE, wo FÖRSTNER viele Jahre der Kommission C (*Großmaßstäbige Karten und Katastervermessung*) als Präsident vorstand. In diese Zeit fallen die umfangreichen Versuchsmessungen „*Reichenbach*“ zur Punktbestimmung in bergigem Gelände. Wesentlichen Anteil hatte er auch an dem von Prof. ACKERMANN geleiteten Projekt „*Oberschwaben*“ der Kommission A, die Genauigkeiten der Aerotriangulation betreffend. Den beruflichen Höhepunkt erreichte RUDOLF FÖRSTNER mit der Ernennung zum Direktor des Instituts für Angewandte Geodäsie im Februar 1974. In seine Amtszeit fielen entscheidende Schritte für den zweiten Neubauschnitt des IfAG auf dem Gelände der Villa Mumm in Frankfurt. Bei seiner Verabschiedung als Direktor im Jahre 1977 wurden die Verdienste des Jubilars u. a. mit der Verleihung des Bundesverdienstkreuzes gewürdigt. Dieses kurze Bild der Persönlichkeit von RUDOLF FÖRSTNER wäre unvollständig, wenn nicht auch seine große Liebe zur Musik und sein Engagement in der Kommunalpolitik seines Wohnortes Bad Soden im Taunus genannt würden.

Die guten Wünsche seiner Fachkollegen, seiner früheren Mitarbeiter und Schüler begleiten ihn auch in seinem neuen Lebensjahrzehnt.

JÖRG ALBERTZ, Berlin

Mitteilungen der DGPF

PFG – Neuerungen

Mit Wirkung vom 1. Januar 2003 treten bei der Zeitschrift PFG folgende Änderungen in Kraft:

– Ein neuer *Redaktionsbeirat* und eine veränderte *Schriftleitung* sollen die erweiterten Anforderungen der Deutschen Gesellschaft

für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V. an die gestiegenen Aufgaben erfüllen.

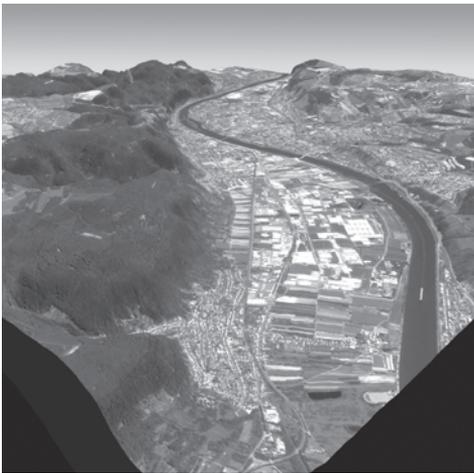
– Vor der Bestätigung und Drucklegung von Originalbeiträgen erfolgt eine *zweifache anonyme Begutachtung* (Double Blind Review). Dieses Verfahren wird bei anderen

wissenschaftlichen Zeitschriften seit einiger Zeit mit Erfolg praktiziert. Es soll zu einer weiteren Erhöhung des wissenschaftlich-technischen Niveaus der PFG beitragen.

– Einführung von **Keywords** zur einfacheren Einordnung von Beiträgen in internationale Dateien und Suchmaschinen.

Mit diesen Maßnahmen sollen auch bessere Voraussetzungen geschaffen werden für die geplante Aufnahme der PFG in die weltweite **ISI® Database** des *Institute for Scientific Information* in Philadelphia.

Zum Titelbild



Dreidimensionale Darstellung der Trierer Talweite mit Blick von Südwest Richtung Nordost. Am Prallhang der Mosel ist die Buntsandstein-Bruchstufe deutlich ausgebildet. Das eigentliche Zentrum der Stadt Trier liegt im Moselbogen auf der Niederterrasse. Insbesondere am rechten Bildrand sind deutlich die verschiedenen ehemaligen Terrassen-Niveaus der Mosel erkennbar. Die Universität Trier liegt rechts oberhalb des Steilhangs auf der Hauptterrasse. Auffällig sind zudem die südwestlich exponierten, steilen Weinbergslagen.

Die multispektrale IKONOS-2-Aufnahme vom 13. 6. 2000 liegt nach ihrer geometrischen Entzerrung mit einer geometrischen Auflösung von 2 m · 2 m vor. Da die Aufnahme in Schrägsichtperspektive (Azimuth: 177°, Aufnahmewinkel 65°) entstand und

keine detaillierten Orbitdaten zur Verfügung standen, mussten die zur Orientierung und Georeferenzierung notwendigen Informationen mittels differenziell eingemessener Geländepasspunkte ermittelt werden. Die Orthorektifizierung unter Einbindung des digitalen Höhenmodells wurde freundlicherweise von Dr. THIERRY TOUTIN vom Canada Centre for Remote Sensing in Ottawa im Rahmen einer Kooperationsvereinbarung mit der Abteilung Fernerkundung der Universität Trier durchgeführt (s. dazu auch TOUTIN, T. & CHENG, P., 2001: Entmystifizierung von IKONOS, PFG, 3, 171–176). Das zur Darstellung verwendete digitale Höhenmodell wurde ebenso wie die IKONOS-Szene im Rahmen des SFB 522: „Umwelt und Region“ an der Universität Trier angeschafft. Es wurde vom Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz in einer geometrischen Auflösung von 20 m · 20 m zur Verfügung gestellt und liefert die Höheninformationen für die dreidimensionale Darstellung (diese Geobasisdaten werden veröffentlicht mit Erlaubnis des Landesvermessungsamtes Rheinland-Pfalz vom 06.10.2000, Az.: 26722-1.11). Das Bild selbst wurde erzeugt mit Erdas Imagine® 8.5 Virtual GIS und ist 2,3-fach überhöht.

Thematisch sind die IKONOS-Daten eingebunden in Untersuchungen zur Ableitung der Flächenversiegelung in städtischen Räumen und Siedlungsstrukturen in hochwassergefährdeten Gebieten der Region Trier.

ACHIM RÖDER, Trier

Neuerscheinungen

- JESKO SCHAPER, 2000: Fernerkundungs-basierte Kartierung von Schnee- und Eisflächen hochalpiner Gebiete. Ein Beitrag zur Abflussmodellierung und Bewertung der Auswirkungen potentieller Klimaänderungen. Dissertation 2001. 100 S., RSL Remote Sensing Laboratories, Department of Geography, University of Zurich. Winterthurerstr. 190, CH-8057 Zürich. <http://www.geo.unizh.ch>, Remote Sensing Series, Vol. 34. ISBN 3-03703-000-3
- HILKO HOFFMANN, 2000: Realistische Darstellung atmosphärischer Effekte in interaktiven 3-D-Landschaftsvisualisierungen. Dissertation 2001. 181 S., RSL Remote Sensing Laboratories, Department of Geography, University of Zurich. Winterthurerstr. 190, CH-8057 Zürich. <http://www.geo.unizh.ch>, Remote Sensing Series, Vol. 35 (CD ROM).
- PETER A. KELLER, 2001: Image Spectroscopy of Lake Water Quality Parameters. Dissertation 2001. 161 S., RSL Remote Sensing Laboratories, Department of Geography, University of Zurich. Winterthurerstr. 190, CH-8057 Zürich. <http://www.geo.unizh.ch>, Remote Sensing Series, Vol. 36. ISBN 3-03703-002-X
- ULRICH BEISL, 2001: Correction of Bidirectional Effects in Imaging Spectrometer Data. Dissertation 2001. 189 S., RSL Remote Sensing Laboratories, Department of Geography, University of Zurich. Winterthurerstr. 190, CH-8057 Zürich. <http://www.geo.unizh.ch>, Remote Sensing Series, Vol. 37. ISBN 3-03703-001-1
- LOTHAR BECKEL, (Hrsg.) 2001: Mega Cities. Ein Beitrag der Europäischen Raumfahrtagentur zum besseren Verständnis einer globalen Herausforderung. 263 S., Geospace Verlag, Salzburg. Bezug: <http://geospace.co.at>, ISBN 3-85313-061-5. € 52,-
- JENS PIESBERGEN, 2002: ERS-1 SAR-Verarbeitungs- und Datenfusionsmethoden zur Schneekartierung im Hochgebirge. Dissertation 2001. 170 S., RSL Remote Sensing Laboratories, Department of Geography, University of Zurich. Winterthurerstr. 190, CH-8057 Zürich. <http://www.geo.unizh.ch>, Remote Sensing Series, Vol. 33. ISBN 3-03703-003-8
- MATHIAS KNEUBÜHLER, 2002: Spectral Assessment of Crop Phenology Based on Spring Wheat and Winter Barley. Dissertation 2002. 149 S., RSL Remote Sensing Laboratories, Department of Geography, University of Zurich. Winterthurerstr. 190, CH-8057 Zürich. <http://www.geo.unizh.ch>, Remote Sensing Series, Vol. 38. ISBN 3-03703-004-6
- ELLEN SALLET, 2002: Fachwörterbuch Fernerkundung und Geoinformation. Englisch-Deutsch. XVI, 250 S., gebunden. Hüthig Fachverlage, Im Weiher 10, 69121 Heidelberg, e-mail: kundenservice@huethig.de. ISBN 3-87907-378-3. € 56,-
- THOMAS LUHMANN (Hrsg.), 2002: Photogrammetrie und Laserscanning. Anwendung für As-Built-Dokumentation und Facility Management. VIII, 186 S., Softcover. Hüthig Fachverlage, Im Weiher 10, 69121 Heidelberg, e-mail: kundenservice@huethig.de. ISBN 3-87907-390-2 € 40,-
- KIRA B. SHINGAREVA & EGON DORRER, 2002: Space Activity in Russia – Background, Current State, Perspectives. 140 S., kartoniert. Schriftenreihe der Universität der Bundeswehr München, Heft 75. Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg. ISSN 0173-1009.