

PRG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

Organ der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie
und Fernerkundung e.V.

Jahrgang 2001, Heft 2

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

Schriftleiter:
Prof. Dr. Franz K. List und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert

Redaktionsbeirat (Editorial Board): Jörg Albertz, Hans-Peter Bähr, Manfred F. Buchroithner, Ákos Detreköi, Egon Dorrer, Heinrich Ebner, Manfred Ehlers, Wolfgang Förstner, Dieter Fritsch, Armin Grün, Dierk Hobbie, Joachim Höhle, Hermann Kaufmann, Barbara Koch, Gottfried Konecny, Karl Kraus, Thomas Luhmann, Martien Molenaar, Karl Regensburger, Heinz Schmidt-Falkenberg und Bernhard P. Wrobel



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2001



DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR PHOTOGRAMMETRIE
UND FERNERKUNDUNG E.V.
Gegründet 1909

Die *Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung 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:

© 2001 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung 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.: 0711/625001, Fax: 0711/625005, 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: Prof. Dr. Franz K. List, Freie Universität Berlin, Institut für Geologie, Geophysik und Geoinformation, Malteserstr. 74-100, D-12249 Berlin, e-mail, fklist@zedat.fu-berlin.de und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessungsamt Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 103, D-14473 Potsdam, e-mail: eckhardt.seyfert@lvermap.brandenburg.de

Erscheinungsweise: 6 Hefte pro Jahrgang.

Bezugspreis im Abonnement: DM 158,00 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.: 0711/625001; Fax: 0711/625005. e-mail: mail@schweizerbart.de

ab Jahrgang 2000: Bernhard Harzer Verlag GmbH, Westmarkstraße 59/59a, D-76227 Karlsruhe, Tel.: 0721/944020, Fax 0721/9440230, e-mail: Info@harzer.de, Internet: www.harzer.de

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

PFG – Jahrgang 2001, Heft 2

Inhaltsverzeichnis

Originalbeiträge

SCHIEWE, J.: Ein regionen-basiertes Verfahren zur Extraktion der Geländeoberfläche aus Digitalen Oberflächen-Modellen	81
MÖLLER, M.: Verfahren der digitalen Reliefanalyse und Satellitenbildauswertung für die Bodenkartierung des Zielmaßstabes 1 : 50 000 am Beispiel des Blattes Könnern	91
KÖHL, M. & LAUTNER, M.: Erfassung von Waldökosystemen durch Hyperpektraldaten	107
HAMACHER, M., RADEMACHER, I., HAWLITSCHKA, S. & KÜHBAUCH, W.: Erkennung landwirtschaftlicher Nutzpflanzenbestände mittels multi-temporalen ERS-1/-2 Radaraufnahmen	119
BORKOWSKI, A. & MEIER, S.: Robustification of Tangent Angle Function Snakes	129

Berichte und Mitteilungen

Berichte

InGeo Information Center (Hessisches LVA)	137
GEOSYSTEMS User Group Meeting	137

Persönliches

Professor THOMAS LUHMANN	138
Dipl.-Ing. HEINZ GRUNER zur Erinnerung	139

Hochschulnachrichten

TU Dresden — H.J. ORTHABER	141
----------------------------------	-----

Vorankündigungen	142
------------------------	-----

Buchbesprechungen

Photogrammetrie, Bd. 3 von K. KRAUS	143
Strategisches GIS-Management, F.-J. BEHR	145
Radar-Altmetrie, H.-G. GIERLOFF-EMDEN	146

Neuerscheinungen	147
------------------------	-----

Zum Titelbild: Topographische Satellitenbildkarte Deutschland (G. SCHMITT)	150
--	-----

Ein regionen-basiertes Verfahren zur Extraktion der Geländeoberfläche aus Digitalen Oberflächen-Modellen

JOCHEN SCHIEWE, Vechta

Zusammenfassung: Es wird ein neuartiger Ansatz zur Extraktion der Geländeoberfläche aus einem Digitalen Oberflächen-Modell vorgestellt. Dieses multi-skalige Verfahren nimmt nach einer regionen-basierten Segmentierung eine Klassifizierung basierend auf einem fuzzy-logic Ansatz vor, um solche Bereiche zu trennen, deren Höhen reduziert oder beibehalten werden müssen. Hierbei werden Steigungs- und Krümmungs-Indikatoren berücksichtigt. Anhand von Höhendaten, die durch Laserscanning bzw. durch automatisches Matching gewonnen wurden, wird die Eignung dieses Ansatzes überprüft.

Summary: *A region-based approach for the extraction of the terrain surface from Digital Surface Models. A novel approach for the extraction of the terrain surface from a Digital Surface Model is presented. This multi-scale method starts with a region-based segmentation and performs a classification based on a fuzzy logic approach in order to differentiate between surfaces whose heights have to be reduced or to be kept unchanged. For these tasks indicators based on corresponding slopes and curvatures are considered. Using heights from laserscanning and Digital Surface Model derived from automatical matching, resp., the suitability of this approach is examined.*

1 Einleitung

Die Notwendigkeit von Höheninformationen zur Modellierung und zum Monitoring umweltrelevanter Prozesse, im Bereich der Herstellung von digitalen oder analogen topographisch-kartographischen Datenbanken, zur Navigation oder zu Visualisierungszwecken ist unumstritten. Demgegenüber steht die relativ geringe Verfügbarkeit von Digitalen Höhen-Modellen. So waren nach einer Statistik der Vereinten Nationen 1993 weltweit nur 12% der Erdoberfläche derart mit Höhendaten abgedeckt, dass Kartierungsansprüchen im Maßstab 1 : 25000 entsprochen werden konnte.

Die Entwicklungen und erfolgreichen Einsätze flugzeug- und satellitengetragener Fernerkundungssensoren mit gesteigerten technischen Charakteristika ist ein erster Schritt hin zu einer besseren Verfügbarkeit von Höhendaten. Die teilweise simultane Aufnahme von optischen Bilddaten sowie die weiter entwickelten Fusionsverfahren ermöglichen prinzipiell eine integrative Aus-

wertung von Bild- und Höhendaten. Im Gegensatz zur visuellen Bildauswertung ist diese Integration in rechnergestützten oder rechnerischen Ansätzen aber noch nicht zufrieden stellend gelöst worden. Ein Grund hierfür ist die begrenzte Zuverlässigkeit der digitalen Höhendaten, der Verfahren zu deren Erzeugung (z.B. dem automatischen Matching; GRÜN et al. 2000) oder zur automatischen Grobfehlersuche.

Im Folgenden soll ein weiteres methodisches Problem behandelt werden – die automatische Extraktion der Geländeoberfläche aus einem aufgezeichneten Digitalen Oberflächen-Modell, die für nachfolgende Operationen, z.B. für die Modellierung von Stofftransporten oder – nach einer Normalisierung – zu Objektextraktionen, notwendig ist. Nach einer kurzen Abhandlung der notwendigen Terminologie (Kap. 2) soll aufbauend auf eine Aufarbeitung bisheriger Ansätze (Kap. 3) ein neuartiges, multi-skaliges Verfahren zur Normalisierung vorgestellt werden, das nach einer regionen-basierten Segmentierung eine Klassifizierung

in zu reduzierende oder beizubehaltende Gebiete auf Basis eines fuzzy-logic-Ansatzes vornimmt (Kap. 4). An zwei unterschiedlichen Höhen-Datensätzen (abgeleitet aus Laserscanning bzw. automatischem Matching) wird die Eignung des Verfahrens diskutiert (Kap. 5).

2 Terminologie

In der Regel erfassen Fernerkundungssensoren die jeweils größten Höhenwerte an einem Ort, deren Zusammenstellung als Digitales Oberflächen-Modell (DOM) bezeichnet wird. Da für die weitere Nutzung entweder

- über der Geländeoberfläche stehende Objekte (Häuser, Bäume) nicht von Interesse bzw. störend sind (z. B. bei der Modellierung von Stofftransporten),
- oder aber deren absolute Werte über einem Referenzniveau (d.h. deren Objekthöhen) bestimmt werden sollen (z. B. zur Modellierung von Gebäuden oder zur Unterscheidung von Wald- und Wiesenflächen),

sind entsprechende Transformationen des DOMs notwendig (Abb. 1). Gegenüber den Geländepunkten werden die Punkte bzw. Punktmengen oberhalb der Geländeoberfläche im Folgenden auch als *Reduktionspunkte bzw. -flächen* bezeichnet.

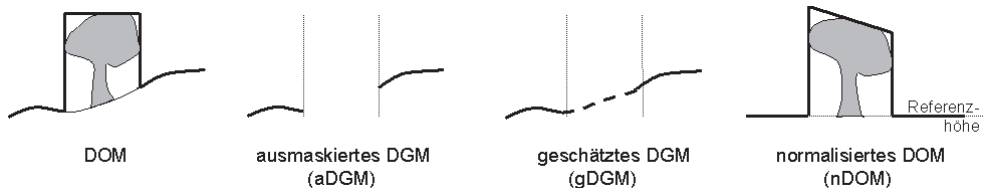


Abb. 1: Verschiedene Transformationen des Digitalen Oberflächen-Modells.

Für den erst genannten Fall werden die Reduktionspunkte oder -flächen nach ihrer Detektion auf einen unbestimmten Wert gesetzt, man erhält das *ausmaskierte Digitale Gelände-Modell (aDGM)*. Für den zweiten Fall der Objekthöhen-Bestimmung ist eine Differenzenbildung aus DOM und DGM (*Normalisierung*) notwendig. Da in der Praxis das DGM oft nicht erhältlich, nicht ausreichend genau bzw. zuverlässig oder in der Anschaffung zu teuer ist, müssen die im aDGM entstandenen Lücken zusätzlich durch ein Interpolationsverfahren geschlossen werden. Das daraus resultierende *geschätzte DGM (gDGM)*, kann nun vom DOM subtrahiert werden, um zum gewünschten *normalisierten DOM (nDOM)* zu gelangen.

3 Bisherige Arbeiten

Im Idealfall liegen zur Extraktion der Geländeoberfläche zuverlässige semantische

Informationen (z. B. aus existierenden GIS-Datenbanken) vor, die für eine visuelle oder automatische Bestimmung der Reduktionspunkte und -flächen herangezogen werden können. Müssen die Bilddaten zuvor noch klassifiziert werden, ergibt sich aber nicht nur ein erhöhter Zeitaufwand, sondern auch die Zuverlässigkeit der Klassifizierung an sich ist oft nicht ausreichend – u. a. deshalb, weil noch keine Objekthöhen in die Klassifizierung einfließen konnten.

Liegen aus operationellen Gründen keine Bilddaten vor, müssen rein geometrisch orientierte Verfahren verwendet werden. Hierzu gehören solche Methoden, die auf der **mathematischen Grauwert-Morphologie** basieren (WEIDNER & FÖRSTNER 1995). Hierbei wird ein *Opening* durchgeführt, das aus einer *Erosion* (d. h. einer Minimum-Filterung) und einer anschließenden *Dilation* (Maximal-Filterung) besteht. Die Größe des entsprechenden Fensters (des *Strukturelements W*) ist dabei konstant und muss so gewählt

werden, dass es nicht gänzlich in den Objekten oberhalb der Geländeoberfläche enthalten ist, die reduziert werden sollen. Als Ergebnis erhält man sofort ein geschätztes Digitales Gelände-Modell (gDGM), aus dem durch Vergleich mit dem originären DOM nachträglich auch ein ausmaskiertes DGM (aDGM) abgeleitet werden kann.

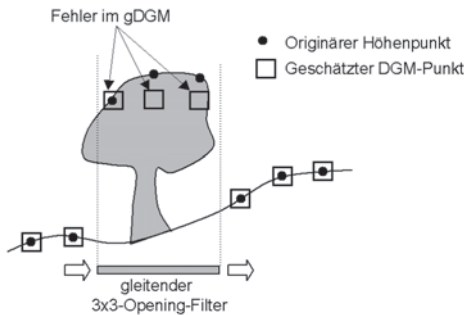


Abb. 2: Fehlklassifizierungen durch zu kleine Filtergröße beim klassischen Opening.

Die Probleme dieses Ansatzes bestehen insbesondere in der richtigen Wahl der Strukturelement-Größe: Wird sie zu klein gewählt, werden unerwünschte, hochgelegene Punkte (z.B. auf Bäumen oder Hausdächern) als Geländeoberfläche interpretiert, d.h. das geschätzte DGM wird zu hoch (und damit das nDOM zu klein) geschätzt (Abb. 2). Wird dagegen W zu groß gewählt, werden tatsächliche Geländeformen (z.B. Kuppen) eliminiert, d.h. das gDGM nähert sich dem globalen Minimum und somit wird das nDOM zu groß geschätzt.

Weiterhin berücksichtigt der morphologische Maßstabsraum nur horizontale Ausdehnungen, eine Reduktion wird unabhängig vom Höhenunterschied durchgeführt. Daher führen KILIAN et al. (1996) mehrere Openings mit unterschiedlichen Strukturelementgrößen und der Beachtung eines vertikalen Toleranzintervalls ein. Neben der Festlegung dieses Intervalls besteht ein Problem dieses Ansatzes in der Annahme, dass das unterliegende Gelände horizontal verläuft. – Aus diesem Grund gestaltet VOSSELMAN (2000) das Toleranzintervall als Funktion des Abstandes eines Punktes zu allen

anderen Punkten. Hier liegt die Idee zu Grunde, dass die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein hochgelegener Punkt nicht zum Gelände gehört, mit der Entfernung zu einem Bodenpunkt abnimmt. Die Bestimmung des Intervalls beruht idealerweise auf stochastischen Ansätzen, die allerdings die Einführung von geeigneten, am besten vom Nutzer zu definierenden Trainingsgebieten bedingen.

Ein alternativer geometrisch orientierter Ansatz zur DOM-Reduktion ist die **lineare Prädiktion** (KRAUS 1997; LOHMANN et al. 2000). Hier wird zu jedem Punkt eine Ausgleichsebene berechnet und die Differenzen der Originalhöhen zu diesem Trend betrachtet. Liegen die Abweichungen oberhalb eines Schwellwertes, werden diese Punkte eliminiert. Zur gDGM-Herstellung wird aus den übriggebliebenen Werten der Umgebung mit Hilfe einer Kovarianzfunktion ein Wert für das zentrale Pixel prädiziert, wobei die Kovarianzen reziprok zur Entfernung der betrachteten Nachbarpunkte abnehmen. Probleme bei diesem Ansatz ergeben sich insbesondere durch die Wahl der sensiblen Schwellwerte, insbesondere für die Umgebungsgröße, innerhalb der der Trend berechnet werden soll. Ferner werden nicht nur Einzelpunkte, sondern u. U. auch linienhafte Strukturen wie Dämme oder Bruchkanten fälschlicherweise eliminiert.

Weitere Verfahren, die z. B. auf der Häufigkeitsverteilung von Höhendifferenzen (SHI & SHIBASAKI 1996) oder auf dem Verfahren der konvex-konkaven Hülle (VON HANSEN & VÖGTLE 1999) beruhen, beinhalten ebenfalls abstrakte Schwellwerte und können keine befriedigende Ergebnisqualität nachweisen.

Ist eine Schätzung des gDGMs nicht schon im Laufe der Reduktion erfolgt (wie z.B. beim Opening), ist eine Interpolation notwendig, die idealerweise durch zusätzliche Informationen unterstützt wird (z.B. zur Bildung einer horizontalen Ebene für die Objektart Haus). Ansonsten sind lineare Interpolationen in zwei Richtungen mit einer anschließenden Mittelwertfilterung zur Elimination von Schachbrettmustern sinnvoll. Es bleibt aber festzuhalten, dass die Inter-

pulation zum gDGM die Realität i.d.R. nur genähert abbilden kann. Für einige Anwendungen (z.B. Wasserabfluss-Modellierungen) ist das aDGM vorzuziehen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass für die rein geometrisch orientierten Verfahren zur Extraktion der Geländeoberfläche hinsichtlich der Ergebnisqualität (insbesondere in geneigtem Gelände) sowie auf Grund der schwierigen Definition von teilweise abstrakten Schwellwerten weiterer Forschungsbedarf besteht.

4 Verfahrensbeschreibung

4.1 Überblick

Die Idee unseres Verfahrens zum Zweck der Bestimmung des ausmaskierten DGMs basiert auf dem visuell-manuellen Vorgehen, das *regionen-basiert* nach Reduktionsflächen sucht. Nach einer Segmentierung des Bildes erfolgt im Klassifizierungsschritt die Zuweisung in solche Bereiche, die reduziert werden sollen und solche, die bereits das Gelände repräsentieren. Um – ebenfalls analog

zur visuellen Auswertung – bei der Bestimmung der Grenzlinien der Reduktionsflächen unterschiedliche, anwendungsabhängige Generalisierungen zuzulassen, wird das Verfahren in verschiedenen Skalen durchgeführt. Abb. 3 zeigt den Ablauf, dessen Bausteine in den folgenden Abschnitten näher erläutert werden.

4.2 Segmentierung

Als **Segmentierungsansatz** haben wir ein regionen-basiertes Verfahren ausgewählt, da die Toleranz gegenüber Bildstörungen, die Gewährleistung einer starken Homogenität innerhalb der Segmente, sowie die Geschlossenheit der Grenzlinien eindeutige anwendungsspezifische Vorteile gegenüber den kanten-basierten Verfahren darstellen. Um gleichzeitig die Eignung des derzeit wohl einzig kommerziellen Produktes für Segmentierungszwecke zu testen, werden wir die *eCognition*-Software (DEFINIENS 2001) einsetzen. Das komplexe regionen-basierte – und zusätzlich auch multi-skalige und hierarchische – Verfahren dieser Software wird von BAATZ & SCHÄPE (2000) im Detail beschrieben.

Die Zusammenfassung benachbarter Höhenpunkte zu einem Segment geschieht auf Basis von **Homogenitätskriterien**. HOFFMANN et al. (2000) benutzen für diese Aufgabe die absoluten Höhenwerte. Nachteile hierbei sind u.a. die Annahme eines horizontalen Geländes sowie die Tatsache, dass Geländeerhebungen (z.B. Hügel) und Reduktionsflächen (Häuser, Bäume) nicht differenziert werden können. Geht man wie der menschliche Betrachter von der Hypothese aus, dass sich Reduktionsflächen durch starke Gradienten auszeichnen, lassen sich solche Gebiete hierdurch zwar trefflich identifizieren (OUDE ELBERINK & MAAS 2000), doch die horizontale Abgrenzung erfolgt nicht ausreichend genau, weil auf Grund der diskreten Punktverteilung und des damit verbundenen nicht rechtwinkligen Anstieges der Höhen an scharfen Kanten nicht die Fußpunkte der zu reduzierenden Objekte, sondern eine in das Objekt hinein verschobene Linie als Grenze angenommen wird

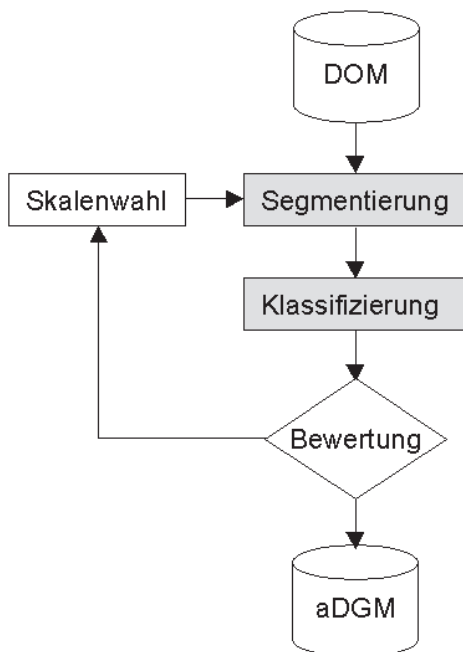


Abb. 3: Ablauf der multi-skaligen, regionen-basierten aDGM-Extraktion.

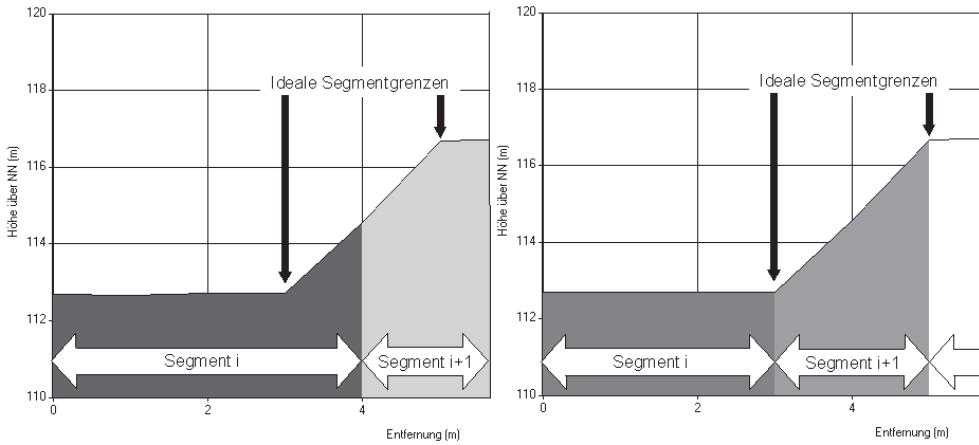


Abb. 4: Extrahierte Segmentgrenzen im Profil durch eine Gebäudewand, auf Basis von hohen Gradienten (links) bzw. hohen Krümmungen (rechts).

(Abb. 4, links). Dagegen können abrupte Gradienten-Änderungen (d.h. große Krümmungen) diese Fußpunkte besser repräsentieren (Abb. 4, rechts). Da hierbei auch ein natürlich geneigtes Gelände richtigerweise als eine homogene Fläche angesehen wird, wird in unserem Ansatz das Krümmungsverhalten zur Bestimmung der Segmentgrenzen mit eingesetzt.

4.3 Klassifizierung

Zur Interpretation der erhaltenen Segmente wird im Folgenden ein **Klassifizierungsansatz** basierend auf der *fuzzy-logic*-Theorie angewendet. Zum einen ist zwar eine scharfe Trennung zwischen Reduktions- und Geländeflächen erwünscht, diese unterliegt jedoch auch subjektiven Entscheidungskriterien (siehe auch Abschnitt 4.4). Insbesondere führen aber die begrenzten horizontalen und vertikalen Auflösungen sowie eventuelle Messfehler der Höhen-Modelle zu Unschärfen, sodass die Einführung von unscharfen Mengen bzw. partiellen Zugehörigkeiten sinnvoll erscheint.

Als **Eingabe** zur Klassifizierung dienen die Beobachtungen $x_{S,I}$ für jedes extrahierte Segment ($S = 1, \dots, s$) sowie jeden Indikator ($I = 1, \dots, i$) zur Entscheidungsfindung. Als Indikatoren zur Trennung zwischen Re-

duktions- und Geländeflächen werden der mittlere Gradient sowie der maximale Gradient innerhalb eines Segmentes betrachtet. Diese Parameter sind in der Lage, die Hypothese zu unterlegen, nach der Reduktionsflächen Gebiete mit sehr großen Steigungen darstellen. Der Gradienten-Mittelwert charakterisiert solche Flächen, die zwar keine sehr scharfen Ränder, aber große interne Variationen aufweisen (z. B. Waldgebiete), während der Maximalwert solche Flächen identifizieren kann, die sehr große Randwerte, jedoch geringere Steigungen im Innenbereich aufweisen (z. B. Häuser).

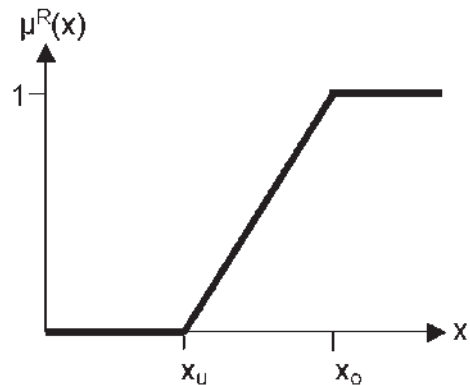


Abb. 5: Graph der allgemeinen Zugehörigkeitsfunktion $\mu^R(x)$.

Der Schritt der **Fuzzyfizierung** beinhaltet die Bildung der Zugehörigkeitsfunktionen $\mu_{S,I}^R(x)$ (zugehörig zu Reduktionsfläche) bzw. $\mu_{S,I}^G(x)$ (Geländefläche) als Funktion der Beobachtungen x (für die Indikatoren I , d.h. mittlerer bzw. maximaler Gradient, innerhalb eines Segmentes S). Auf Grund der Heterogenität der Eingabedaten ist eine generische Bestimmung dieser Funktionen unmöglich, sodass unser Ansatz vereinfacht von sinn-logischen Grenzwerten (x_u, x_o) sowie einem linearen Verlauf für den Bereich mit partiellen Zugehörigkeiten ausgeht (Abb. 5):

$$\mu_{S,I}^R = \begin{cases} 0 & \text{wenn } x < x_u \\ 1 & \text{wenn } x > x_o \\ \frac{x-x_u}{x_o-x_u} & \text{sonst} \end{cases}$$

$$\mu_{S,I}^G = 1 - \mu_{S,I}^R$$

Diese Toleranzgrenzen wurden wie folgt festgelegt:

- mittlere Steigung eines Segmentes: $x_u = 5^\circ, x_o = 30^\circ$
- maximale Steigung eines Segmentes: $x_u = 20^\circ, x_o = 50^\circ$

Die **Entscheidung** über die Klassenzugehörigkeit erfolgt durch eine gewichtete Summenbildung der beiden Indikatoren zu einem Wert $\mu_S^R(x)$. Dieser wird i.d.R. durch den Vergleich mit einem Schwellwert ($\mu_S^R(x) > 0.5$) zu einer scharfen Definition des Ergebnisklasse führen. Alternativ ist es denkbar, für einen Toleranzbereich (z.B.: für $\mu_S^R(x) = [0,4 \dots 0,6]$) eine weitere (evtl. visuelle) Inspektion zu empfehlen.

Um den typischen Problemfall eines schwach geneigten Segmentes (z.B. Flachdach) zu berücksichtigen, das vollständig von einem oder mehreren stark ansteigenden Randsegmenten (z.B. Hausrand) umgeben ist, müssen in einem letzten Schritt auch solche *Insel-Segmente* als Reduktionsflächen interpretiert werden, die den o.g. Zugehörigkeits-Schwellwert $\mu_S^R(x)$ nicht erfüllt haben.

Um eine Aussage über die Trennbarkeit zwischen Reduktions- und Geländeflächen

für die jeweiligen Indikatoren innerhalb zu erhalten, kann der normierte Abstand der Fuzzy-Mengen

$$d_I = \frac{100}{s} \sum_{S=1}^s |\mu_{S,I}^R(x) - \mu_{S,I}^G(x)| \\ = \frac{100}{s} \left| \sum_{S=1}^s |2 \cdot \mu_{S,I}^R(x) - 1| \right|$$

betrachtet werden. Je näher d dem Wert 100% kommt, desto besser ist die Trennbarkeit.

4.4 Multi-skaliger Ansatz

Die **Notwendigkeit** der Verwendung eines multi-skaligen Ansatzes lässt sich zum einen damit begründen, dass auch visuelle oder durch GIS-Datenbestände unterstützte Prozesse der Gelände-Extraktion je nach Anwendung, Zielmaßstab oder Generalisierungsgrad der Zusatzdaten als variabel in der Skala angesehen werden können. Zum anderen ist die Wahl der notwendigen Skalierungsparameter im Segmentierungsprozess i.d.R. sehr abstrakt (wie auch bei der verwendeten *eCognition*-Software) und verlangt nach einer Bewertung auf der Grundlage mehrerer abgestufter Lösungen.

Als **Ergebnis** von multi-skaligen Segmentierungen vom Groben ins Feine erkennt man nicht nur die hierarchische Unterteilung der Segmente (siehe Abb. 6), sondern auch die Reduzierung der Anzahl der Fehler 2. Art, also solcher Fälle, in denen Gelände als Reduktionsflächen interpretiert worden sind. Bis zu einem gewissen Grad bleibt die Anzahl der Fehler 1. Art (d.h., die Reduktionsflächen werden nicht als solche erkannt) konstant. Im Extremfall führt diese Verfeinerung zu einer punktwisen Betrachtung, die aber dem regionen-basierten Vorgehen widerspricht und vor allem keine statistisch zuverlässigen Aussagen mehr zulässt.

Daher muss im Rahmen einer Bewertung des Klassifizierungsergebnisses die feinste, noch akzeptable Skala gefunden werden. Dies kann zum einen durch eine – allerdings stark subjektive – visuelle Bewertung erfol-



Abb. 6: Multi-skalige Segmentierung und Klassifizierung in Reduktionsflächen (Bildausschnitt ca. $250\text{ m} \times 240\text{ m}$) – in drei Stufen vom Groben ins Feine (schwarz bis hellgrau, die feiner skalierte Fläche überlagert die gröber skalierte Fläche).

gen. Andererseits können aber auch geometrische Zwangsbedingungen eingeführt werden: So kann eine minimale Segmentgröße definiert werden, die sich entweder an der Anwendung (z.B. die Flächen-Mindestdimension von $(0.3\text{ mm})^2$ im Zielmaßstab einer Karte), oder aber an der statistischen

Zuverlässigkeit der abgeleiteten Indikatoren berechnet. In vielen Fällen kann durch Betrachtung des Histogramms eines Indikators innerhalb eines Segments schon vorhergesagt werden, dass trotz einer eventuellen weiteren Aufteilung die Bedingung für die Reduktionsfläche nicht mehr erreicht werden kann (z. B. durch Betrachtung des Maximums der Gradienten). Ferner müssen solche Segmente, die als Inseln innerhalb einer Reduktionsfläche erkannt worden sind (siehe Abschnitt 4.3), i.d.R. auch nach einer weiteren Aufteilung weiterhin reduziert werden.

5 Beispiele

5.1 Laserscanning-Datensatz

Der Laserscanning-Datensatz des *TopoSys*-Sensors überdeckt ein hügeliges, teilweise bewaldetes und bebautes Gebiet in Dänemark (Abb. 7). Die originalen Messwerte des Sensors wurden zu einem 1-m-Gitter zusammengefasst, grobe Messfehler und Datenlücken wurden in einem Vorverarbeitungsschritt eliminiert. Die Lage- sowie die Höhengenaugigkeit des Sensors werden jeweils mit ca. 0.1 m bis 0.2 m angegeben. Bild- oder Kartenmaterial zu diesem Testgebiet liegt nicht vor.

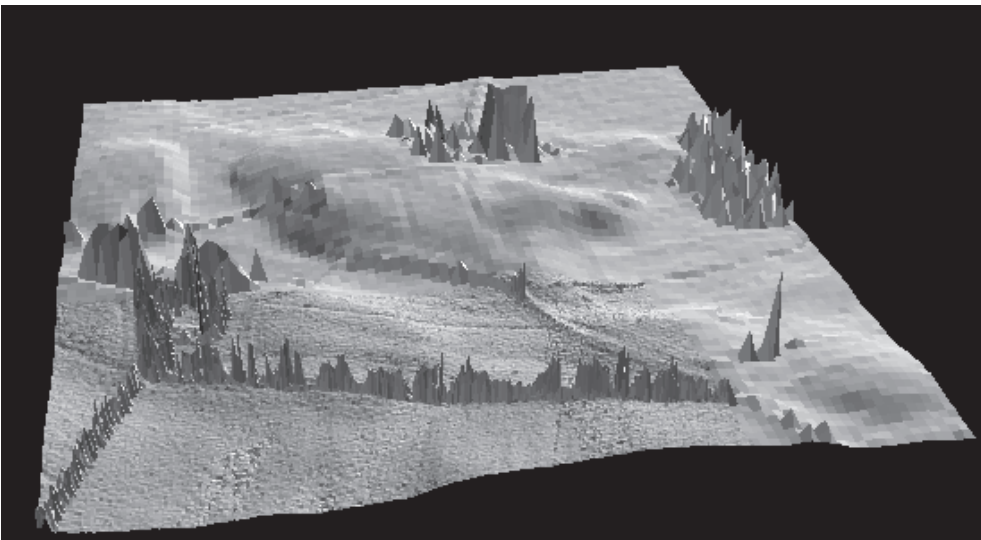


Abb. 7: Laserscanning-Datensatz (Ausschnitt ca. $700\text{ m} \times 700\text{ m}$; © TopoSys).

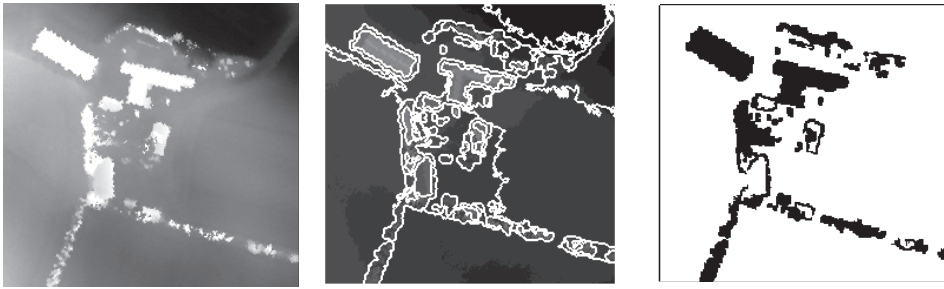


Abb. 8: Laserscanning-DOM (links, Ausschnitt ca. 250 m × 240 m, © TopoSys) sowie Ergebnisse der Segmentierung (Mitte) und Klassifizierung (rechts, Reduktionsflächen in schwarz).

Der Datensatz wird in mehreren Skalen segmentiert und nach den angegebenen Regeln klassifiziert. Abb. 8 zeigt die jeweiligen Ergebnisse auf einem ausgewählten Skalenniveau. Durch einen visuellen Vergleich mit dem Eingangs-DOM (z. B. durch diverse Profilschnitte) wird jedes Segment auf die Richtigkeit der Interpretation hin überprüft. Unter Beachtung der Insel-Segmente (siehe Abschnitt 4.4) kann die Anzahl der Fehler 1. Art bis zur feinsten gewählten Skala auf Null gehalten werden. Der Anteil der Fehler 2. Art bleibt konstant unter 2% aller Segmente. Bei diesen Fehlinterpretationen handelt es sich überwiegend um Waldbodenflächen, deren Abgrenzung sowie Steigungsverhalten im Vergleich zu benachbarten Flächen mit Bäumen nicht exakt vollzogen werden kann. Eine visuelle Bewertung unabhängig von den Segmentgrenzen ergibt ebenfalls sehr zufrieden stellende Ergebnisse.

5.2 Datensatz abgeleitet aus automatischem Matching

Der zweite Testdatensatz beinhaltet Höhen- und Bilddaten des High Resolution Stereo Scanners (HRSC-A) von bebauten und bewaldeten Teilen der Stadt Osnabrück. Auf Grund der nadir- und schrägblickenden Kanäle des HRSC-A können stereoskopische Aufnahmen in Flugrichtung zur Ableitung von Höhendaten erfolgen. Durch automatisches Matching (mit bis zu 5fachen Strahlenschnitten) sowie anschließende Interpolationen werden gitterförmige Digitale Oberflächen-Modelle (DOMe) mit einer horizontalen Auflösung von 0.5 m sowie einer geschätzten vertikalen Genauigkeit von 0.2 m erzeugt (SCHOLTEN & WEWEL 2000). Abb. 9 zeigt einen Ausschnitt des Höhenmodells, das sich typischerweise durch Fehlkorrelationen sowie durch zu weiche und ausgefranste Kanten auszeichnet.

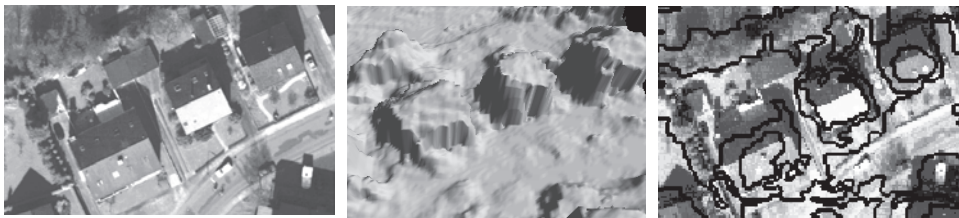


Abb. 9: HRSC-A-Bilddaten (links, Ausschnitt ca. 80 m × 50 m, © Stadt Osnabrück), Matching-DOM (Mitte, keine Überhöhung) sowie ein Segmentierungs-Ergebnis (rechts).

Die eingeschränkte Datenqualität wirkt sich erwartungsgemäß negativ auf die Segmentierung aus (Abb. 9, rechts): Die Segmentgrenzen entsprechen nicht den semantischen Grenzen (z. B. den geradlinigen Hausumrissen). Die Integration der Bilddaten in die Segmentierung kann hier zwar eine gewisse Abhilfe schaffen, doch entstehen hierdurch Segmente mit einem inhomogenen Steigungs- und Krümmungsverhalten, sodass in der nachfolgenden Klassifizierung unbefriedigende Ergebnisse erzielt werden. Die der beschriebenen Klassifizierungsstrategie zu Grunde liegenden Hypothese wird bei diesem Matching-Datensatz insofern aufgeweicht, als dass die erwarteten, sehr großen Gradienten für Reduktionsflächen verwischt werden, sowie sehr viele, unrealistische, hohe Steigungen auch in Geländeflächen auftreten. Die Folge ist, dass im Zuge einer visuellen Inspektion bis zur feinsten gewählten Skala die Fehler 1. Art zwar auf Null gehalten werden können, der Anteil der Fehler 2. Art aber bis zu 40% aller Segmente ausmacht.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass das beschriebene Verfahren für diesen Datensatz zu unbefriedigenden Ergebnissen führt. Dies ist aber zweifelsohne auf die eingeschränkte Datenqualität zurückzuführen, die eine zufrieden stellende, automatische Ableitung eines aDGMs generell unmöglich machen wird.

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Dieser Aufsatz zur Extraktion eines ausmasierten DGMs aus einem Digitalen Oberflächen-Modell (DOM) stellt einen Beitrag zur Weiterentwicklung der Methodik im Rahmen von Höhendatenauswertungen dar. Das aDGM ist als Vorstufe für nachfolgende Operationen, z. B. für Stofftransport-Modellierungen oder – nach einer Normalisierung – für Objektextraktionen anzusehen.

Konkret wurde ein multi-skaliges Verfahren vorgestellt, das nach einer regionen-basierten Segmentierung eine Klassifizierung auf Basis eines fuzzy-logic-Ansatzes in sol-

che Bereiche vornimmt, deren Höhen reduziert oder beibehalten werden müssen. Dieses Vorgehen erfüllt die Anforderungen, dass nur Höhendaten (alternativ aber auch zusätzliche spektrale Daten) benötigt werden, unabhängig von der Neigung des Geländes gearbeitet wird, die Filtergrößen-Problematisierung umgangen wird sowie konkrete, sinn-logische Schwellwerte eingesetzt werden. Die empirischen Untersuchungen zeigten für einen Laserscanning-Datensatz sehr zufrieden stellende Ergebnisse (Fehler 1. Art i.d.R. Null, Fehler 2. Art kleiner als 2%). Dagegen zeigte sich erwartungsgemäß, dass die Methode – wie andere automatische Verfahren – auf Grund der eingeschränkten Eingabedatenqualität bei einem aus automatischem Matching abgeleiteten DOM nur bedingt anwendbar ist.

Die weiteren Forschungsarbeiten werden sich auf eine noch differenziertere Betrachtung der Anwendbarkeit unterschiedlicher Segmentierungsmethoden sowie auf die Integration von zuverlässigen Höhen- und Bilddaten in den Prozess konzentrieren.

Generell kann festgehalten werden, dass analog zur visuellen Auswertung eine kombinierte Analyse von Bild- und Höhendaten erst das Potenzial der neuen Fernerkundungssensoren ausnutzen wird. In diesem Zusammenhang kann von einer simultanen Aufnahme von spektralen Daten und Laserscanning-Höhen (z. B. die Systeme AIMS oder EarthData Technologies – siehe TOTH & GREJNER-BRZEZINSKA 2000) ein bedeutender Mehrwert für nachfolgende Bildanalysen erwartet werden.

7 Danksagungen

Dank gilt der Stadt Osnabrück (Fachdienst Geodaten) für die Bereitstellung der HRSC-A Daten (Befliegung durch DLR, Berlin), sowie der Firma TopoSys für die Bereitstellung der Laserscanning-Daten.

8 Literatur

BAATZ, M. & SCHÄPE, A., 2000: Multiresolution Segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. –

- In: STROBL, J., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII*. – Wichmann-Verlag: 12–23.
- DEFINIENS, 2001: www.definiens.de
- GRÜN, A., BÄR, S. & BÜHRER, T., 2000: DTMs Derived Automatically from DIPS – Where Do We Stand? – *GeoInformatics* **7/8**: 36–39.
- VON HANSEN, W. & VÖGTLE, T., 1999: Extraktion der Geländeoberfläche aus flugzeuggetragenen Laserscanner-Aufnahmen. – *PFG* 1999 (4): 229–236.
- HOFFMANN, A., VAN DER VEGT, J.W. & LEHMANN, F., 2000: Towards automated map updating: Is it feasible with new digital data acquisition and processing techniques? – *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing* **33** (B2): 295–302.
- KILIAN, J., HAALA, N. & ENGLISH, M., 1996: Capture and evaluation of airborne laser scanner data. – *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing* **31** (B3): 383–388.
- KRAUS, K., 1997: Eine neue Methode zur Interpolation und Filterung von Daten mit schiefer Fehlerverteilung. *Österr. Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation* **1**: 25–30.
- LOHMANN, P., KOCH, A. & SCHAEFFER, M., 2000: Approaches to the filtering of laser scanner data. – *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing* **33** (B3): 540–547.
- OUDE ELBERINK, S. & MAAS, H.-G., 2000: The use of anisotropic height texture measures for the segmentation of airborne laser scanner data. – *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing* **33** (B3): 678–684.
- SCHOLTEN, F. & WEWEL, F., 2000: Digital 3D-data acquisition with the High Resolution Stereo Camera-Airborne (HRSC-A). – *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing* **33** (B4): 901–908.
- SHI, Z. & SHIBASAKI, R., 1996: Towards automated house detection from digital stereo imagery for GIS database revision. – *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing* **31** (B4): 780–785.
- TOTH, C. & GREJNER-BRZEZINSKA, D.A., 2000: Complementary of LIDAR and stereo imagery for enhanced surface reconstruction. – *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing* **33** (B3): 897–904.
- VOSSELMAN, G., 2000: Slope based filtering of laser altimetry data. – *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing* **33** (B3): 935–942.
- WEIDNER, U. & FÖRSTNER, W., 1995: Towards automatic building extraction from high resolution digital elevation models. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **50** (4): 38–49.

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. JOCHEN SCHIEWE

Hochschule Vechta, Forschungszentrum für

Geoinformatik und Fernerkundung (FZG)

Postfach 1553, D-49364 Vechta

Tel.: 04441-1 55 58

Fax: 04441-1 54 64

e-mail: jschiewe@iuw.uni-vechta.de

Manuskript eingereicht: November 2000

Angenommen: Januar 2001

Verfahren der digitalen Reliefanalyse und Satellitenbilddauswertung für die Bodenkartierung des Zielmaßstabes 1 : 50 000 am Beispiel des Blattes Könnern

MARKUS MÖLLER, Leipzig

Zusammenfassung: Der vorliegende Aufsatz zeigt eine Untersuchung in einem Testgebiet im Südöstlichen Harzvorland, bei der auf ATKIS¹-Höhen- und LANDSAT TM5-Satellitenbilddaten Verfahren der digitalen Reliefanalyse und Satellitenbilddauswertung angewendet werden. Die Ergebnisse wurden hinsichtlich ihrer Eignung für die bodenkundliche Kartierung des Zielmaßstabes 1 : 50 000 überprüft, mit dem in Sachsen-Anhalt und anderen Bundesländern der Boden inventarisiert wird. Auf Grundlage der Untersuchungen wurde ein wissenschaftlicher Ansatz zur digitalen Bildung und inhaltlichen Belegung von bodenkundlichen Kartiereinheiten unter Nutzung der genannten Verfahren entwickelt, der im Aufsatz diskutiert wird.

Abstract: *Combining digital terrain analysis and remote sensing for soil survey on the mesoscale. An example from the Könnern area, Eastern Germany.* The paper shows a method combining systems for digital terrain analysis with algorithms for the analysis and interpretation of satellite data, in order to check-out its suitability for soil mapping and survey. The investigations are carried out at a map scale of 1 : 50 000, which represents the „official“ scale level for compiling soil inventories within the German state of Saxony-Anhalt, as well as in other German states. For the study, the uplands of the East German landscape unit „Südöstliches Harzvorland“ in the state of Saxony-Anhalt served as the test area. On the base of the results, a knowledge based approach for the digital derivation and creation of soil mapping units was developed, which is discussed in the paper.

1 Einleitung und Problemstellung

Aus dem Beschluss der Umweltministerkonferenz von 1987 und der Verabschiedung des Bundesbodenschutzgesetzes von 1998 leitet sich für jedes Bundesland die Aufgabe ab, Bodeninformationssysteme mit dem Ziel einzurichten, Informationen zum Bodenzustand flächendeckend in einer Flächendatenbank vorzuhalten (CHRISTENSEN 1999, HEINECKE et al. 1995). In diesem Zusammenhang kommt der bodenkundlichen Kartierung, d.h. „der systematischen und flächendeckenden Bodeninventur“ (AG BODEN 1994: 27), eine besondere Bedeutung zu.

Bei der bodenkundlichen Kartierung ist die Kartiereinheit als nicht weiter differenzierbare räumliche Einheit die entscheidende Grundlage für weitere Aggregationen und Generalisierungen. Die Abgrenzung von Kartiereinheiten erfolgt „nach definierten typischen, d.h. wiederkehrenden Inhalten, die räumlich regelhaft kombiniert sind“ (KÜHN 1996: 11). Dabei ist jede Kartiereinheit hinsichtlich ihrer inhaltlichen Belegung als einmalig zu betrachten.

Während Verfahren der reproduzierbaren Aggregation und Generalisierung bereits angewendet werden (z.B. BAURIEGEL et al. 1997), sind die Regelungen zur Bildung von Kartiereinheiten selbst noch ungenügend (FRIEDRICH 1999). Ein besonderes Problem stellt dabei die nachvollziehbare Grenzziehung dar.

¹ ATKIS = Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem

Mit der zunehmenden Verfügbarkeit flächenhafter digitaler Relief- und Satellitenbilddaten sowie entsprechender Auswertalgorithmen ergeben sich neue Möglichkeiten,

- um digitale bodenkundlich relevante Flächendaten zu gewinnen und in die Struktur eines Bodeninformationssystems einzubinden,
- die Nachvollziehbarkeit der Grenzziehung und Inhalte zu steigern und
- bodenkundliche Kartierungen flächendeckend, kostengünstig und in kürzerer Zeit durchzuführen.

Der Beitrag basiert auf einer Diplomarbeit (MÖLLER 1999), die am Institut für Geographie der Martin-Luther-Universität Halle/Wittenberg, AG Kartographie und Fernerkundung in Zusammenarbeit mit der Abteilung Boden des Geologischen Landesamtes Sachsen-Anhalt angefertigt wurde. Die Arbeit versteht sich als Versuch, an die Tradition bodenkundlich orientierter Arbeiten mit Fernerkundungsdaten des Institutes anzuknüpfen (RIEDEL 1981, VILLWOCK 1983, 1995, GLÄBER 1985, 1989).

2 Naturräumliche Ausstattung des Untersuchungsgebietes

Das ca. 10000 ha große Untersuchungsgebiet befindet sich nördlich von Halle im Unteren Saaletal und ist der naturräumlichen Einheit Südöstliches Harzvorland zuzuordnen (KUNERT 1970). Das Gebiet zeichnet sich durch eine hohe Heterogenität von Relief und Ausgangssubstrat und damit auch der Böden aus (Tab. 1, Abb. 1 u. 2). Nach VILLWOCK (1983) waren neben den klimatischen Bedingungen vor allem die Substrat- und Reliefverhältnisse bestimmend für die Ausbildung der Bodendecke. Die geringen Niederschläge von etwa 470 mm/a und das kontinental geprägte Klima sind Ausdruck der Zugehörigkeit des Untersuchungsraumes zum mitteldeutschen Trockengebiet und seiner Lage im Regenschatten des Harzes.

Die heutige Reliefgestalt des Untersuchungsgebietes und die Verteilung der Ausgangssubstrate geht vor allem auf die saalekaltzeitlichen glazialen und weichselkalt-

zeitlichen periglazialen Bildungsbedingungen zurück. Bestimmende geologische Einheit ist die W-E streichende Halle-Hettstedter Gebirgsbrücke, die geomorphologisch als schwach reliefierte Hochfläche in Erscheinung tritt und überwiegend von weichselkaltzeitlichen Löss und untergeordnet von saalekaltzeitlichen Geschiebemergel bedeckt wird (SCHUBERTH 1997). Die Hochfläche wird vom Durchbruchstal der Saale geteilt und am südwestlichen Rand vom Tal der Schlenze begrenzt. Die Hochflächenränder sind von Kerbsohlentälern zerschnitten, die in Richtung der Hochflächen in Wannenn- und Flachmuldentäler übergehen. Vor allem an den Hochflächenrändern treten ältere Bildungen des Buntsandstein, Zechstein und Permokarbon zu Tage. Die Ausbildung des unteren Saale- und Schlenzetales südlich des Saaledurchbruches steht in Zusammenhang mit Suberosionsvorgängen von Zechsteinsedimenten (KUNERT 1970: 120).

Das Landschaftsbild des Untersuchungsgebietes ist durch die intensive landwirtschaftliche, insbesondere ackerbauliche Nutzung entscheidend geprägt. Die Böden sind – bedingt durch die strukturarme Großflächenintensivlandwirtschaft², die Erosivität der Starkniederschläge und die hohe Erodierbarkeit der bodenbildenden Ausgangssubstrate – durch flächenhafte und linienhafte Erosion in starkem Maße gefährdet.

3 Datengrundlage

Die Untersuchungen basieren im Wesentlichen auf digitalen Datensätzen. Entsprechend dem Zielmaßstab von 1 : 50000 fanden LANDSAT TM 5-Satellitenbildszenen mit einer geometrischen Auflösung von 30 m × 30 m Verwendung. Aus einer Reihe von Szenen wurden mit den Aufnahmen

² Im Zuge der Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion in der ehemaligen DDR wurden umfangreiche Flurbereinigungsmaßnahmen durchgeführt (vgl. MICHEL 1994). Als Ausdruck moderner Landwirtschaft galten Ackerschläge von $N \times 10^2$ ha (KUGLER 1982).

Tab. 1: Zusammenhang von Relief, Substrat und Bodentyp im Untersuchungsgebiet (vereinfacht nach ALTERMANN 1970 und KAINZ et al. 1996).

Reliefeinheit	Ausgangssubstrat	Vorherrschender Bodentyp
Flachmuldentäler Dellen der Hoch- flächen	Holozäne Abschlammungen (sandiger) Lehm	Kolluvisol Gley Auenboden
Hochflächen	Wechselkaltzeitlicher Löß und ältere Gesteine mit Lößschleier	Tschernosem
Hochflächen- Ränder	Wechselkaltzeitlicher Löß und ältere Gesteine mit Lößschleier	Pararendzina
	Saalekaltzeitlicher Geschiebemergel	Pararendzina
	Bildungen des Buntsandstein (rotbraune Schiefertone mit Rogenstein- und Kalksandstein-Lagen)	Syrosem Pararendzina Pelosol Ranker/Regosol
	Bildungen des Zechstein (Kalk, Dolomit, Auslaugungsrückstände)	Rendzina
	Bildungen des Permokarbon (Rotbraune Sandsteine, Konglo- merate, Schluffsteine, Schiefertone)	Syrosem Pararendzina Pelosol Ranker/Regosol
Saale-, Fuhne- u. Schlenzeau	Auelehm	Allochthoner, karbo- nathaltiger Auenboden

vom 08.02.90, 26.06.92 und 07.03.97 die am besten für die Fragestellung geeigneten ausgewählt (vgl. Abschnitt 4, S. 97). Als digitale Reliefdaten standen ATKIS-DGM³-Daten mit einer Rasterweite von 10 m × 10 m und einer Höhengenaugigkeit von ± 0,5 m zur Verfügung, die vom Landesvermessungsamt Sachsen-Anhalt bereitgestellt wurden. Weiterhin konnte auf eine Reihe von Referenzinformationen zurückgegriffen werden:

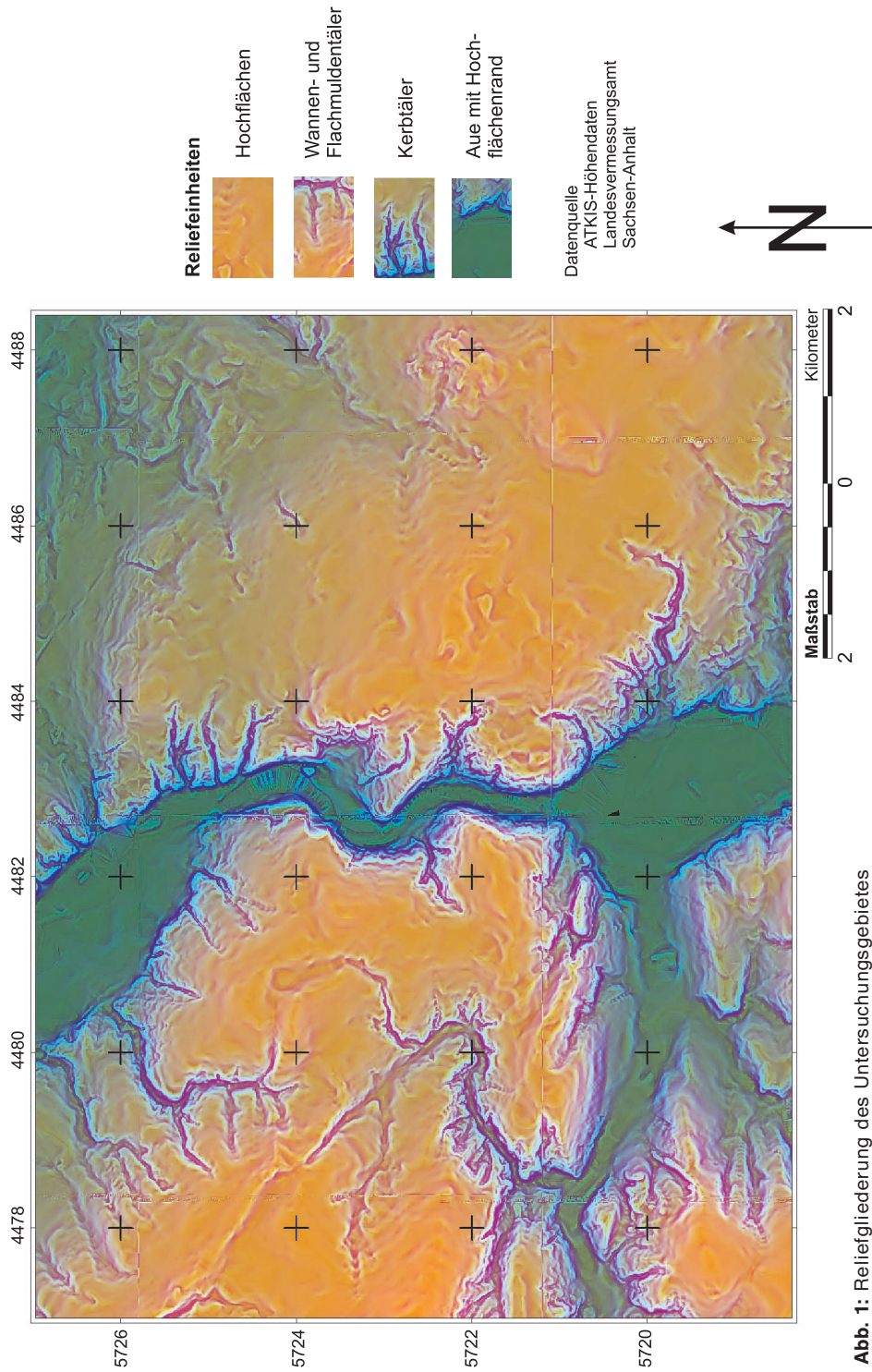
- digitale und analoge Bodenkarte Halle und Umgebung 1 : 50 000 (BK 50) (KAINZ et al. 1996)⁴.

³ Die Vermessungsverwaltung von Sachsen-Anhalt definiert ein Digitales Geländemodell (DGM) „als Geländehöhen, die als Punktraster vorliegen“ (LVerMD 1998:41). Die Rasterdaten enthalten keine Strukturelemente.

⁴ Die digitale Fassung wurde durch das Geologische Landesamt Sachsen-Anhalt zur Verfügung gestellt.

- Geologische Karte Blatt Könnern 4336 1 : 25 000 (GK 25) (KUNERT 1970).
- Arbeitskarten und Dokumentationsblätter A der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK).
- Großmaßstäbige Bodenkarten auf Schlagniveau nach VILLWOCK (1983), MICHEL (1994), WEILAND (1982) und SCHRÖDER (1987) sowie eigene Aufnahmen.
- Panchromatische Luftbilder vom 20.10.92 und 24.04.97 (Maßstab ~ 1 : 14 500) und CIR-Luftbilder vom 01.07.93 (Maßstab ~ 1 : 10 000)⁵.

⁵ Die Bereitstellung erfolgte durch das Landesvermessungsamt Sachsen-Anhalt.



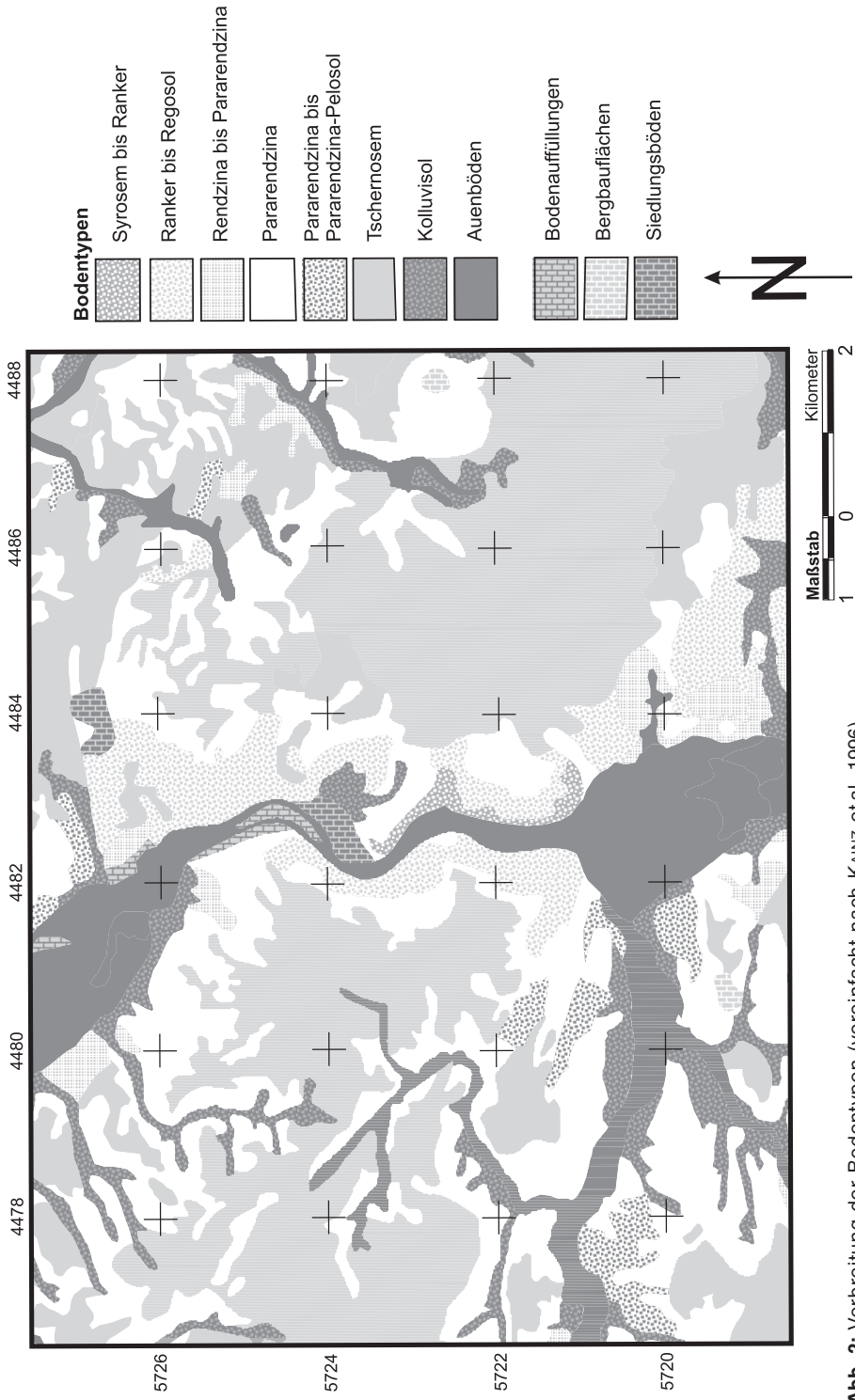


Abb. 2: Verbreitung der Bodentypen (vereinfacht nach KAINZ et al. 1996).

4 Methoden

Aus einer Reihe von Reliefanalyseverfahren (vgl. DIKAU & SCHMIDT 1999) wurden mit den Programmen SARA⁶ und IVHG⁷ zwei Systeme zur digitalen Reliefanalyse ausgewählt, die speziell für bodenkundliche Fragestellungen entwickelt wurden. Grundsätzlich kann zwischen schwellenwertgebundenen, analytischen und statistischen Reliefgliederungsverfahren unterschieden werden (FRIEDRICH 1996: 66). Nach Schwellenwerten klassifizierte Reliefattribute dienen KUGLER (1974) als Grundlage für die gefügetaxonomische Hierarchie des Georeliefs. Dieser hierarchische Ansatz fand seinen Niederschlag in der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 4 (AG BODEN) 1994). Danach lässt sich jede Reliefform [...] unabhängig von ihrer Ausdehnung in die drei einfachen Reliefformentypen Kulminationsbereich, Tiefenbereich und Hang unterteilen. Die Abgrenzung der Reliefformentypen folgt einem analytischen Verfahren. Begrenzungskriterium ist die signifikante Änderung der Neigung innerhalb einer vorgegebenen Höhenspanne.

KÖTHE & LEHMEIER (1996) setzten dieses Reliefgliederungskonzept mit dem Pro-

gramm SARA um. Das Programm SARA bietet – neben der Berechnung und Klassifikation von Reliefattributen – die Möglichkeit, automatisch flächenhafte Reliefeinheiten auszuweisen. Vertikale neigungsabhängige und horizontale expositionsabhängige Einheiten werden getrennt behandelt. Die horizontale Gliederung führt bezüglich des Oberlandabflusses zur Ausweisung von Konvergenz-, Intermediär- und Divergenzbereichen. Grundlage der neigungsabhängigen Reliefeinheiten sind Tiefenlinien, Kulminationslinien sowie konvexe und konkave Hangneigungsunstetigkeiten. Ausgehend von zuvor ausgewiesenen Tiefen- bzw. Kulminationslinien wird vom Programm zur Ermittlung einer signifikanten Neigungsunstetigkeit ein vertikales Neigungsrichtungsprofil (NRP) gelegt. Erreicht die Neigungsstärken-Differenz zweier Rasterzellen ein Maximum oder ein definiertes Signifikanzniveau, kommt es zur Grenzziehung zwischen Hang- und Tiefen- bzw. Scheitelbereichen (KÖTHE & LEHMEIER 1996, KÖTHE et al. 1996). Der Bearbeiter kann durch die Bestimmung der NRP-Anfangs- und Endpunkte a und b Einfluss auf die Grenzziehung nehmen (Abb. 3). Eine zielmaßstabsbezogene Beeinflussung der SARA-Ergebniskonturen gelingt über die Rasterweite des DGM.

Bei dem System IVHG handelt es sich um ein Verfahren, das zur Ausgliederung homogener Reliefeinheiten führt, die „eine deutliche Übereinstimmung mit der flächenhaf-

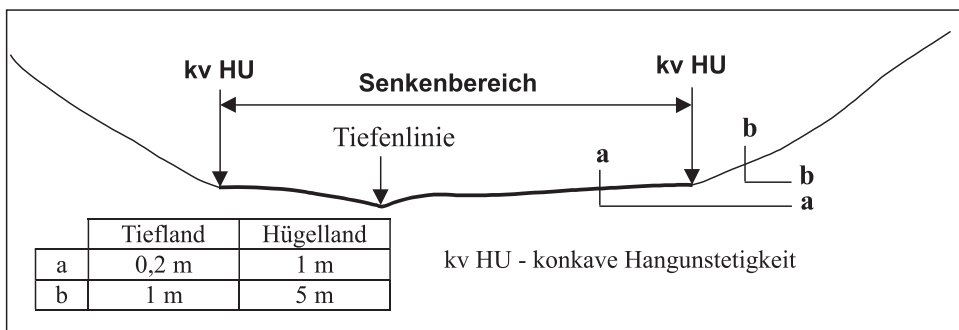


Abb. 3: Definition und Prinzip der Ermittlung von Tiefenbereichen (nach KÖTHE et al. 1996: 33 und AG BODEN 1994: 66).

Tab. 2: Inhalt einer Parameterdatei (FRIEDRICH & METZLER 1998).

Klassen-Datei : dgm1k.dat	}	Ausgabedateien
Durchschnitte-Datei : dgm1d.dat		
Nachbarklassen-Datei : dgm1n.dat		
Grenzlinien-Datei : dgm1l.dat		
Polygonpunkte-Datei : dgm1p.dat		
Anzahl der Klassen : 500 →	}	Generalisierungsparameter
Anzahl der Variablen : 1		
Verschiebung der Variablen 1 : 0.0		
Gewichtung der Variablen 1 : 1.0		
Transformation der Variablen 1 : 0.000667	}	Modellierungsparameter
Quelldatei der Variablen 1 : Vertikalwölbung		
Distanzfunktion : 1		

ten Ausprägung von Boden und Geologie aufweisen“ (FRIEDRICH 1996 : 3). Im Unterschied zum Ansatz von SARA kann mit dem Programm „eine Reliefgliederung auf Grundlage einer Erfassung der gesamten Formgestalt“ (FRIEDRICH 1996 : 114) abgeleitet werden. Anders als bei herkömmlichen Clusterverfahren wird mit dem Programm die Gruppierung nach ähnlichen oder gleichen geomorphologischen Eigenschaften im n-dimensionalen Merkmalsraum unter Beachtung der Raumbeziehungen in der Datenmatrix vorgenommen (Abb. 4). Eingabe-, Steuerungs- und Ausgabeparameter sind in einer Parameterdatei niedergelegt (Tab. 2). Als Inputdaten wurden die Vertikal- und Querkrümmung verwendet, da sich „Neigung und Wölbung und damit in der Regel die Bodeneigenschaften [...] inner-

halb eines einfachen Reliefformentyps in relativ engen Grenzen“ bewegen (AG BODEN 1994 : 57).

Die Auswahl der LANDSAT TM-Satellitenbildszenen (vgl. Abschnitt 3, S. 93) wurde anhand folgender Kriterien vorgenommen:

- meteorologische Bedingungen während und vor der Aufnahme.
- Erkennbarkeit von Reliefelementen (z. B. von Kerb- und Flachmuldentälern).
- substratbedingte und phänologische Differenzierung des Bestandes der landwirtschaftlichen Nutzfläche.

Auf die einzelnen Szenen wurden mit dem Programm ERDAS IMAGINE 8.3 – neben einer visuellen Interpretation – Verfahren der Datenvorverarbeitung sowie der unüberwachten und überwachten Klassifikation angewendet (Tab. 3).

Tab. 3: Angewendete Verfahren der Satellitenbildverarbeitung.

Datenvorverarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> ● Hauptkomponentenanalyse ● tasseled cap-Ableitungen brightness, wetness u. greenness ● NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ● SWCI (Soil Water Content Index nach Su et al. 1992) ● SBI (Soil Brightness Index nach HERBINGER 1996)
Unüberwachte Klassifikation	ISODATA-Clustering
Überwachte Klassifikation	Maximum-Likelihood-Klassifikator in Kombination mit Quader-Box-Verfahren

5 Ergebnisse

Die Ergebnisse der angewendeten Verfahren wurden hinsichtlich ihrer Eignung für die Bodenkartierung im Maßstab 1:50000 anhand der qualitativen Kriterien *Plausibilität* und *Nachvollziehbarkeit der Grenzen und Inhalte* sowie *Praktikabilität* überprüft (Tab. 4). Die Praktikabilität ergibt sich aus den Anforderungen, die eine Methode an den Nutzer stellt und dem damit in einem vertretbaren Zeitraum erzielten Ergebnis. Eine statistische Überprüfung der Auswertungen wurde bisher nicht vorgenommen, da die gewonnenen Flächendaten noch keine Bodeneinheiten darstellen.

Die mit dem Programm IVHG ausgegrenzten homogenen Reliefeinheiten spiegeln sich in den Bodeneinheiten der BK 50 wider (Abb. 2 u. 5). Jede Reliefeinheit repräsentiert eine durchschnittliche Vertikal- und Querwölbung. Als Maß für die Trennbarkeit der Reliefeinheiten dient die euklidische Distanz. Die homogenen Reliefeinheiten sind das Resultat eines Auswahl- und Modellierungsprozesses, der zur Ausweisung statistisch objektiver Einheiten führt. Die Festlegung der jeweiligen Parametereinstellung basiert auf dem Erfahrungsschatz und Fachwissen des Bearbeiters. Dabei sind im

Unterschied zur Erstellung analoger Karten alle Schritte des Auswahl- und Modellierungsprozesses nachvollziehbar und überprüfbar. Das Programm IVHG bietet die Möglichkeit, Parametereinstellungen und Inputdaten zielmaßstabsbezogen auszuwählen und zu variieren. Vor allem mit der Festlegung der Klassenanzahl kann der Generalisierungsgrad des Ergebnisses bestimmt werden⁸ (vgl. Tab. 2). Defizite bestehen in den Überlappungsbereichen der im TK10-Blattschnitt ausgegebenen ATKIS-Höhendaten sowie auf Grund der geringen Datendichte in Talniederungen mit flacher Sohle (vgl. Abb. 1 u. 5)

Die mit dem Programm SARA vorgenommene getrennte Ausweisung horizontaler und vertikaler Hangbereiche führte – abgesehen von der vertikalen Einheit Tiefenbereiche – zu einer nicht zufrieden stellenden Reliefgliederung des Untersuchungsgebietes (vgl. auch FRIEDRICH 1996:92, 114). Auf Grund ihrer fluviatilen Genese weisen Tiefenbereiche im Gegensatz zu Scheitel- und Hangbereichen, die vorwie-

⁸ In einer späteren Version ist die Flächengröße als Generalisierungskriterium vorgesehen (FRIEDRICH & METZLER 1998)

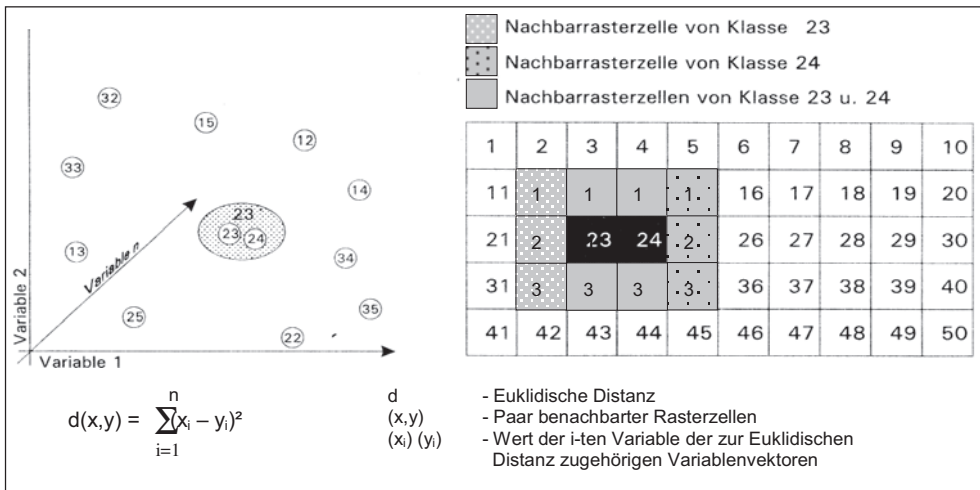


Abb. 4: Prinzip der Bildung homogener räumlicher Einheiten (FRIEDRICH 1996).

Tab. 4: Vergleich der angewendeten Methoden hinsichtlich ihrer Eignung für die bodenkundliche Kartierung des Zielmaßstabes 1 : 50000 (+ hoch / o mittel / – gering).

	Satellitenbilddauswertung mit IMAGINE		Interaktive Senkenbereichsausweisung	Digitale Reliefanalyse mit	
	automatisiert	visuell		SARA	IVHG
Eignung für konturscharfe Grenzziehung	–	–	o	o	+
Nachvollziehbarkeit und Plausibilität der Grenzen	–	o	o	o	+
blattschnittfreies Arbeiten	+	+	o	o	+
Praktikabilität	–	+	+	o	+

gend solifluidal und äolisch überprägt wurden, in der Regel eine erkennbare vertikale Begrenzung auf. Allerdings wurde deutlich, dass das Untersuchungsgebiet durch *eine* Parametereinstellung nicht gefasst werden konnte. Konnten für einzelne Landschaftseinheiten – wie Hochflächen und Hochflächenränder – sinnvolle Parametereinstellungen gefunden werden, erwies sich die Übertragung auf das gesamte Untersuchungsgebiet als nicht machbar.

Eine Erhöhung der Plausibilität der Grenzen bei eingeschränkter Nachvollziehbarkeit konnte auf der Grundlage der SARA-Senkenbereiche durch eine interaktive Digitalisierung am Bildschirm unter Hinzuziehung der LANDSAT TM5-Satellitenszene vom 29.06.96 sowie der Vertikalwölbung erreicht werden (Abb. 5). Die räumliche Differenzierung entspricht der Geologischen Karte 1 : 25000 (GK 25) des Untersuchungsgebietes. Die bodenkundlich erforderliche Zuordnung der linearen Senkenbereiche zu kolluvial oder vorwiegend fluviatil beeinflussten Arealen ist mit der vorgestellten Methodik nicht möglich.

Die Auswertung der LANDSAT TM5-Satellitenbilddauswertungen ergab, dass lediglich eine visuelle Interpretation in einem vertretbaren Zeitraum sinnvolle Ergebnisse brachte. Die auf LANDSAT TM5-Kanälen und

deren Vorverarbeitungsprodukte angewendeten überwachten und unüberwachten Klassifikationsverfahren führten bei einzelnen Trainingsgebieten zu guten Ergebnissen. Eine Transformation der Ergebnisse auf größere Areale bzw. auf das gesamte Untersuchungsgebiet gelang dagegen bisher nicht. Der Nachbearbeitungsaufwand war im Sinne der Praktikabilität zu hoch. Die Gründe dürften vor allem in dem Umstand zu suchen sein, dass die Trainingsgebiete den Anforderungen hinsichtlich Repräsentativität und Homogenität für das gesamte Untersuchungsgebiet nicht genügten. Diese Bedingungen gelten letztendlich jeweils nur für einen Ackerschlag, der eine einheitliche landwirtschaftliche Bearbeitung erfahren hat. Neben Substrat und Vegetationsbedeckung beeinflussen offenbar andere schwer handhabbare Faktoren – wie die Art der landwirtschaftlichen Bearbeitung – das spektrale Signal (vgl. HERBINGER 1996, WEVER 1989, BRIXY 1997 u. 1998).

Als Konsequenz wurde mit dem Programm ERDAS IMAGINE auf LANDSAT TM5-Satellitenbilddauswertungen verschiedener Jahrgänge eine visuelle schlagweise Ausmaskierung von Bereichen relativ geringer bzw. hoher Reflexion vorgenommen. Dieser Ansatz hat bei geringer Nachvollziehbarkeit und Plausibilität der Grenzen den Vorteil,

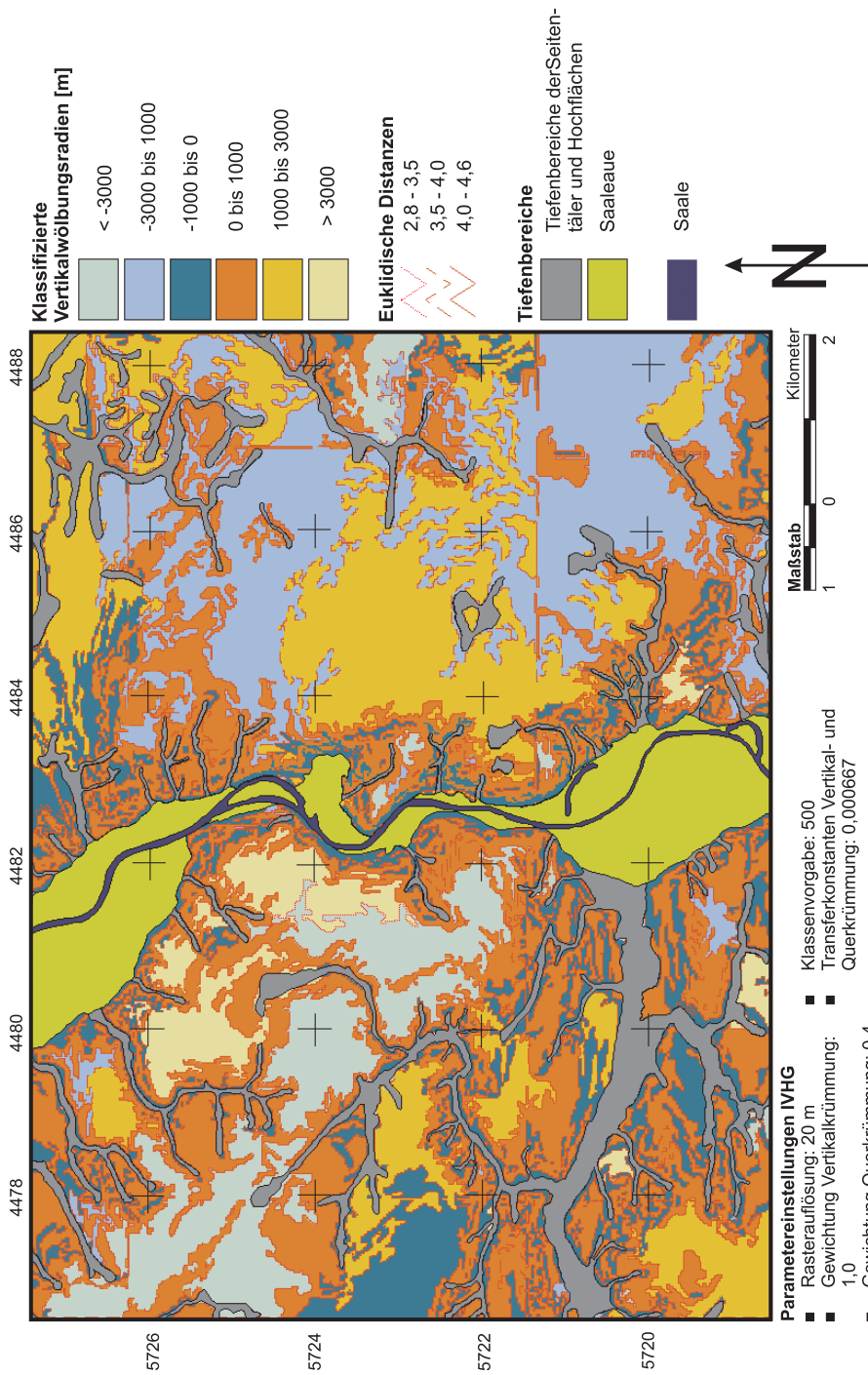


Abb. 5: Homogene Reliefeinheiten und interaktiv ausgewiesene Tiefenbereiche.

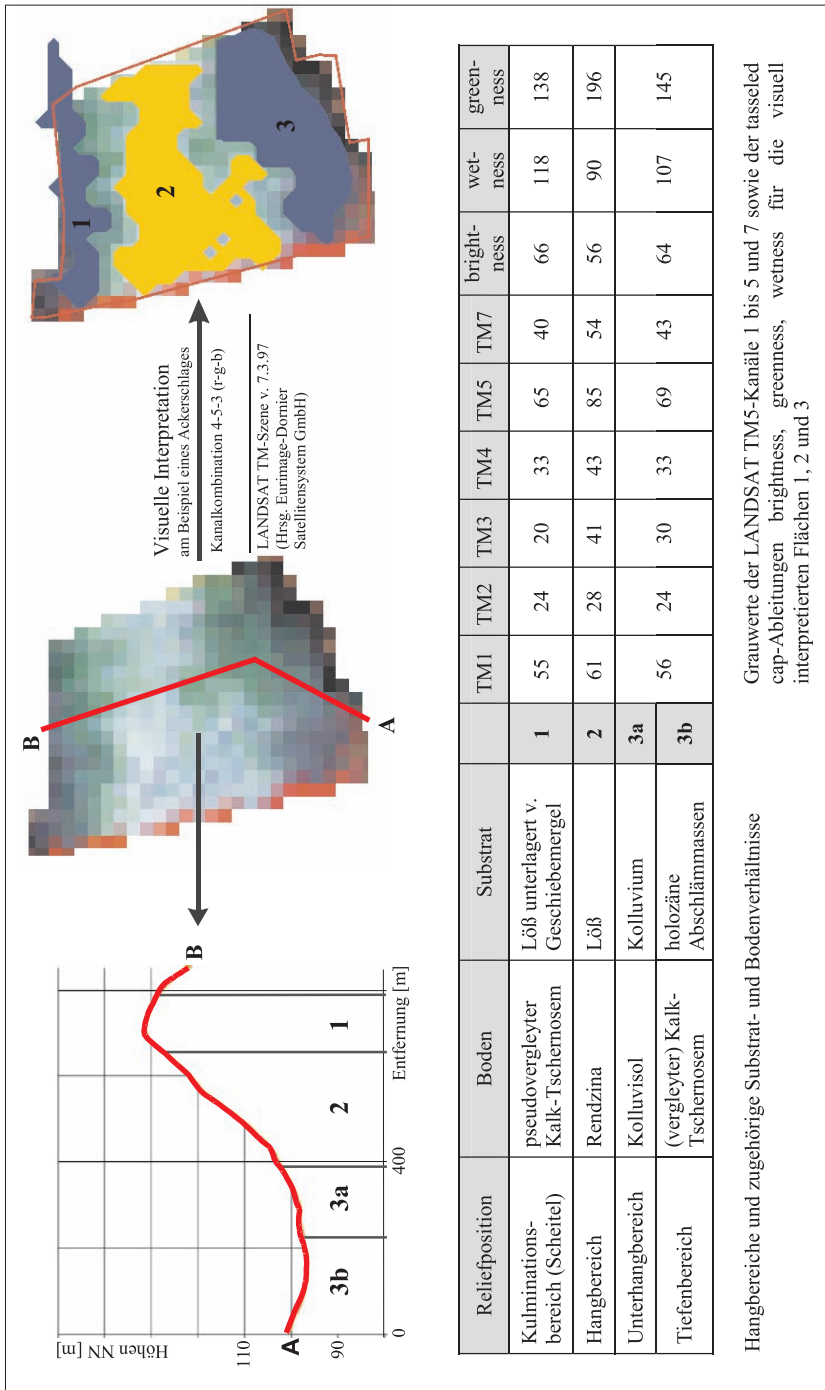


Abb. 6: Prinzip der visuellen Interpretation bodenkundlich relevanter Konturen und deren Zusammenhang mit Relief-, Boden- und Substratverhältnissen.

unabhängig von Substratheterogenität und Vegetationsbedeckung auf das gesamte Untersuchungsgebiet bei hoher inhaltlicher Plausibilität anwendbar zu sein (Abb. 6). Durch die Einbeziehung mehrerer Satellitenbildszenen besteht die Möglichkeit, die Vorteile der jeweiligen Jahreszeit hinsichtlich der Abbildungseigenschaften zu nutzen. Zudem kann sich auf diesem Wege stabilen Bodenmustern im Sinne von SCHRÖDER (1984) genähert werden⁹.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die Ergebnisse der digitalen Reliefanalyse und Satellitenbilddauswertung eine große Relevanz für die bodenkundliche Kartierung des Zielmaßstabes 1 : 50 000 besitzen. Den homogenen Reliefeinheiten und den – mit Einschränkungen – interaktiv ausgewiesenen Tiefenbereichen kommen für die nachvollziehbare Konturfundung bzw. Grenzziehung eine besondere Bedeutung zu. Die verwendeten Satellitenbildszenen sind nur bedingt für die räumliche Abgrenzung bodenkundlich relevanter Konturen geeignet. Voraussetzung sind multitemporale Auswertungen, die zu stabilen Mustern führen können. Ihre Stärke liegt dagegen im inhaltlichen Aussagepotenzial zur Abschätzung der inneren Heterogenität von räumlichen Einheiten. Insgesamt ist festzustellen, dass erst die räumliche und inhaltliche Integration der Informationsträger deren Potenzial für die Ableitung bodenkundlich relevanter Muster und Aussagen ausschöpfen kann (Abb. 7) – ein Umstand, der schon bei der analogen luftbildgestützten bodenkundlichen Kartierung Berücksichtigung fand (vgl. GOOSEN 1967, JAKOB 1981, VILLWOCK 1985, 1983).

⁹ Das Problem, dass sich Bodenformenwechsel in natura zumeist als ein Kontinuum und die üblicherweise verwendeten starren Grenzen lediglich eine Näherung an die natürlichen Verhältnisse darstellen, soll an dieser Stelle nur erwähnt und nicht diskutiert werden (vgl. Satellitenbilddauschnitt in Abb. 6).

Eine einfache Methode der Integration verschiedener Informationsträger ist die GIS-technische Verschneidung z. B. der homogenen Reliefeinheiten mit der MMK, was zur Bildung kleinster gemeinsamer Geometrien führt. Zu beachten ist dabei allerdings, dass das Verschneidungsprodukt durch eine Vielzahl von Flächen kleiner Größe geprägt ist, die eine für den Zielmaßstab 1 : 50 000 sinnvolle Mindestflächengröße unterschreiten und die somit nicht mehr in Bezug zur mittelmaßstäbigen Verteilung der Bodenformen stehen. Auch hat die Verschneidung von Informationsschichten unterschiedlicher Nachvollziehbarkeit insgesamt einen Verlust der Nachvollziehbarkeit zur Folge. Eine Möglichkeit, räumliche Einheiten einer maßstabsgerechten Größe zu erhalten, stellten z. B. CALZOLARI et al. (1996) vor, die das Verschneidungsprodukt von LANDSAT TM5-Ableitungen und digitalen Reliefdaten einer anschließenden Filterung hinsichtlich redundanter Informationen unterzogen.

Eine weitere Möglichkeit der räumlichen und inhaltlichen Integration von raumbezogenen Daten ist die Bildung von gemeinsamen, räumlich definierten Basisgeometrien. Die Flächeneinheiten werden als räumliche Objekte verstanden, die in einem nachfolgenden Schritt mit einem Flächendatensatz bzw. Attributen belegt werden können. Auf diese Weise ist es zum Beispiel möglich, eine integrierte Relief- und Satellitenbilddauswertung vorzunehmen und zu einer Erweiterung der Kartiereinheiten im Sinne von SPIESS et al. (1998) und FRIEDRICH (1999) zu gelangen. Danach stellt sich eine Bodenkarte nur als eine „Sicht“ bzw. Auswertemethode auf die Datengrundlage einer Flächen-datenbank dar. Die Integration weiterer Standortparameter wie Bodennutzung und -bedeckung führt schließlich zu „nutzungsdifferenzierten Bodenformengesellschaften.“

Dank

Der Autor dankt Prof. Dr. CORNELIA GLÄßER (Institut für Geographie der Martin-Luther-Universität Halle) für die anregende

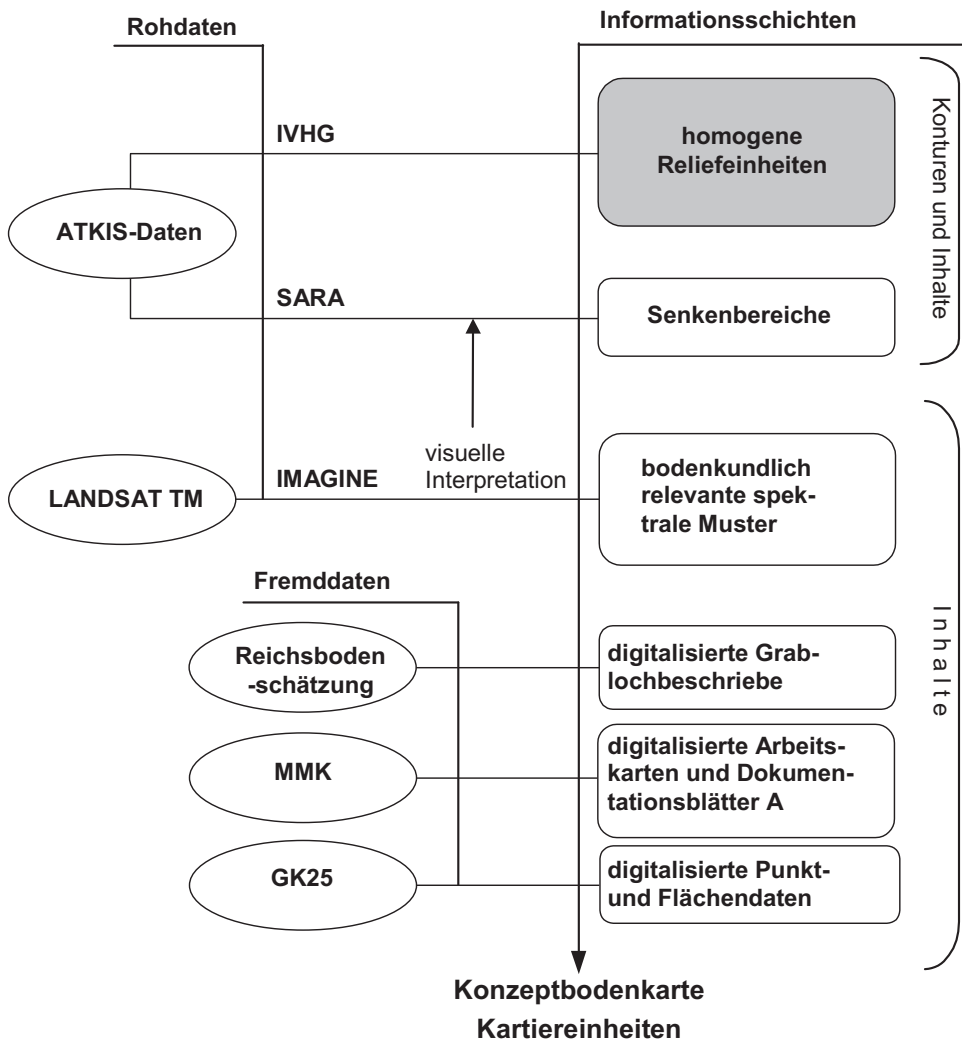


Abb. 7: Räumliche und inhaltliche Integration verschiedener Informationsträger zur Bildung von Kartiereinheiten.

Diskussion bei der Erstellung des Manuskriptes sowie für die Unterstützung der Publikation. Dr. KLAUS FRIEDRICH (Hessisches Landesamt für Geologie und Rohstoffe Wiesbaden) und Herr RÜDIGER KÖTHE (Göttingen) stellten die Reliefanalyseprogramme IVHG und SARA in unkomplizierter Weise zur Verfügung. Dr. MARTIN VOLK (UFZ Leipzig-Halle) sei für das kritische Lesen des Manuskriptes gedankt. Prof. Dr.

RUDOLF KRÖNERT (UFZ Leipzig-Halle) unterstützte die Publikation. Die Veröffentlichung der Reliefanalyseergebnisse unter Nutzung der ATKIS-Höhendaten (Abb. 1 u. 5) erfolgt mit Genehmigung des Landesamtes für Landesvermessung und Datenverarbeitung Sachsen-Anhalt. Für die Bereitstellung und Veröffentlichungsgenehmigung eines Ausschnittes der Bodenkarte Halle und Umgebung 1:50000 sowie für die Un-

terstützung bei der Diplomarbeit sei dem Geologischen Landesamt Sachsen-Anhalt, insbesondere Dr. D. FELDHAUS und Dr. K.-J. HARTMANN, gedankt.

Literatur

- AG BODEN, 1994: Bodenkundliche Kartieranleitung. – 4. Aufl., Hannover.
- ALTERMANN, M., 1970: Böden. – In: KUNERT, 1970.
- BAURIEGEL, A., KÜHN, D. & HANNEMANN, J., 1997: Beziehung zwischen Punkt- und Flächendaten am Beispiel der BÜK 50, Blatt Potsdam. – Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft **85** (3): 1099–1102, Oldenburg.
- BRIXY, I., 1997: Erfassung erosionsgeschädigter Böden in der Lößlandschaft des Querfurter Raumes anhand von Daten des LANDSAT TM. – Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft **83**: 395–389, Oldenburg.
- BRIXY, I., 1998: Satellitenbildanalyse ersionsgeschädigter Böden in der Lößlandschaft des Raumes Halle-Querfurt im Mitteldeutschen Trockengebiet. – Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen.
- CALZOLARI, C., ONGARO, L., SAFRATTI, P. & MAGGAZZINI, P., 1996: Use of LANDSAT TM and DEM data in producing reconnaissance scale soil map – monitoring soils in the environment with remote sensing and GIS. – Proceedings of the ISSS International Symposium in Quagadougou (Burkina Faso) from 6 to 10 February 1995, Institut Français de la Recherche Scientifique pour le Développement en Cooperation, Collection Colloques et Seminaires; 325–340.
- CHRISTENSEN, S., 1999: Anforderungen an Informationsgrundlagen gemäß Bundesbodenschutzgesetz. – Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft **91**: 11–14, Hannover.
- DIKAU, R. & SCHMIDT, J., 1999: Georeliefklassifikation. – In: SCHNEIDER-SLIWA, R., SCHAUB, D. & GEROLD, G. (Hrsg.): Landschaftsökologie. – 217–244, Heidelberg.
- FRIEDRICH, K., 1996: Digitale Reliefgliederungsverfahren zur Ableitung bodenkundlich relevanter Flächeneinheiten. – Frankfurter geowissenschaftliche Arbeiten, D **21**, Frankfurt/Main.
- FRIEDRICH, K., 1998: Multivariate distance methods for Geomorphographic relief classification. – In: Land Information Systems: Developments for planning the sustainable use of land resources, EUR 17729EN, 259–265, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg; <http://www.bgr.de/N2/TEXT/conteu.htm>.
- FRIEDRICH, K., 1999: Bodenverbreitung und Bodenzustand – Sachverstand und Möglichkeiten der Nutzung von Vorinformationen. – Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft **91**: 977–980, Hannover.
- FRIEDRICH, K. & METZLER, D., 1998: Dokumentation zum Programm IVHG – Version 0.71., unveröff.
- GLÄßER, C., 1985: Untersuchungen zur Abbildung von Lößböden in multispektralen Luftbildern. – Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften **10**: 93–103, Gotha
- GLÄßER, C., 1989: Beiträge zur Anwendung der Multispektraltechnik für die Lösung geowissenschaftlicher Arbeiten. – Dissertation B, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- HEINECKE, H.J., FILIPINSKI, M. & DUMKE, I., 1995: Vorschlag zum Aufbau des Fachinformationssystems Bodenkunde. – Geologisches Jahrbuch **F 30**: 3–82, Hannover.
- HERBINGER, W., 1996: Analyse von Möglichkeiten zur Unterstützung der Bodenkartierung durch Photogrammetrie und Fernerkundung. – Diplomarbeit, Universität Karlsruhe.
- KAINZ, W., SCHRÖDER, H., KNAUF, C. & MÖBES, A., 1996: Bodenkarte Halle und Umgebung 1:50000. – Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle.
- KÖTHE, R., GERTH, E. & BÖRNER, J., 1996: Automatische Reliefanalyse für geowissenschaftliche Kartierungen – derzeitiger Stand und Weiterentwicklungen des Programmes SARA. – Arbeitshefte Geologie **1**: 31–37, Hannover.
- KÖTHE, R. & LEHMEIER, F., 1996: SARA – System zur automatischen Reliefanalyse – Benutzerhandbuch. – Geographisches Institut der Universität Göttingen, Göttingen; <http://uggg-pc-s1.uni-geog.gwdg.de/pg/sara/sara-d.htm>.
- KUGLER, H., 1974: Das Georelief und seine kartographische Modellierung. – Dissertation B, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle.
- KUGLER., H, 1982: Geomorphologische Aspekte mittelmaßstäbiger Kartierung landwirtschaftlicher Nutzflächen. – In: DEMEK, J., EMBLETON, C. & KUGLER, H. (Hrsg.): Geomorphologische Kartierung in mittleren Maßstäben, Gotha.
- KÜHN, D., 1996: Anleitung zur Erarbeitung einer Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:50000 (BÜK 50) für das Land Brandenburg. – Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, Dezernat Bodengeologie, unv..

- KUNERT, R., 1970: Geologische Spezialkarte 1:25000 und Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte 1:25000, Blatt Könnern 4336 – Bearbeitungsstand 1963. – Zentrales Geologisches Institut, Berlin.
- LVerMD – Landesamt für Landesvermessung und Datenverarbeitung Sachsen-Anhalt, 1998: Topographische Landeskartenwerke. – Halle.
- MICHEL, C., 1994: Großmaßstäbige Bodenkartierung zur Abschätzung des Erosionsgeschehens im Bereich Himmelberge zwischen Wettin und Dössel. – Diplomarbeit, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle.
- MÖLLER, M., 1999: Anwendung von Methoden der Satellitenbilddauswertung und digitalen Reliefanalyse für die bodenkundliche Kartierung am Beispiel des Raumes Könnern für den Zielmaßstab 1:50000. – Diplomarbeit, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle.
- RIEDEL, C., 1981: Untersuchungen zur bodengeographischen Interpretation von multispektralen Luftbildern. – Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle
- SCHRÖDER, H., 1984: Musterausprägung und spektrales Abbildungsverhalten von Lößböden im Mittelsächsischem Hügelland. – Geographische Berichte **112** (3): 185–196.
- SCHRÖDER, H., 1987: Bodenformenkarte 1:5000 – Versuchsfeld Golbitz und Strenzauendorf. – GFE, Halle.
- SCHUBERTH, K., 1997: Geologische Verhältnisse und Landschaftsformen. – Arbeiten aus dem Naturpark „Unteres Saaletal“ **5**: 10–28, Halle.
- SPIESS, E. D., BROSCHISKI, W.S., FRIEDRICH, K. & VORDERBRÜGGE, TH., 1998: A Soil Information Database for spatial soil data integrating landuse relief classification. – In: Land Information Systems: Developments for planning the sustainable use of land resources, EUR 17729EN, 481–499, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg; <http://www.bgr.de/N2/TEXT/conteu.htm>.
- SU, Z., NEUMANN, P., FETT, W., SCHUHMAN, A. & SCHULTZ, G.A., 1992: Application of remote sensing and geographic information system in hydrological modelling. – EAR-SeL, *Advances in Remote Sensing* **1** (3): 180–185.
- VILLWOCK, G., 1983: Untersuchungen zur Ermittlung von Merkmalen der standörtlichen Heterogenität landwirtschaftlicher Nutzflächen mit Methoden der Geofernerkundung. – Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle.
- VILLWOCK, G., 1985: Abbildungsverhalten bodenbedingter Standortmerkmale in multispektralen Luftbildern als Grundlage zur Erfassung der Heterogenität landwirtschaftlicher Nutzflächen. – *Wiss. Z. Univ. Halle XXXIV'85*, M, **3**: 37–45, Halle
- WEILAND, M., 1982: Untersuchungen zur standörtlichen Heterogenität von Ackerflächen im Raum Friedeburg“. – Diplomarbeit, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle.
- WEVER, T., 1989: Versuch eines Rückschlusses aus der Vegetation auf den geologischen Untergrund im Raum Amberg mit Hilfe der digitalen Bildverarbeitung nach TM-Daten. – DFVLR-FB 89–24, Oberpfaffenhofen.

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Geogr. MARKUS MÖLLER
 Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH,
 Sektion Angewandte Landschaftsökologie
 Permoserstr. 15
 D-04318 Leipzig
 Tel.: 0341/235-2586, Fax: 0341/235-2511
 e-mail: moeller@alok.ufz.de

Manuskript eingegangen: November 2000
 Angenommen: Dezember 2000

Erfassung von Waldökosystemen durch Hyperspektraldaten

MICHAEL KÖHL, Dresden & MARKUS LAUTNER, München

Zusammenfassung: Hyperspektrale Aufnahmesysteme bieten auf Grund ihrer Charakteristik ein hohes Potenzial, um die Anwendung von Fernerkundungsdaten auf dem Forstsektor weiter voranzutreiben, insbesondere zur Beschreibung der so genannten NWGS (Non-Wood Goods and Services), wie der biologischen Diversität oder der Schutzfunktion von Wäldern. Im vorliegenden Beitrag wird eine Untersuchung zur Eignung von Hyperspektraldaten für die Erfassung von Waldökosystemen beschrieben, die im Rahmen des vom DLR, Bonn und Dornier Satellitensysteme GmbH, Friedrichshafen geförderten ProSmart Projektes durchgeführt wurde.

Hyperspektrale Befliegungsdaten des australischen HyMap-Sensors wurden für ein Testgebiet im Erzgebirge, südlich von Dresden, ausgewertet. Die Daten wurden zunächst einer Minimum Noise Fraction Transformation unterzogen und dann jeweils einer spektralen Mischungsanalyse sowie einer Maximum-Likelihood Klassifikation zugeführt. Die spektrale Mischungsanalyse lieferte, vor allem auf Grund ungünstiger Beleuchtungsverhältnisse während der Aufnahme, nur teilweise gute Ergebnisse, so zum Beispiel bei der Differenzierung von Laub- und Nadelhölzern. Bei der Klassifizierung einzelner Bestandesmerkmale mit dem Maximum-Likelihood Algorithmus konnten besonders bei der weiteren Differenzierung von Baumartengruppen und der Ausweisung natürlicher Entwicklungsstufen gute Ergebnisse erzielt werden.

Die verbesserte spektrale Auflösung und eine nahezu kontinuierliche Abdeckung des optischen Spektralbereiches ermöglichen es, den Nutzern hyperspektraler Daten, im Vergleich zu multispektralen Systemen, Bestandstypen in einer größeren Anzahl von Klassen und mit verbesserter Genauigkeit zu erfassen. Obwohl hinsichtlich der operationalen Nutzung des Informationsgehaltes von Hyperspektraldaten noch deutlicher Forschungsbedarf besteht, erlauben die erzielten Ergebnisse eine äußerst günstige Prognose für den zukünftigen Einsatz solcher Daten auf dem Forstsektor.

Summary: *Assessment of Forest Eco-Systems with Hyperspectral Data.* Due to its specifications, hyperspectral imaging systems show a high potential for further extension of remote sensing data applications in the forestry sector, especially for the evaluation of non-wood goods and services, such as biological diversity or the protective function of forests. In this paper we present a study dealing with the suitability of hyperspectral data for the mapping of forest eco-systems, carried out in the framework of the ProSmart project, initiated by the German Aerospace Research Centre (DLR), Bonn and Dornier Satellite Systems, Friedrichshafen.

Airborne hyperspectral data of the Australian HyMap sensor, acquired over a test site located in the Ore Mountains, has been analysed. As a first step a minimum noise fraction transformation was applied to the data. The transformed data were used as input to a spectral mixture analysis and to a maximum likelihood classification. Due to inconvenient illumination conditions during data acquisition, the spectral mixture analysis provided good results only in some cases, like the assessment of mixture proportions of deciduous and coniferous trees. Classification of stand types, using the maximum likelihood algorithm, provided good results especially for further differentiation of tree species groups and for the mapping of natural age classes.

Compared with multispectral systems, improved spectral resolution and the almost continuous coverage of the optical part of the spectrum enable the users of hyperspectral data to map a larger number of stand type classes with improved accuracy. Despite a clear need for further research concerning the operational exploration of the information content of hyperspectral data, the results achieved in this study are very promising regarding future use of such data in the forestry sector.

Einleitung

Multispektrale Fernerkundungsdaten stellen für die extensive, großräumige Erfassung von Wäldern ein ideales und vielfach beschriebenes Mittel dar. Sie weisen allerdings deutliche Defizite bei der Erfassung kleinräumiger Waldstrukturen auf, wodurch ihre Einsatzmöglichkeiten auf dem Forstsektor eingeschränkt sind. Für viele Fragestellungen sind die mit den derzeit verfügbaren Multispektraldaten trennbaren Klassen, z. B. Wald und Nichtwald oder Laub-, Nadel- und Mischwald nicht ausreichend (BODMER 1993, KELLENBERGER 1996a, 1996b). Dies trifft vor allem dann zu, wenn Informationen für einzelne Bestände oder Merkmale zur Beschreibung der Schutz- und Erholungsfunktion (Non-Wood Goods and Service, NWGS) oder der biologischen Diversität oder Naturnähe von Wäldern erforderlich sind.

Hyperspektrale Fernerkundungssensoren sammeln Bilddaten in vielen, engen und benachbarten spektralen Kanälen. Die damit gewonnenen Datensätze enthalten eine Vielzahl von Kanälen, von denen in jedem die jeweilige Szene in einem engen Wellenlängenbereich betrachtet wird. Obwohl Hyperspektraldaten eine natürliche Erweiterung des Konzepts von multispektralen Daten darstellen, werden für ihre Analyse und Interpretation andere als die bekannten und bewährten Ansätze zur Auswertung von Multispektraldaten verwendet. Eine hyperspektrale Szene kann als ein einzelnes Bild mit einem Spektrum von Grauwerten, die für jede Bildzelle vorliegen, aufgefasst werden. Diese Bildspektren können mit im Feld oder im Labor bestimmten Spektren verglichen werden und erlauben es so, die spektralen Signaturen von Objekten zu erkennen und zu kartieren.

Die Verwendung von Hyperspektraldaten in der Mineralogie und Geologie wurde vielfach beschrieben. Sie ermöglicht hier eine Erdoberflächenbeschreibung, die in ihrem Detaillierungsgrad herkömmlichen multispektralen Daten deutlich überlegen ist (PIETERS & ENGLERT 1993). In diesem Beitrag wird das grundsätzliche Potenzial von Hy-

perspektraldaten für die Erfassung von Waldökosystemen beschrieben.

Eigenschaften und Analyse von Hyperspektraldaten

Daten, die durch abbildende Spektrometer erzeugt werden, unterscheiden sich durch die hohe Anzahl von erfassten Wellenlängenbereichen von multispektralen Sensoren und führen zur Bezeichnung „hyperspektral“. Die erzeugten hyperspektralen Daten können als Kubus aufgefasst werden, der in zwei Dimensionen die räumliche Lage beschreibt und in einer dritten Dimension Wellenlängen repräsentiert (Abb. 1). Das Volumen der bereitgestellten Datensätze übersteigt das Volumen multispektraler Datensätze um ein Vielfaches. Allerdings sind hyperspektrale Datensätze nicht frei von Re-

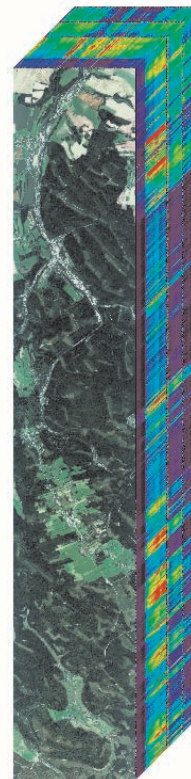


Abb. 1: Hyperspektraler Kubus

dundanzen, so dass gegenüber multispektralen Daten der Informationsgehalt nicht in gleichem Maße wie das Datenvolumen steigt. Diese beiden Eigenschaften – hohe spektrale Differenzierung und redundante Information – bilden den Hintergrund für die einzelnen Ansätze zur Analyse hyperspektraler Daten.

Die *Spektralanalyse* (Spectral Analysis) im engeren Sinne nutzt die Informationen des gesamten, aufgezeichneten Spektralbereichs aus und sucht nach Eigenschaften der Spektren, die denen bekannter Objekte ähneln. Eine Möglichkeit, die hohen Rechenzeiten der Verfahren zur *Spektralanalyse* durch Datenreduktion zu verringern, bietet die *Minimum Noise Fraction Transformation*. Sie extrahiert aus der Gesamtmenge der verfügbaren Kanäle die Untermenge von Kanälen, die relevante Informationen enthalten und hat die Beseitigung von Redundanzen zum Ziel. Die meisten weitergehenden Analyseverfahren können sowohl auf die ursprünglichen Spektraldaten als auch auf die MNF-transformierten Daten angewendet werden.

Durch die hohe spektrale Auflösung von Hyperspektralscannern werden auch die atmosphärischen Absorptionseigenschaften sensitiv erfasst und abgebildet und müssen vom Datensatz „entfernt“ werden, um eine Überlagerung mit den Absorptionseigenschaften der Objekte auf der Erdoberfläche zu vermeiden. Ebenso beeinflussen Faktoren wie Beleuchtungsunterschiede bedingt durch die Topographie und den Sonnenstand, Sensoreffekte oder die Durchlässigkeit der Erdatmosphäre für die Sonnenstrahlung in Abhängigkeit von der Wellenlänge die vom Sensor erfasste Strahlungsenergie. Durch die Kalibrierung werden diese die Reflexion von Materialien am Boden überlagernden Effekte herausgerechnet und Strahlungswerte, wie sie vom Sensor aufgezeichnet werden, in Reflexionswerte umgewandelt. Neben einer detaillierten oder approximativen radiometrischen Korrektur bietet sich die Datennormalisierung zur Kalibrierung hyperspektraler Daten an. Der interessierte Leser sei hier auf Arbeiten von GAO et al. 1993, GREEN & GRAIG 1985 und

ROBERTS et al. 1986 verwiesen. Im folgenden werden die Minimum Noise Fraction Transformation und die Spektralanalyse als grundlegende Verfahren zur Analyse hyperspektraler Daten näher beschrieben.

Minimum Noise Fraction Transformation

Benachbarte hyperspektrale Kanäle weisen visuell und numerisch Ähnlichkeiten und somit redundante Informationen auf. Ein Mittel zur Reduktion der Redundanzen ist die Hauptkomponentenanalyse (Principle Component Analysis, PCA), die einen neuen Datensatz mit geringerer spektraler Redundanz generiert.

In der PCA werden für Linearkombinationen der ursprünglichen Spektralwerte der einzelnen Pixel Gewichte berechnet, die orthogonale Rotationstransformationen bewirken, d.h. Drehung des Achsensystems unter Beibehaltung der Rechtwinkligkeit der Achsen. Die neuen Achsen erklären sukzessive maximale Varianz und stellen die PCA-Faktoren dar. Die PCA-Faktoren können als aus den ursprünglichen Messwerten extrahierte Faktoren aufgefasst werden. Die Größe der Varianzen auf den neuen Achsen, i.e. den PCA-Faktoren, ist durch die Höhe der Variableninterkorrelation bestimmt; je höher die Variablen miteinander korrelieren, desto weniger Faktoren werden zur Aufklärung der Gesamtvarianz benötigt. Der Eigenwert eines Faktors ist ein Maß dafür, wie viel der Gesamtvarianz aller Variablen durch diesen Faktor erfasst wird und wird zur Auswahl der Faktoren, die am meisten zur Varianzaufklärung dienen, herangezogen. Wichtige Bildinformationen sind in den Faktoren niedriger Ordnung enthalten, während das Rauschen (noise) mit den Faktoren höherer Ordnung zunimmt. Die Verwendung der Faktoren niedriger Ordnung statt der ursprünglichen Kanäle führt zu einer Datenreduktion und kann die visuelle Interpretation und die Bildverarbeitung beschleunigen.

Falls die Kanäle in einem hyperspektralen Datensatz unterschiedliche Anteile von Rauschen enthalten, weisen die mit einer

Standard-PCA bestimmten Faktoren nicht notwendigerweise den gewöhnlichen Trend eines zunehmenden Rauschens mit zunehmender Ordnung der Faktoren auf. Daher wird zur Auswertung hyperspektraler Daten eine modifizierte Form der Hauptkomponententransformation verwendet, welche die Faktoren nach einem abnehmenden Signal-Rausch Verhältnis ordnet. Diese modifizierte Form wird als Minimum Noise Fraction (MNF) Transformation bezeichnet (BOARDMAN & KRUSE 1994, BOARDMAN et al. 1995, GREEN et al. 1988, LANDGREBE 1999).

Die MNF-Transformation kann als geschachtelte Hauptkomponententransformation aufgefasst werden. Zunächst wird mit der MNF-Prozedur unter Beachtung der räumlichen Variation der Grauwerte das Rauschen in jedem Kanal geschätzt. Danach werden zwei aufeinander folgende Hauptkomponententransformationen durchgeführt. Die erste verwendet die Rauschschätzungen, um den Datensatz in ein Koordinatensystem zu transformieren, in dem das Rauschen unkorreliert und in jeder Komponente gleich ist. Die zweite, darauf folgende Hauptkomponentenanalyse wird auf die hinsichtlich des Rauschens adjustierten Daten angewendet und führt zu Komponenten, die nach der Varianz geordnet sind. Die MNF-Prozedur identifiziert somit einen Satz von Komponenten, in denen das Rauschniveau gleichmäßig mit der Ordnung der Komponenten zunimmt. Die resultierenden Komponenten niedriger Ordnung können somit fast vollständig frei von Rauschen sein. Für die weitere Verarbeitung der hyperspektralen Daten wird die inhärente Dimensionalität der Daten durch die Untersuchung der Eigenwerte und des Erscheinungsbildes der entsprechenden Bilder bestimmt. Der Datenraum kann in zwei Teile aufgeteilt werden: (1) ein Datenraum, der durch hohe Eigenwerte gekennzeichnet ist und zu kohärenten Bildern (images), sog. Eigenimages, führt und (2) ein komplementärer Datenraum, der in der Regel durch Eigenwerte kleiner oder gleich 1 gekennzeichnet ist und Eigenimages enthält, die vom Rauschen dominiert werden und die

keine räumliche Information enthalten. Durch die Verwendung des ersten Datenraumes, der kohärente Eigenimages enthält, wird das Rauschen von den Daten getrennt und die weitere Bildanalyse verbessert.

Spektralanalyse

Ziel der Spectral Mixture Analysis (SMA) ist die Identifikation der wichtigsten spektralen Bestandteile in jedem Pixel. Hierbei wird angenommen, dass jedes Pixel einen variablen Anteil von „reinen“ Objekten – so genannte Endmember – enthält und dass die in einem Pixel gemessene Strahlung eine Linearkombination der Strahlung der einzelnen Endmember ist. Die Annahme einer linearen Kombination der Strahlungsanteile stellt dabei eine Näherung dar, die durch nichtlineare Interaktionen bei sehr kleinräumigen Wechseln in der Oberflächenbeschaffenheit beeinträchtigt werden kann.

Bei multispektralen Daten konnte dieser Ansatz zur Analyse von Mischpixeln selten erfolgreich angewendet werden, da die meisten Landbedeckungsklassen (cover types) auf Grund der geringen Anzahl von Kanälen nicht ausreichend differenziert werden können. Bei Hyperspektraldaten steht hingegen eine Vielzahl von Kanälen zur Verfügung, welche die Bestimmung der Mischungsanteile einzelner, reiner Klassen aus den erfassten Spektren erlauben.

Prinzipiell kommen zwei verschiedene Ansätze zur Festlegung der zu verwendenden Endmember in Betracht: zum einen der Vergleich der Bildspektren mit unabhängig davon aufgenommenen Feld- oder Laborspektren und zum anderen die Erzeugung der benötigten Endmember Spektren aus dem Bild selbst (image-derived endmember). Die Verwendung von Feld- oder Laborspektren setzt eine hochwertige Kalibrierung und optimale Aufnahmebedingungen voraus, da der Bildinhalt mit absoluten Messwerten verglichen wird. Häufig wird deshalb der Erzeugung von Endmembers aus dem Bildinhalt der Vorzug gegeben, wenn auch die „Reinheit“ dieser Spektren zumeist etwas beeinträchtigt ist. Der erste Schritt der Spektralanalyse besteht dann

darin, reine Pixel zu suchen und aus diesen die Spektren von Endmitgliedern zu bestimmen. Zur Suche nach reinen Pixeln stehen verschiedene Ansätze zur Verfügung, von denen hier nur der Pixel-Purity-Index (PPI) beschrieben wird. Wurden Hyperspektraldaten einer MNF-Transformation unterzogen, stellen die MNF-Komponenten eine „destillierte“ Version des hyperspektralen Datensatzes dar und können für eine Schnellschätzung der reinen Pixel verwendet werden. Stellt man sich die Bildspektren als geplottete Punkte in einem n -dimensionalen Merkmalsraum vor, dann werden sich die Spektren der Endmitglieder wie Krusten um die Datenwolken legen. Der PPI generiert eine große Zahl (i.d.R. $> 100\,000$) von Zufallsvektoren, die alle im Ursprung eines n -dimensionalen Koordinatensystems verankert sind. Die Spektralkpunkte werden auf jeden Zufallsvektor projiziert und die Spektren markiert, die in einem Bereich ober- oder unterhalb eines Grenzwertes liegen (Abb. 2). Anschließend wird bestimmt, wie oft jedes Pixel als Extrem markiert wurde. Pixel mit hohen Werten in dem aus der Auszählung resultierenden PPI-Raster sollten primär mit den Randspektren im Bild korrespondieren und somit die Pixel identifizieren, die Endmitglieder enthalten.

Die so selektierten „reinen“ Spektren werden zur linearen spektralen Entmischung (linear spectral unmixing) von Mischpixeln verwendet. Die spektrale Ent-

mischung geht davon aus, dass Strahlungsenergie, die auf einem Objekt am Boden ankommt, umgewandelt, d.h. transmittiert, reflektiert oder absorbiert wird. Da hier der Energieerhaltungssatz gilt, lässt sich aus dem Anteil der reflektierten Strahlung ein Objekt am Boden identifizieren. Bei Mischpixeln wird die von verschiedenen Objekten innerhalb eines Pixels reflektierte Strahlung weitgehend linear kombiniert, so dass die reflektierte Strahlungsenergie von den Flächenanteilen der Objekte im Pixel abhängt. Die resultierenden Spektren sind somit ein Komposit der reinen Spektren der Objekte in einem Pixel. Mit diesen Voraussetzungen lässt sich eine Gleichung aufstellen, welche die für ein Pixel erfasste Reflexion in die Anteile der jeweiligen Endmitglieder umwandelt.

Falls R_n , $n = 1, \dots, N$ die beobachtete Reflexion eines Pixels in Spektralband n und $a_{n,m}$ die spektrale Reflexion von Endmitglied m in Band n ist, folgt

$$R_n = \sum_{m=1}^M f_m a_{n,m} + \xi_n, \quad n = 1, \dots, N \quad (1)$$

mit

f_m = Anteil von Endmitglied m

M = Anzahl der selektierten Endmitglieder

N = Anzahl der Bänder

ξ_n = Fehlerterm in Band n

Gleichung (1) besagt, dass die beobachtete Reflexion eines Pixels eine Linearkombination der Reflexionswerte der Endmitglieder ist. Der Fehlerterm ξ_n gibt an, wie genau die Linearkombination die beobachtete Strahlung beschreibt. Da (1) nicht bestimmt ist, betrachtet man die Gesamtheit aller verfügbaren N Bänder und stellt die Mischungsgleichung in Matrixform dar.

$$R = Af + \xi \quad (2)$$

wobei f ein Spaltenvektor der Dimension M (= Anzahl Endmitglieder) ist. R und ξ sind Spaltenvektoren der Dimension N (= Anzahl Bänder) und A ist eine $N \times M$ Matrix der Endmitglieder-Signaturen. Die spektrale Entmischung sucht nach einer Kombination von Endmitgliedern, die den Fehlerterm ξ mi-

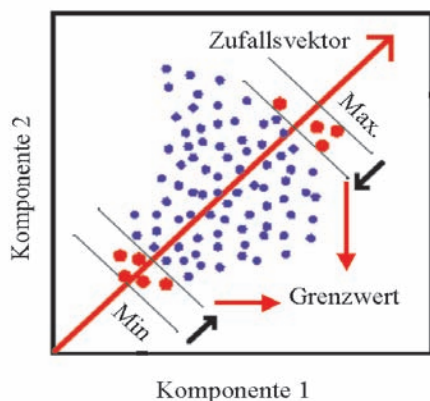


Abb. 2: Zufallsvektoren zur Endmember-Bestimmung

nimiert. Unter der Annahme, dass ein korrekter Satz von Endmitgliedern gefunden wurde, kann die folgende, vereinfachte Gleichung gelöst werden

$$R = Af \quad (3)$$

Der Vektor der Mischungsanteile, f , kann nicht durch eine einfache Inversion gefunden werden, da in der Regel mehr Gleichungen als Unbekannte vorhanden sind. Daher wird eine *Kleinste Quadrate* Lösung gesucht, indem eine Pseudoinverse eingeführt wird.

$$f = (A^t A)^{-1} A^t R \quad (4)$$

Die Mischungsanteile müssen die Bedingungen erfüllen, dass ihre Summe gleich eins und dass kein Anteil negativ ist.

$$\sum_{m=1}^M f_m = 1$$

$$0 \leq f_m \leq 1 \text{ für alle } m$$

Diese Bedingungen können teilweise verletzt werden, wenn die Auswahl der Endmember nicht adäquat ist oder die Spektren der Endmember aus gemittelten Spektren von verschiedenen Klassen bestimmt wurden (GROSS & SCHOTT 1998). Das beschriebene Verfahren wird in der Literatur als „linear spectral unmixing“ bezeichnet und bietet die detaillierteste Erfassung der untersuchten Oberfläche. Daneben existiert noch eine Vielzahl alternativer Methoden (z. B.: spectral angle mapper, matched filtering) zur Bestimmung der Verteilung bestimmter Oberflächenspektren im Bild, die sich aber zum größten Teil nur für einen groben Überblick der Verhältnisse im Untersuchungsgebiet eignen. Auch die Verwendung herkömmlicher multispektraler Verfahren, wie dem Maximum-Likelihood Algorithmus, kann unter bestimmten Umständen die Ergebnisse verbessern.

Testgebiet und Sensor

Die Eignung von Hyperspektraldaten zur Beschreibung von Waldökosystemen wurde in einer Studie untersucht, die im Rahmen

des von der DLR, Bonn und Dornier Satellitensysteme GmbH, Friedrichshafen geförderten ProSmart Projektes¹ durchgeführt wurde. Das Testgebiet Bärenfels liegt südlich von Dresden im Erzgebirge. Die Wälder des Testgebiets weisen auf ca. einem Drittel der Waldfläche einen normalen oder gedrängten Kronenschluss auf, auf mehr als zwei Dritteln ist der Kronenschluss locker bis aufgelöst. Somit ist die Wahrscheinlichkeit für Mischpixel entsprechend hoch, da bei einem nicht geschlossenen Kronendach in einem Pixel neben Bäumen auch Waldboden, Schatten oder andere Vegetation vorkommen. Bei den Baumarten dominieren Fichten und Buchen.

Im August 1998 wurde das Testgebiet mit dem Hyperspektralscanner HyMapTM der australischen Firma Integrated Spectronics befliegen. Der Scanner zeichnet Daten in einem Wellenlängenbereich von 0,4 bis 2,4 μm in 128 Spektralbändern auf, die geometrische Auflösung betrug bei der gewählten Flughöhe ca. 5–6 m. Zusammen mit der High Resolution Stereo Camera (HRSC-A) des Instituts für Planetenerkundung, DLR Berlin (LEHMANN et al. 1999) wurde der Hyperspektralscanner in einer Cessna 208 Caravan montiert. Prozessierung, Kalibrierung und Atmosphärenkorrektur der HyMapTM Daten wurden von der DLR, Institut für Optoelektronik durchgeführt (MÜLLER et al. 1999).

Neben den HRSC-A Daten wurden Forstplanungsdaten, die von der Landesanstalt für Forsten, Graupa zur Verfügung gestellt wurden, sowie Feldaufnahmen zur Auswertung und Verifikation der Hyperspektraldaten verwendet. Sämtliche Daten wurden in ein geographisches Informationssystem integriert. Die Auswertung der Hyperspektraldaten erfolgte mit der Bildverarbeitungssoftware ENVI (ENVI 1999).

¹ Weitere Informationen zum Projekt stehen unter <http://www.observe.de/prosmart> zur Verfügung

Ergebnisse

Die Hyperspektraldaten des Testgebiets wurden zunächst einer MNF-Transformation unterzogen. Hierdurch wurde der Informationsgehalt der Daten neu geordnet und weitgehend vom Rauschen getrennt. Der Informationsgehalt der MNF-Komponenten wurde mit Hilfe der Eigenwert-Plots (Abb. 3) und der Kohärenz-Ausprägung in den Bilddaten abgeschätzt. Abb. 4 zeigt einen MNF-transformierten Bildausschnitt.

Zur Ermittlung der Endmember aus dem Bildinhalt erfolgte anschließend die Berechnung des Pixel Purity Index. Auf die MNF-transformierten Daten wurden 150 000 Zufallsvektoren gelegt, Pixel mit Extremwerten markiert und durch Auszählung der Mar-

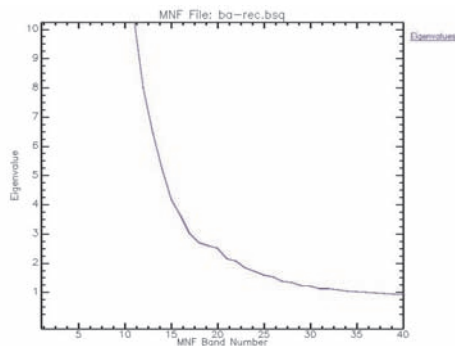


Abb. 3: Eigenwert-Plot für die Transformation der Daten des Untersuchungsgebietes Bärenfels

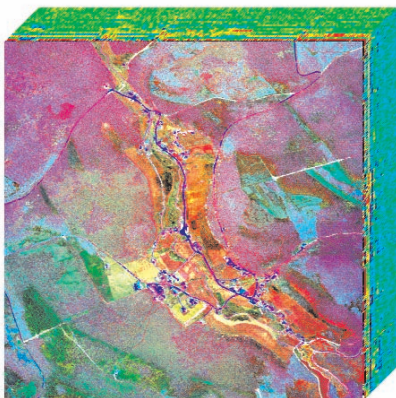


Abb. 4: MNF-transformierter Bildausschnitt

kierungen pro Pixel spektral reine Pixel extrahiert. Es zeigte sich, dass bei der Anwendung dieses Verfahrens auf Bildausschnitte, die eine sehr heterogene Oberflächenverteilung repräsentieren, eine sehr große Anzahl von Endmember Spektren extrahiert werden kann. Die Auswahl eines geeigneten Satzes von Endmembers ist kritisch für die Brauchbarkeit der resultierenden Klassifikationen, bzw. Verteilungskarten. Derzeit wird für die Auswahl noch kein operationelles Verfahren angeboten, so dass nur die Möglichkeit besteht, in einem iterativen Verfahren verschiedene Endmember und Endmember-Kombinationen zu testen und sich für die beste Lösung zu entscheiden. Abb. 5 zeigt für ein ausgewähltes Gebiet ein Zwischenergebnis der Mischungsanalyse (linear spectral unmixing), in dem die Endmember Anteile „Vegetation“, „Boden“ und „Shade“ relativ zueinander dargestellt sind.

Einige Probeläufe mit einer sehr feinen Aufgliederung von Endmembers, die unter anderem einzelne Baumarten berücksichtigt, brachten keine zufrieden stellenden Er-

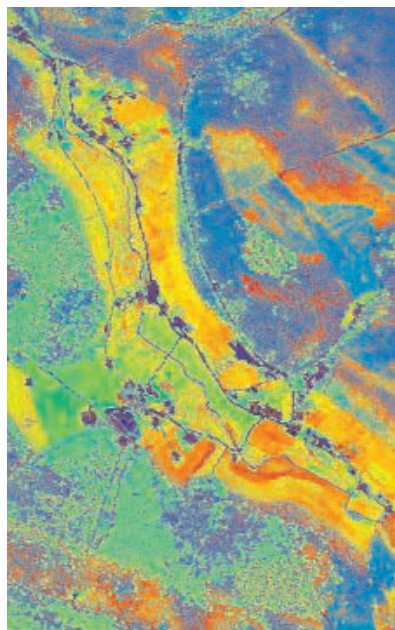


Abb. 5: Zwischenergebnis der Mischungsanalyse (linear spectral unmixing) für ein ausgewähltes Gebiet

gebnisse. Auch bei der Verwendung weniger ausgewählter Endmember konnten nur teilweise überzeugende Ergebnisse erreicht werden. Insbesondere die inhomogenen Beleuchtungsverhältnisse, die bei der Aufnahme der Daten geherrscht haben (unterschiedlich starke, hohe Bewölkung) haben zu erheblichen Einschränkungen bei der Durchführung des geplanten Verfahrens geführt. Die damit verbundene ungleichmäßige Verteilung der Endmember Anteile im Bild führte unter anderem dazu, dass keine standardisierte, auf der Verteilung der Anteile beruhende Reklassifikation der Endmember Anteile zu Waldkompositionsklassen durchgeführt werden konnte. Zur Klassifikation von Entwicklungsstufen und Beschirmungsgraden wären aber typische Verhältnisse der betroffenen Endmember Anteile untereinander Voraussetzung gewesen. Die schwierige Bewölkungssituation hat außerdem die vorangegangene Atmosphärenkorrektur beeinträchtigt und verhindert die Übertragbarkeit von Schwellwerten auf andere Untersuchungszeitpunkte und -gebiete.

In der vorliegenden Untersuchung wurde letztendlich ein aus 6 Spektren bestehender Satz von Endmembers gewählt. Neben den Endmembers ‚Shade‘ (Schatten) und lokale Beleuchtungsunterschiede), ‚Laubwald‘ und ‚Nadelwald‘ wurden noch drei Endmember für den ‚Hintergrund‘ berücksichtigt, welche die überwiegend grüne Vegetation des Unterwuchses, sonstige Bestandteile des Untergrundes und die reine Bodenreflexion beschreiben. Die aus den entsprechenden Endmember-Anteilen durch linear spectral unmixing erzeugte Laub-/Nadelwaldklassifikation führte zu überzeugenden Ergebnissen (Abb. 6). Mit Hilfe dieser Klassifizierung und unter Verwendung der restlichen Endmember Anteile konnte eine geeignete Grundlage für eine Waldmaske erstellt werden. Dies ist vor allem deshalb von Bedeutung, weil die Erfassung von Blößen als Waldflächen in der Abgrenzung zu anderen Flächen mit herkömmlichen Methoden eher problematisch ist.

Um trotz der schwierigen Bewölkungssituation Aussagen zur Verteilung von Be-

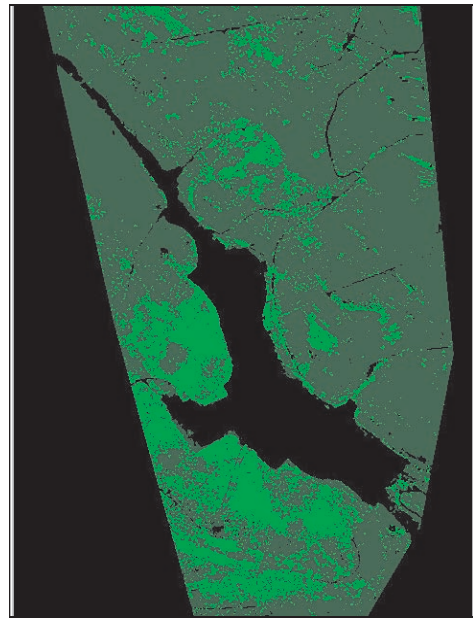


Abb. 6: Laub-/Nadelklassifikation aus Endmember-Anteilen (dunkelgrün: Nadelholz hellgrün: Laubholz)

standestypen machen zu können, wurde zusätzlich ein Signaturesatz zur Klassifikation einzelner Bestandsmerkmale mit dem Maximum-Likelihood (ML) Algorithmus erstellt. Als Grundlage dafür dienten nur die ersten neun MNF-Kanäle des abgebildeten Untersuchungsgebietes, da in ihnen bereits ein Großteil der Information gespeichert ist und sich der ML Algorithmus allgemein anfälliger für Eingabekanäle mit geringem zusätzlichem Informationsgehalt zeigt. Für das Untersuchungsgebiet wurde je ein Klassifikationsergebnis bezüglich der Baumartenzusammensetzung, der natürlichen Entwicklungsstufen und des Beschirmungsgrades abgeleitet. Die daraus zunächst resultierende feine Klasseneinteilung wurde anschließend entsprechend den Kontingenzmatrizen zu einem sinnvollen größeren Klassenschema aggregiert.

Für den Beschirmungsgrad konnte dabei auf diesem Weg kein befriedigendes Ergebnis erzielt werden. Die Interdependenzen zwischen den betrachteten Merkmalen drücken sich hier besonders stark aus.

Baumarten und vor allem die Altersgruppen überlagern die durch den Beschirmungsgrad hervorgerufenen Effekte stark. Bezüglich der natürlichen Entwicklungsstufen und der Baumartengruppen konnten deutlich bessere Ergebnisse erzielt werden. Diese Zwischenergebnisse wurden mit der Waldmaske verschnitten und mit Filtermethoden nachbearbeitet.

Bei den Entwicklungsstufen konnten drei verschiedene Klassen ausgewiesen werden (Abb. 7). Dabei ist besonders bemerkenswert, dass sich neben den Entwicklungsstufen Blöße-Kultur und Stangenholz-Altholz auch die Dickungen mit einer verhältnismäßig guten Nutzergenauigkeit (User accuracy) von ca. 70% erfassen lassen. Gerade die Trennung von Dickungen und älteren Beständen ist mit z.B. Landsat TM Daten so gut wie nicht zu leisten. Die Gesamtgenauigkeit für die Ausweisung von drei Entwicklungsstufen liegt bei über 90%.

Diskussion

Die Beschreibung des Zustandes und der Entwicklung von Waldökosystemen erfordert eine Datengrundlage, die eine Vielzahl von kleinflächig expliziten Merkmalen beinhaltet. Besonders sind Angaben zur Artendiversität und zur strukturellen Diversität von Wäldern gefordert. Untersuchungen der Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung, die in gleichaltrigen Reinbeständen durchgeführt wurden, sind daher kaum auf die Erfassung komplexer Waldökosysteme zu übertragen. Dies gilt insbesondere dann, wenn naturnahe Bestände erfasst werden sollen. Diese Bestände, die erklärtes Wirtschaftsziel der meisten europäischen Forstverwaltungen sind, zeichnen sich durch eine hohe horizontale und vertikale Dynamik sowie durch Waldränder aus, die einen kontinuierlichen Übergang von der offenen Landschaft über Krautschicht, Strauch-

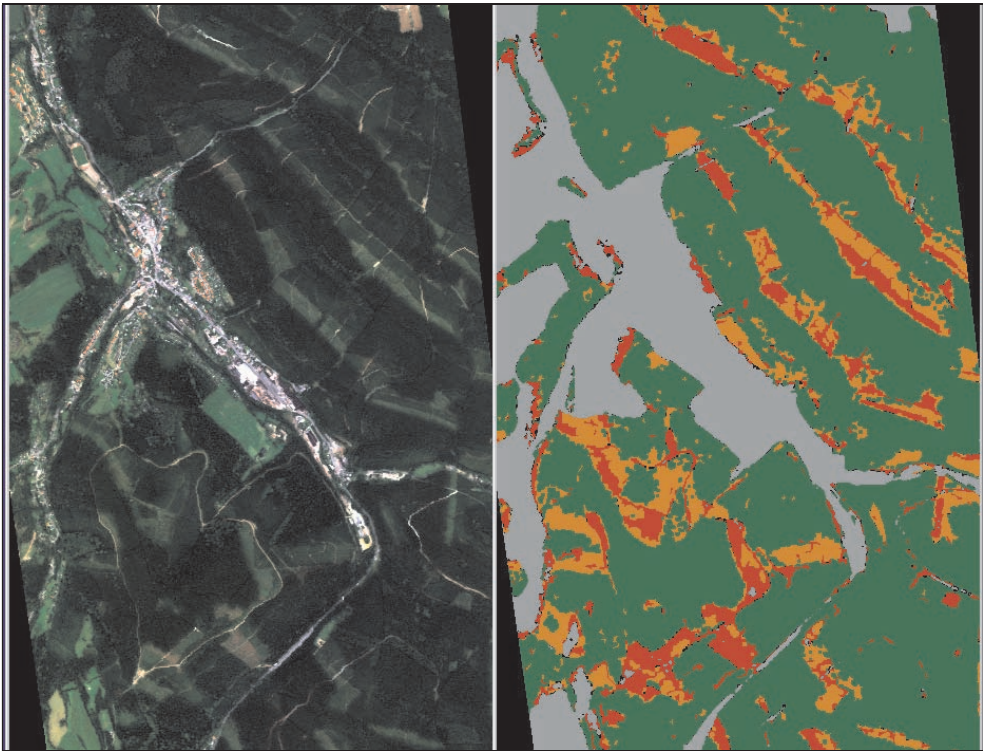


Abb. 7: HyMap™ Originaldaten und Klassifikation der Altersklassen (rot: Blöße-Kultur; orange: Dickung; grün: Stangenholz-Altholz)

schicht und Baumschicht zum Hauptbestand aufweisen. Die Hürde zum operativen Einsatz der Fernerkundung zur Erfassung von Waldökosystemen stellt die möglichst genaue Erfassung dieser heterogenen Waldtypen dar.

Viele Ansätze der Fernerkundung haben diese Hürde noch nicht genommen. Neben der räumlichen Auflösung stellen besonders Mischpixel ein Problem dar, die für eine bescheidene Anzahl trennbarer Waldklassen und die geringe Klassifikationsgenauigkeit verantwortlich sein können. Die Methoden zur Analyse hyperspektraler Daten stellen Verfahren bereit, mit denen aus Mischpixeln für die Beschreibung von Waldökosystemen bedeutende Informationen gewonnen werden können.

Trotz des in dieser Untersuchung erkennbaren Potenzials von Hyperspektraldaten zeigte sich, dass die Extraktion brauchbarer Endmember-Anteile zur Erfassung von Waldökosystemen mit einigen Schwierigkeiten behaftet ist. Der Nachweis der Tauglichkeit der geschilderten Verfahren für komplexe Landschaftsstrukturen bedarf noch zusätzlicher wissenschaftlicher Absicherung. Bisherige Arbeiten hatten zumeist sehr überschaubare Untersuchungsobjekte zum Gegenstand. Die Anzahl der im Bild vorhandenen Endmember und auch die Zahl der zu untersuchenden Parameter, bzw. Zielklassen ist in diesen Fällen sehr gering. Bei komplexeren Landschaften, wie sie im hier beschriebenen Untersuchungsgebiet vorliegen und bei einer hohen Anzahl zu erfassender Zielparameter bzw. -klassen besteht derzeit noch deutlicher Forschungsbedarf. Außerdem fehlt momentan noch ein standardisiertes Verfahren zur Selektion der Endmember, was die Handhabung der Verfahren zusätzlich erschwert.

Dennoch darf die Prognose für den operativen Einsatz von Hyperspektraldaten zur Erfassung von Waldökosystemen als äußerst günstig beurteilt werden. Die Anzahl Klassen, die getrennt werden können, ist deutlich höher als bei multispektralen Datensätzen. Zudem konnten Klassifizierungsgenauigkeiten realisiert werden, die denen von multispektralen Daten deutlich überle-

gen sind. Besonders für Fragestellungen der Waldökosystemforschung, der Erfassung der Nichtproduktionsfunktionen von Wäldern (z. B. strukturelle Diversität und Artendiversität) aber auch für die forstliche Planung bieten sich Hyperspektraldaten als Datenquelle an.

Dank

Diese Studie wurde im Rahmen des ProSmart Projekts durchgeführt, das vom DLR, Bonn und der Dornier Satellitensysteme GmbH, Friedrichshafen initiiert und finanziell gefördert wurde. Wir danken den Herren Dr. KÖHNEMANN und Dr. LÜTTENBERG, DLR Bonn, sowie Herrn E. LANGE-LÜDECKE und Herrn H. RICKEN, Dornier Satellitensysteme GmbH, Friedrichshafen für die Möglichkeit, einen Teil der Ergebnisse der Studie in diesem Rahmen darstellen zu dürfen. Herrn Prof. Dr. BRAUN und Frau C. HOFFMANN, LAF Graupa, danken wir für die Bereitstellung der Forsteinrichtungsdaten.

Literatur

- BOARDMAN J. W. & W. KRUSE, F. A., 1994: Automated spectral analysis: A geologic example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, Nevada. – In: Proceedings, Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI: 407–418.
- BOARDMAN, J. W., KRUSE, F. A. & GREEN, R. O., 1995: Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data. – In: Summaries, Fifth JPL Airborne Earth Science Workshop, JPL Publication 95-1, v. 1, p. 23–26.
- BODMER, H. C., 1993: Untersuchungen zur forstlichen Bestandskartierung. – Professor für Forsteinrichtung, ETH Zürich, 160 S.
- ENVI, 1999: Manual/Tutorial. – Better Solutions Consulting LLC, Lafayette, Colorado
- GAO, B. C., HEIDEBRECHT, K. B. & GOETZ, A. F. H., 1993: Derivation of Scaled Surface Reflectance from AVIRIS Data. – Remote Sensing of the Environment. **44**: 165–178.
- GREEN, A. A. & GRAIG, M. D., 1985: Analysis of Aircraft Spectrometer Data with Logarithmic Residuals. – Proc. AIS Workshop, JPL Publi-

- cation 85–41, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, 111–119.
- GREEN, A. A., BERMAN, M., SWITZER, P. & CRAIG, M. D., 1988: A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. – IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 26, No. 1: 65–74.
- GROSS, H. N. & SCHOTT, J. R., 1998: Application of Spectral Mixture Analysis and Image Fusion Techniques for Image Sharpening. – Remote Sensing of the Environment **63**: 85–94.
- KELLENBERGER, T., 1996a: Erfassung der Waldfläche in der Schweiz mit multispektralen Satellitenbilddaten. – Remote Sensing Series, 28, Geographisches Institut der Universität Zürich, 284 S.
- KELLENBERGER, T., 1996b: Classification of Temperate Forests in Switzerland with Multispectral Data: Effects of Ground Truth and Satellite Data Scaling on Classification. – In: KENNEDY P. J. (ed.): Application of Remote Sensing in European Forest Monitoring. – EC-Joint Research Center, EUR 17685 EN: 421–428.
- LANDGREBE, D., 1999: Information Extraction Principles and Methods for Multispectral and Hyperspectral Image Data, Chapter 1 of: Information Processing for Remote Sensing, edited by C. H. Chen.
- LEHMANN, F., PISCHEL, R. & WEWEL, F., 1999: HRSC-A Befliegungskoordination und Prozessierung, in: ProSmart Endbericht, Dornier Satellitensysteme GmbH, Friedrichshafen: 5.1–33.
- MÜLLER, A., RICHTER, R. & HAUSOLD, A., 1999: HyMapTM – Prozessierung und Auswertung, in: ProSmart Endbericht, Dornier Satellitensysteme GmbH, Friedrichshafen: 3.1–3.30.
- PIETERS & ENGLERT (eds.), 1993: Remote Geochemical Analysis: Elemental and Mineral Content, Cambridge University Press, New York.
- ROBERTS, D. A., YAMAGUCHI, Y. & LYON, R. J. P., 1986: Comparison of Various Techniques for Calibration of AIS Data, Proceedings 2nd AIS Workshop. JPL Publication 86–35, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, 21–30.
- Anschriften der Verfasser:
Prof. Dr. MICHAEL KÖHL
Technische Universität Dresden
Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik
Piener Str. 18
D-01737 Tharandt
Tel.: +49 3 5203 3816-13, Fax: +49 3 5203 3816-32, e-mail: koehl@forst.tu-dresden.de
- Dipl.-Geogr. MARKUS LAUTNER
Gesellschaft für Angewandte Fernerkundung mbH (GAF)
Arnulfstr. 197
D-80634 München
Tel.: +49 89 121528-32, Fax: +49 89 121528-79, e-mail: lautner@gaf.de
- Manuskript eingegangen: November 2000
Angenommen: Dezember 2000

Erkennung landwirtschaftlicher Nutzpflanzenbestände mittels multitemporaler ERS-1/-2 Radaraufnahmen

MARIA HAMACHER, INGO RADEMACHER, STEFAN HAWLITSCHKA & WALTER KÜHBAUCH, Bonn

Zusammenfassung: Ein wesentliches Ziel der Fernerkundung in der Landwirtschaft ist die großräumige Inventur der Bodennutzung. Optische Satelliten lieferten hier bereits gute Ergebnisse, sind jedoch vom Tageslicht und dem Bewölkungsgrad abhängig. Demgegenüber sind Radarsensoren unabhängig von Witterung und Tageslicht.

In dieser Arbeit wurde untersucht, inwieweit Radaraufnahmen der ERS-Satelliten (5,3 GHz; VV-Polarisation) geeignet sind, verschiedene Feldfruchtarten anhand ihrer Signaturen zu unterscheiden. Als Testgebiet diente das Gemeindegebiet Weilerswist im südlichen Teil der Köln-Aachener Bucht. Aufnahmen des Testgebietes standen alle 35 Tage, in der Hauptvegetationszeit alle 17,5 Tage, zur Verfügung. Zeitgleich zu den Überflügen wurden Bestandeshöhe, Entwicklungsstadium, Frisch- und Trockenmasse in ausgewählten Zuckerrüben- und Getreidebeständen des Testgebietes bestimmt.

Auf Grund der Stabilität und Genauigkeit des ERS-SAR-Instrumentes konnten temporale Signaturen verschiedener Feldfruchtarten ermittelt und miteinander verglichen werden. Jede Fruchtart wies ein eigenes temporales Rückstreuprofil auf. Winterweizen, Wintergerste und Winterroggen konnten so in den Wachstumsphasen ab Ährenschieben bis zur Fruchtbildung voneinander unterschieden werden. Zuckerrüben ließen sich von Getreide im Mai und im August unterscheiden. Als wichtige Vorausinformation wurden die Arten der im Testgebiet angebauten Hauptkulturen eingesetzt. Rückstreuprofile von Getreide ermöglichen zudem die Beobachtung der Pflanzenentwicklung. Bei Zuckerrüben ist dies nicht möglich.

Summary: *Determination of field crops using multitemporal ERS-1/-2 radar images.* An important aim of remote sensing in agriculture is to determine large scale cropping patterns. Optical sensors have been used successfully in classification of field crops. However, they are sensitive to weather conditions and daylight. The advantage of radar systems compared with optical sensors is their capability to acquire images of the earth's surface independent of daytime and cloud cover. In this study backscatter profiles of ERS images (5,3 GHz; VV-polarisation) were used to classify different field crops. The test area was located south-west from Cologne around the village of Weilerswist. ERS-scenes from the test area were available every 35 days, and during the main growth period every 17,5 days. At each fly-over of the satellite, ground truth data like fresh weight and dry weight, plant height and developmental stage were collected for selected sugar beet and winter cereal fields within the test area.

Between the growth stages ear emergence and grain filling radar signatures were suitable to distinguish between winter wheat, winter barley and winter rye. Signatures from sugar beet were significant different from signatures of winter cereals in May and in August. However, a prerequisite to classify field crops with radar sensors is the knowledge of the typical crop rotation in the area of interest. Additionally, the backscatter profiles of winter cereals were suited to monitor the developmental progress of these crops. For sugar beet no such relation was found.

1 Einleitung

Regionale, nationale oder globale Informationen über die Landnutzung werden regelmäßig für die Agrarstatistik genutzt. Bisher wurden Daten der landwirtschaftlichen Flächennutzung i.d.R. durch zeitaufwändige und teure Bodenerhebungen gewonnen (STADLER 1996). Dieses Verfahren wird seit einigen Jahren zum Teil durch die Fernerkundung abgelöst oder ergänzt, wie beispielsweise zur Kontrolle von Flächenstilllegungen, Erhebung des Anbauumfangs der Hauptfruchtarten innerhalb der EU oder auch für Ertragsabschätzungen in einzelnen Kulturen.

Häufig werden für diese Aufgabe hochauflösende, optische Sensorsysteme wie z. B. Landsat-TM oder SPOT eingesetzt (z. B. das MARS-Programm der Europäischen Kommission), die jedoch vom Tageslicht und dem Bewölkungsgrad abhängig sind. In Regionen mit gemäßigttem oder humidem Klima kommt es daher vor, dass in manchen Jahren optische Fernerkundungsszenen nicht oder nur in unzureichender Anzahl zur Verfügung stehen.

Eine kontinuierliche und regelmäßige Beobachtung der Vegetation ist bisher nur mit abbildenden Radarsystemen an Bord von Raumfähren oder Satelliten möglich. Bei Radar handelt es sich zum einen um ein aktives Mikrowellensystem, bei denen der Radarstrahl als Strahlungsquelle dient und somit unabhängig vom Tageslicht ist. Weiterhin sind Mikrowellen in der Lage, Wolken zu durchdringen, was sie zusätzlich unabhängig von der Wettersituation macht. Wie in der Fernerkundung mit optischen Sensoren gilt auch für die Mikrowellenfernerkundung, dass eine Interpretation der Radardaten Zusatzinformationen erfordert, wie z. B. den Verlauf von Schlaggrenzen und regional übliche Fruchtfolgen. Erst die Gegenüberstellung von Fernerkundungsdaten mit Bodendaten aus kleinräumigen Testgebieten ermöglicht die gezielte Anwendung der Radarfernerkundung zur großflächigen Landnutzungsinventur.

Mit dem *European Remote Sensing Satellite* (ERS) steht ein System zur Verfügung,

das langfristig Radardaten von der Erdoberfläche liefert. Die Repetitionsrate von 35 bzw. 17,5 Tagen des ERS ermöglicht die Beobachtung von Pflanzenbeständen in relativ kurzen Zeitabständen. Damit ist die Möglichkeit gegeben i) die Pflanzenentwicklung innerhalb einer Nutzpflanzenart über die Vegetationsperiode zu verfolgen und ii) signifikante Zeiträume oder Wachstumsstadien zu bestimmen, zu denen eine zuverlässige Unterscheidung verschiedener Fruchtarten möglich ist.

Es liegen bisher einige Arbeiten vor, in denen Szenen der ERS-Satelliten genutzt wurden, um Fruchtarten voneinander zu unterscheiden (BOUMAN & UENK 1992, SCHMULLIUS et al. 1993, BORGEAUD et al. 1995). Jedoch ist die Fruchtartenzusammensetzung und die terminliche Verfügbarkeit der Satellitenaufnahme eines jeden Testgebietes sehr unterschiedlich. Das Ziel unserer Untersuchung war es, anhand von ERS-Daten die typischen Signaturverläufe der wichtigsten Fruchtarten in der Köln-Aachener Bucht im Verlauf der Vegetationsperiode aufzuzeigen. Anhand der Signaturverläufe sollten des Weiteren kritische Phasen aufgezeigt werden, in denen sich die einzelnen Arten hinreichend voneinander unterscheiden, um eine treffsichere Inventur der Landnutzung durchzuführen.

2 Material und Methoden

2.1 ERS-1/ -2 (*European Remote Sensing Satellite*)

Die in der Untersuchung verwendeten Radarszenen wurden von den europäischen Erdkundungssatelliten ERS-1 und ERS-2 aufgenommen. ERS-1 wurde mit dem Ziel der Wetter- und Seegangsvorhersage, der Eisbeobachtung, der Erfassung von Ölverschmutzungen auf See sowie der Sammlung von Daten für die Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft im Auftrag der europäischen Raumfahrtagentur ESA von der Dornier GmbH, einem Unternehmen der Deutschen Aerospace AG, gebaut und im Juli 1991 erfolgreich gestartet (ESA 1996). ERS-2 wurde im April 1995 als Nachfolger

des ERS-1 gestartet, dessen Abschaltung im Juni 1996 erfolgte. Beide Satelliten bewegen sich in einer Flughöhe von 785 km und überfliegen den selben Aufnahmestreifen im zeitlichen Abstand von 35 Tagen. In mitteleuropäischen Breiten kommt es neben der kompletten Aufnahme der Erdoberfläche in den benachbarten Umlaufbahnen zu Überlappungen von ca. 50% und somit zu einer Verkürzung des Beobachtungsintervalls auf 17,5 Tage. Die Sensoren des Mikrowellensystems haben eine räumliche Auflösung von 30 m.

Die wichtigsten technischen Daten der Satelliten ERS-1 bzw. ERS-2 sind in Tab. 1 zusammengestellt.

Tab. 1: Technische Daten des ERS-1/ERS-2 nach ESA BR-36 (1989).

Frequenz	4,20 GHz – 5,75 GHz (C-Band)
Wellenlängenbereich	5,22 cm – 7,14 cm
Polarisation	VV
Einfallswinkel	23°
Räumliche Auflösung	30 m
Streifenbreite der Aufnahme	100 km

2.2 Testgebiet

Das Testgebiet liegt in der vorwiegend ackerbaulich genutzten Region zwischen Euskirchen und Weilerswist 35 km nord-

westlich von Bonn. Das Gebiet zeichnet sich durch weitgehende Homogenität bezüglich des Bodens und des Klimas aus. Der Jahresniederschlag liegt zwischen 550 mm und 650 mm, die mittlere Jahrestemperatur bei 9°C. Als Bodentyp herrschen Braun-, Parabraunerden sowie Pseudogleye vor. Das Gelände ist eben und in für die Region relativ große Feldschläge (2–32 ha) unterteilt, auf denen hauptsächlich Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen und Zuckerrüben angebaut werden. Im Beobachtungszeitraum 1996 bis 1998 wurden die Signaturen von jeweils sechs bis neun Feldern der Wintergetreidearten ausgewertet. Von Zuckerrübenfeldern wurden nur im ersten Beobachtungsjahr die Radarsignaturen analysiert.

2.3 Satellitendaten

In den Jahren 1996–1998 standen acht bis zehn Radaraufnahmen des Testgebietes im Abstand von 35 bzw. 17,5 Tagen zur Verfügung (Tab. 2).

Die Datensätze der einzelnen ERS-Szenen wurden von der European Space Agency (ESA) im Single-Look-Complex (SLC)-Format zur Verfügung gestellt.

In allen Datensätzen wurde jeweils der Ausschnitt, der das Testgebiet beinhaltet, definiert und die aufeinander folgenden Szenen wurden mittels Passpunkten koreferenziert, d.h. pixelgenau übereinander gelegt. Um die Grauwertstatistik nicht zu verfä-

Tab. 2: Überflugtermine des ERS-1/-2 über das Testgebiet Weilerswist in den Jahren 1996–1998.

1996		1997		1998	
Datum	Satellit	Datum	Satellit	Datum	Satellit
14. 03.	ERS-2	08. 05.	ERS-2	12. 02.	ERS-2
17. 04.	ERS-1	27. 05.	ERS-2/2. Orbit	19. 03.	ERS-2
18. 04.	ERS-2	12. 06.	ERS-2	07. 04.	ERS-2/2. Orbit
22. 05.	ERS-1	01. 07.	ERS-2/2. Orbit	23. 04.	ERS-2
11. 06.	ERS-2/2. Orbit	17. 07.	ERS-2	12. 05.	ERS-2/2. Orbit
26. 06.	ERS-1	05. 08.	ERS-2/2. Orbit	28. 05.	ERS-2
01. 08.	ERS-2	21. 08.	ERS-2	16. 06.	ERS-2/2. Orbit
10. 10.	ERS-2	25. 09.	ERS-2	02. 07.	ERS-2
14. 11.	ERS-2			21. 07.	ERS-2/2. Orbit
				06. 08.	ERS-2

schen, wurde auf eine Geokodierung der ERS-Aufnahmen verzichtet, da die notwendige Entzerrung über ein Höhenmodell bewirkt hätte, dass dabei Pixel aufgefüllt oder entfernt werden. Durch die schräge Blickrichtung des Sensors senkrecht zur Flugbahn treten Effekte wie Layover, Foreshortening oder Radarshadow auf, die bei der Geokodierung nur über die in den aufgenommenen Szenen vorhandenen Bildpunkte korrigiert werden können. Die fehlenden Bildpunkte werden in den geokodierten Szenen anhand der im Radarbild tatsächlich dargestellten Pixel nach dem Nearest-Neighbour-Prinzip eingesetzt (SCHREIER 1993).

Statt dessen wurden die in geographischen Koordinaten vorliegenden Informationen (z.B. Feldgrenzen) mit dem Geokodierungsprogramm der Daimler Chrysler Aerospace Jena Optronik in Pixelkoordinaten transformiert (inverse Transformation) und auf die SLC-Bilder projiziert. Anschließend wurde zu jedem Termin die Intensität der Radarrückstreuung über alle Pixel (25 m × 25 m) eines Feldes gemittelt. Zu den Feldgrenzen wurde dabei ein Abstand von 20 m eingehalten, um Mischpixel auszuschließen. Die Mittelwerte wurden des Weiteren nach dem Verfahren von LAUR (1998) kalibriert, um die Radardaten aus verschiedenen Umlaufbahnen und verschiedenen Jahre miteinander vergleichbar zu machen.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Unterscheidung der Fruchtarten

In Abb. 1 ist ein Dreifarbenkomposit (blau codiert: 22. Mai, rot codiert: 26. Juni, grün codiert: 1. August) von 1996 dargestellt, in dem die Schlaggrenzen der Testfelder (Zuckerrüben: grün; Winterweizen: blau; Wintergerste: rot; Winterroggen: gelb) farblich umrandet sind. Weiterhin sind exemplarisch die Grauwerte der Rückstreuintensitäten der einzelnen Fruchtarten zu den jeweiligen Terminen dargestellt.

Die Intensitäten der Radarrückstreuung sind für jede Fruchtart entsprechend ihrer

Grauwerte im Dreifarbenkomposit farblich kodiert und anhand von drei verschiedenen ERS-Aufnahmen dargestellt. An einer Aufnahme eines einzelnen Termins betrachtet, sind Unterschiede zwischen den Grauwerten verschiedener Fruchtarten zwar erkennbar, sie reichen jedoch keinesfalls aus, um einzelne Flächen einer bestimmten Kulturart zuordnen zu können. Mit dem Dreifarbenkomposit hingegen gelingt eine gute Unterscheidung der verschiedenen Fruchtarten, da die fruchtartentypische Radarrückstreuung eine unterschiedliche Farbgebung zur Folge hat. So zeichnen sich z.B. die Zuckerrüben im Dreifarbenkomposit durch eine hellblaue Färbung aus, da die Radarrückstreuung im Mai (Termin 22.05.96: kodiert mit Blau) am höchsten war. Das Winterweizenfeld hat auf Grund der höheren Radarrückstreuung Anfang August (Termin 01.08.96: kodiert mit Grün) eine mehr grünliche Farbgebung.

Bei der Betrachtung von Abb. 2, in welcher der Verlauf der mittleren Radarrückstreuung der Getreidearten in den Jahren 1996–1998 sowie von Zuckerrüben im Jahr 1996 mit Standardabweichung dargestellt ist, zeigt sich dieser Unterschied in der Ausprägung der Rückstreuprofile. So weist jede Fruchtart ein eigenes temporales Rückstreuprofil auf. Dies ermöglicht die Auswahl der SAR Aufnahmen zu den Zeiten im Jahr, an denen die Trennung der Fruchtarten am besten gelingt. Es zeigte sich, dass die beste Trennung von Wintergetreide von Ende Mai bis Anfang Juli möglich ist. Zuckerrüben lassen sich von Getreide im Mai und im August unterscheiden.

3.2 Wachstumsabhängiger Verlauf der Radarrückstreuung

Wird der Verlauf der mittleren Radarrückstreuwerte der Zuckerrübenfelder (Abb. 2) im Testgebiet Weilerswist betrachtet, so zeigt sich innerhalb des Jahres 1996 ein charakteristisches Rückstreuprofil: eine hohe Radarrückstreuung im März (– 6,46 dB), gefolgt von einer geringen Radarrückstreuung im April (– 13,22 dB) und eine weitgehend gleich bleibende hohe Radarrückstreuung

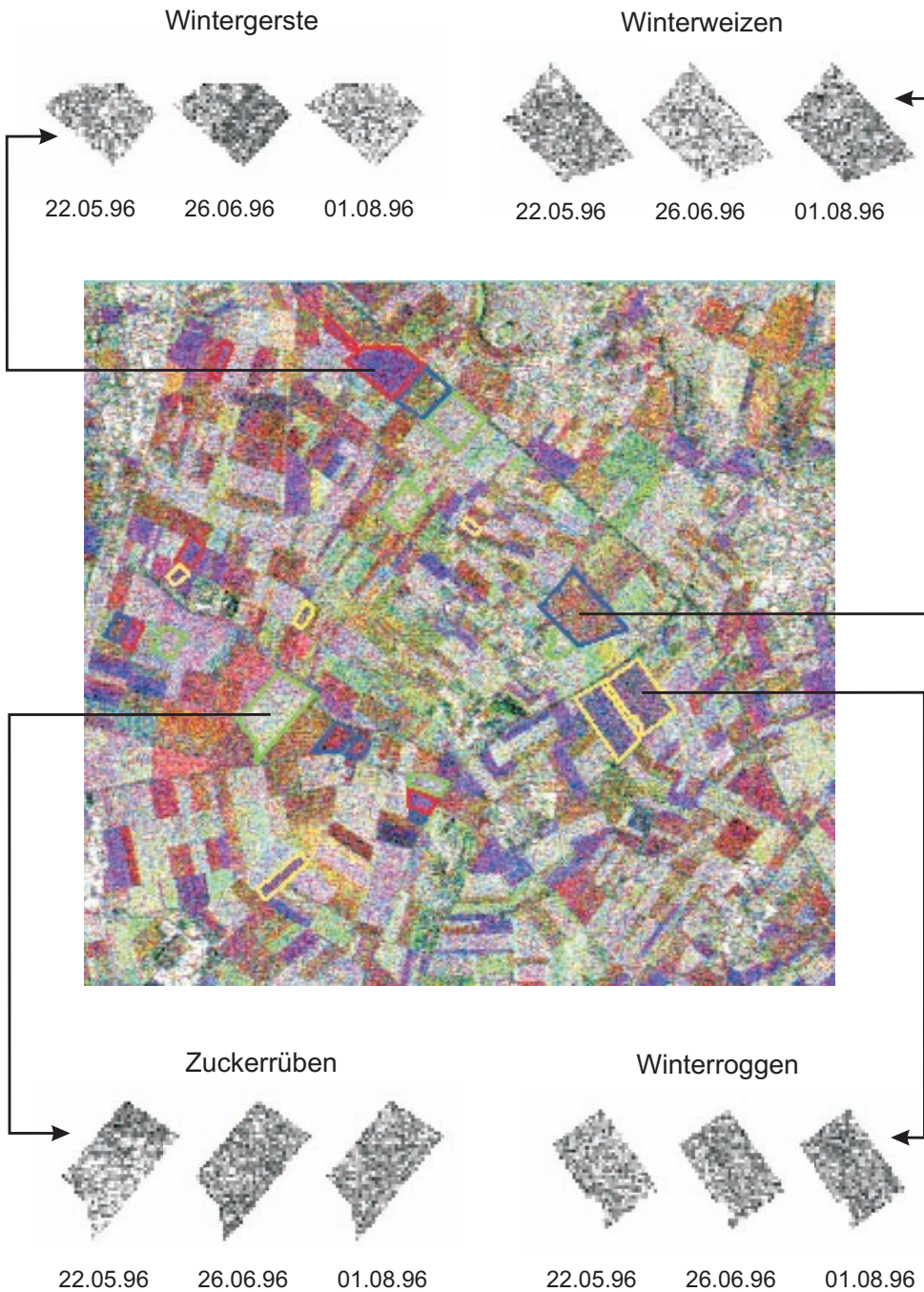


Abb. 1: Dreifarbenkomposit dreier ERS-Intensitätsbilder; blau: 22.05.96, rot: 26.06.96, grün: 01.08.96 mit den Testfeldern (Umrandung: rot: Wintergerste; blau: Winterweizen; gelb: Winterroggen; grün: Zuckerrüben) sowie exemplarisch die Grauwerte der Intensitäten der einzelnen Fruchtarten zu den jeweiligen Terminen.

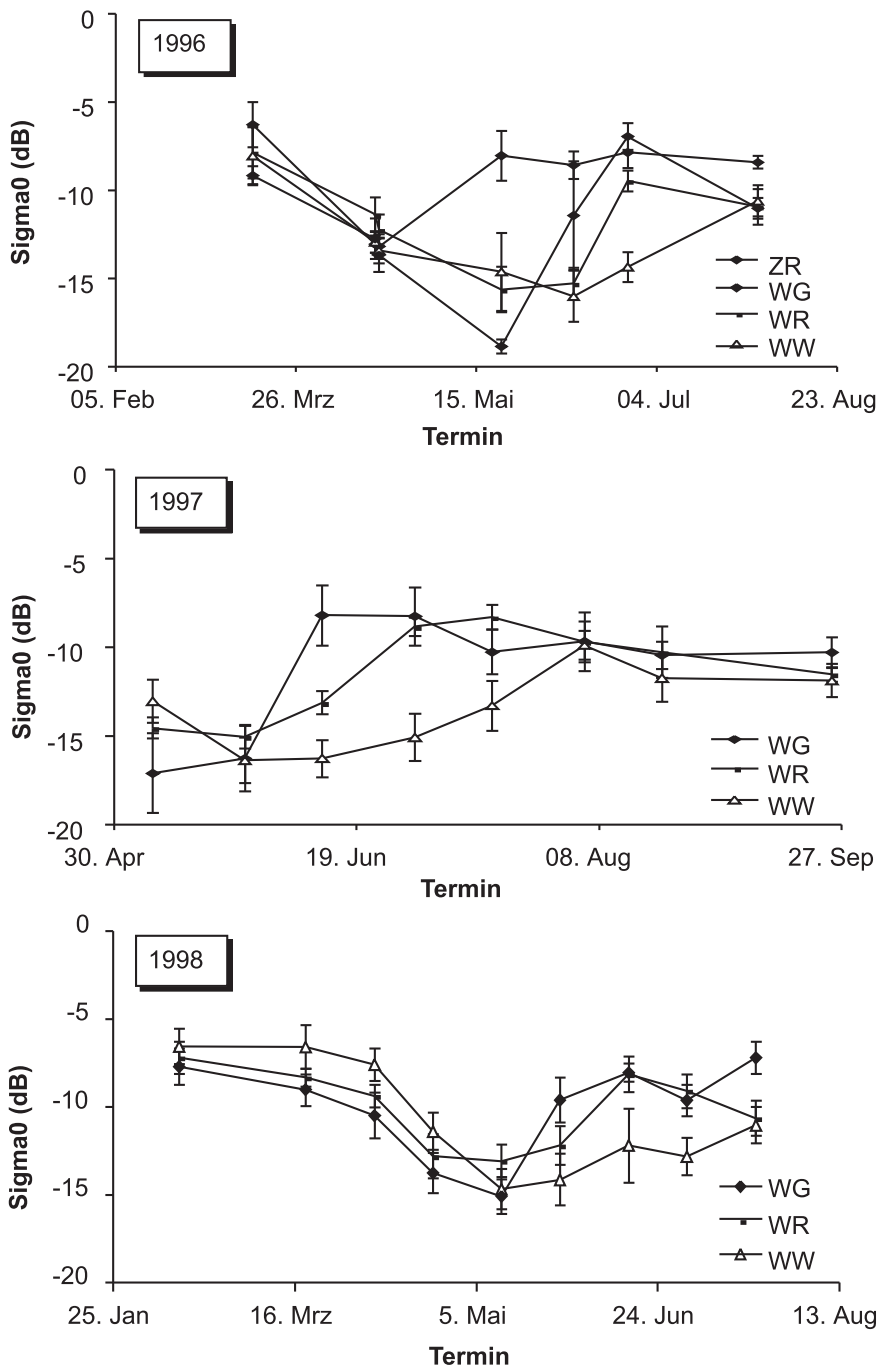


Abb. 2: Verlauf der mittleren Radarrückstreuung von Winterweizen (WW), Wintergerste (WG), Winterroggen (WR) und Zuckerrüben (ZR) in den Jahren 1996–1998. Der Fehlerbalken kennzeichnet +/- eine Standardabweichung (n = 6).

im Zeitraum von Mai bis Oktober ($-8,22$ bis $-7,41$ dB), d. h. in dem Zeitraum, in dem kontinuierliches Blattwachstum vorliegt.

Im Vergleich zu den Zuckerrüben veränderten sich die Rückstreuwerte der Wintergetreideflächen im Verlauf einer Vegetationsperiode wesentlich stärker. In den drei Beobachtungsjahren zeigten sich bei Winterweizen, Wintergerste und Winterroggen charakteristische Profile der Radarrückstreuung im Verlauf der Hauptvegetationsperiode. Die höhere Sensibilität des C-Bandes gegenüber Halmen bzw. schmalen Blättern liefert einen Erklärungsansatz, warum die Rückstreuprofile der Getreidearten ausgeprägter als die der Zuckerrüben sind (BARONTI et al. 1995). Die von BOUMAN & VAN KASTEREN (1991) beobachtete geringere Rückstreuintensität von Weizen und Gerste im Vergleich zu Kartoffeln und Zuckerrüben im X-Band mit VV-Polarisation erklärt KÜHBAUCH (1991) durch die lockere Struktur der Getreidebestände. Auf Grund der aufrechten Blatthaltung, senkrechter Orientierung der Halme und vermutlich infolge des relativ kleindimensionierten Blatt- und Halmaufbaus wird eine mehr diffuse Radarrückstreuung verursacht als an den planophil orientierten Blättern von Zuckerrüben und Kartoffeln.

Typisch für alle drei Getreidearten ist eine hohe Radarrückstreuung im Frühjahr (-6 bis -9 dB), die mit zunehmendem Pflanzenwachstum abnimmt und im Mai bzw. Juni ein Reflexionsminimum erfährt (WG bei ca. -17 dB; WW bei ca. -15 dB, WR bei ca. -14 dB). Im Verlauf der Abreife erfolgt ein Anstieg der Radarrückstreuung auf ca. -11 dB. Die Absorptionsmaxima der verschiedenen Getreidearten sind zeitlich verschoben und dies in der Reihenfolge, in der auch die Abreife der einzelnen Getreidearten erfolgt. REICH & GÜTH (1998) beobachteten dieses Verhalten bereits für Winterweizen, Wintergerste und Sommergerste.

In der vorliegenden Studie lag das Reflexionsminimum von Wintergerste Anfang (1998) bzw. Ende (1996) Mai und damit zeitlich vor den Reflexionsminima von Weizen

und Roggen. Das Rückstreusignal war zudem stärker gedämpft (ca. $1-4$ dB), d. h. es wurde ein absolutes Reflexionsminimum erreicht, das zum Zeitpunkt der Wachstumsstadien Ährenschieben bzw. Blüte beobachtet wurde. Der nächste Aufnahmetermin nach Erreichen des Reflexionsminimums war bei Wintergerste von einer im Vergleich zu den Rückstreuprofilen von Winterweizen und Winterroggen relativ hohen Radarrückstreuung (Differenz: 6 bis 8 dB) gekennzeichnet. Diese hohe Radarrückstreuung wird von SPÖNEMANN & SCHIECHE (1997) auf die Ausbildung der stark begranneten, waagrecht orientierten Ähren, die eine besonders starke Reflexion verursachen, zurückgeführt.

Im Vergleich zur Wintergerste, deren Rückstreuprofil im Zeitraum März bis Mai einen V-förmigen Verlauf nahm (Abb. 2), war die wachstumsabhängige Veränderung der Radarrückstreuung von Winterweizen weniger markant. Das Reflexionsminimum wurde Ende Mai (1998) bzw. Anfang Juni (1996, 1997) erreicht und der nachfolgende Anstieg war weniger stark ausgeprägt als bei Winterroggen und Wintergerste. Es war somit nicht möglich, den Signaturverlauf der Radarrückstreuung von Weizen mit einem bestimmten Wachstumsstadium in Verbindung zu bringen. In allen drei Versuchsjahren fiel jedoch der Bereich der minimalen Radarrückstreuung des ERS-C-Bands zwischen die Entwicklungsstadien Ährenschieben und Blüte.

Die Rückstreuprofile von Winterroggen erreichten in allen drei Beobachtungsjahren das Reflexionsminimum gegen Ende Mai zum Zeitpunkt der Blüte, jedoch war die Absorption geringer als bei den anderen Getreidearten. Das Radarrückstreuprofil zeichnet sich im Zeitraum März bis Juli durch einen annähernd U-förmigen Verlauf aus (Abb. 2).

Ein Vergleich unserer Ergebnisse mit denen anderer Autoren ist erschwert durch die Wiederholrate von $17,5$ bzw. 35 Tagen sowie durch den festgelegten Termin der Satellitenaufnahmen. Dadurch erhält jeder Autor Satellitenaufnahmen zu verschiedenen Zeitpunkten und zu verschiedenen

Wachstumsstadien. Es ist somit nicht möglich, den kontinuierlichen Verlauf der Radarrückstreuung über die gesamte Vegetationsperiode in einem Untersuchungsgebiet zu verfolgen. Folglich kann man auch nicht jedem Wachstumsstadium einen Radarrückstreuwert zuordnen bzw. das Reflexionsminimum zu einem definierten Wachstumsstadium bestimmen. So beobachteten BAN & HOWARTH (1998) Reflexionsminima bei Winterweizen und Gerste erst zum Wachstumsstadium der Fruchtbildung. CLEVERS et al. (1996) beschreiben eine abfallende Radarrückstreuung während des Schossens und eine schon ansteigende Radarrückstreuung nach dem Ährenschieben. MANGOLINI & ARINO (1996) konnten eine abnehmende Radarrückstreuung zum Zeitpunkt der Bestockung und während des Ährenschiebens feststellen. WOODING et al. (1993) beobachteten ebenfalls bei Winterweizen ein Absinken der Rückstreuung von der Bestockung bis zum Erreichen der maximalen Frischmasse zum Zeitpunkt der Blüte, gefolgt von einem Anstieg während der Fruchtbildung bis zur Ernte.

Der fruchtartenspezifische Verlauf von Rückstreuprofilen kann grundsätzlich als Bestimmungsmerkmal für die Fruchtartenerkennung dienen (BOUMAN & UENK, 1992; KÜHBAUCH, 1991). BROWN et al. (1993) stellten in Kanada bei Sommergetreide fest, dass sich im Juli mit Erreichen des Wachstumsstadiums Ährenschieben/Blüte die Fruchtartenklassifizierung mittels Radarfernerkundung verbessert. Auch KEITHLEY & ROBERTS (1996) geben an, dass mit multitemporalen Radaraufnahmen Unterschiede in der Pflanzenphänologie bestimmt werden können, da sie Veränderungen der Radarrückstreuung bewirken. Beste Unterscheidbarkeit für Fruchtarten ergibt sich hierbei zu den mittleren Wachstumsstadien. LEMOINE et al. (1997) bemerkten, dass Winterweizen und Wintergerste am besten im Juni und Juli zu unterscheiden sind, da die Abreife einen klaren Effekt auf die Radarrückstreuung hat. Ebenso ermittelten REICH & GÜTH (1998) ein Minimum des Rückstreusignals bei Wintergerste und Winterweizen kurz vor der Abreife, wobei das Mi-

nimum bei Wintergerste durch die frühere Abreife auch zeitlich eher auftritt.

KOHL et al. (1994) beobachteten gleich verlaufende Rückstreuprofile einer Fruchtart auf unterschiedlichen Bodenarten. Dies zeigt, dass eine Fruchtart durch ihr Rückstreuprofil gut gekennzeichnet und hierdurch ein guter Ansatz zur Klassifikation geliefert wird.

Die oben beschriebenen Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, Fruchtarten zu bestimmten Zeiten des Jahres mit Hilfe des ERS SARs zu unterscheiden. Anders als mit optischen Satellitenaufnahmen ist jedoch die Szene eines einzelnen Aufnahmetermins für die Flächeninventur der Hauptfruchtarten untauglich. Es sollten mindestens drei Radarszenen für eine Landnutzungsinventur vorliegen.

Danksagung

Das Projekt wurde durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR, 50EE9708) und das Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten (BML, 95HS017) gefördert. Die European Space Agency (ESA) stellte die ERS-Szenen zur Verfügung (Förderkennzeichen A02.D141). Für die Unterstützung sei an dieser Stelle gedankt.

4 Literatur

- BAN, Y. & HOWARTH, P.J., 1998: Orbital effects on ERS-1 SAR temporal backscatter profiles of agricultural crops. – *International Journal of Remote Sensing* **19** (17): 3465–3470.
- BARONTI, S., DEL FRATE, F., FERRAZOLLI, P., PALOSCIA, S., PAMPALONI, P. & SCHIAVON, G., 1995: SAR polarimetric features of agricultural areas. – *International Journal of Remote Sensing*, Vol. **14**: 2639–2656.
- BORGEAUD M., NOLL, J. & BELLINI, A., 1995: On the Use of ERS-1 Multi-Temporal SAR Data for Agricultural Applications. – *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 904–907.
- BOUMAN, B.A.M. & VAN KASTEREN, H.W.J., 1991: Ground-Based X-Band (3 cm Wave) Radar Backscattering of Agricultural Crops. I. Sugar Beet and Potato; Backscattering and Crop Growth. – *Remote Sensing of Environment* **34**: 93–105.

- BOUMAN, B. A. M. & UENK, D., 1992: Crop Classification Possibilities with Radar in ERS-1 And JERS-1 Configuration. Remote Sensing of Environment **40**: 1–13.
- BROWN, R. J., BEDARD, D., BRISCO, B. & NAUNHEIMER, J., 1993: Multi-temporal ERS-1 for crop discrimination. – Proc. 2nd ERS-1 Symp., Hamburg, Germany: 57–62.
- CLEVERS, J. G. W., KRAMER, H., VAN LEEUWEN, H. J. C. & HOEKMAN, D. H., 1996: The merit of JERS-1 Data in addition to ERS-1 Data for land cover monitoring. – International Archives of Photogrammetric and Remote Sensing Vol XXXI, Part B7, Vienna.
- European Space Agency (ESA), 1989: ERS-1, A new tool for global environmental monitoring in the 1990's. – esa BR-36. ISBN 92-9092-019-X.
- European Space Agency (ESA), 1996: Applications Achievements of ERS-1. New Views of the Earth. – Esa SP-1176/II. ISBN 92-9092-141-2.
- LAUR, 1998: Calibration of the ERS SAR PRI data product. – earthnet online
- LEMOINE, G., KIDD, R., VAN LEEUWEN, H., 1997: Methodological advancements in using ERS SAR data for crop area estimation. – ESA, 3rd ERS Symp. Florence.
- KEITHLEY, C. & ROBERTS, M., 1996: Examination of multi-temporal ERS-1 radar over the Rainwater Basin. – IEEE Trans. Geosc. Rem. Sens.: 227–229.
- KÜHBAUCH, W., 1991: Anwendung der Radarfotografie in der Landwirtschaft. – Die Geowissenschaften, 9. Jahrg. Nr. 4–5: 122–127.
- MANGOLINI, M. & ARINO, O., 1996: ERS-SAR and Landsat-TM multitemporal fusion for crop statistics. – Earth Observation Quarterly **51**: 11–15.
- REICH, M. & GÜTH, S., 1998: Improvement of agricultural land use information from multi-temporal ERS-SAR data for test site „Ostalb“/Germany. – Esa SP 441 Proc. Sec. Int. Workshop on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR Data for Landapplications. 21–23.10.98 Estec, Norwijk, Netherlands: 141–149.
- SCHMULLIUS, C., NITHACK, J. & KERN, M., 1993: Comparison of multi-temporal ERS-1 and airborne DLR E-SAR image data for crop monitoring. – Proc. 2nd ERS-1 Symp. Hamburg, Germany: 79–83.
- SPÖNEMANN, J. & SCHIECHE, B., 1997: Fernerkundung mittels Satelliten als Datenquelle der Agrarstatistik am Beispiel des Landkreises Göttingen. – Sonderdruck aus: Geographie in der Grundlagenforschung und als Angewandte Wissenschaft, Göttinger Akzente, Göttinger Geographische Abhandlungen 100.
- STADLER, R., 1996: Fernerkundung – ein neuer Weg zur Datengewinnung für die amtliche Statistik. – Jahrbuch Baden-Württemberg.
- WOODING, M. G., ZMUDA, A. D., GRIFFITHS, G. H., 1993: Crop discrimination using multi-temporal ERS-1 SAR data. – Proc. 2nd ERS-1 Symp., Hamburg, Germany: 51–56.
- Anschriften der Verfasser:
 Dipl.-Ing. agr. MARIA HAMACHER, Lehrstuhl für Allgemeinen Pflanzenbau, Universität Bonn, Katzenburgweg 5, 53115 Bonn,
 e-mail: m.hamacher@freenet.de oder hamacher@lwk-rheinland.nrw.de
 Dr. INGO RADEMACHER, Universität Bonn, Institut für Pflanzenbau, Katzenburgweg 5, 53115 Bonn, Tel.: 0228-73-3262, Fax: 0228-73-2870,
 e-mail: radem@uni-bonn.de
 Dipl.-Phys. STEFAN HAWLITSCHKA, FGAN Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften e. V., Neuenahrer Straße 20, 53343 Wachtberg, Tel.: 0228-943 50, Fax: 0228-85 6277,
 e-mail: hawi@fgan.de
 Prof. Dr. WALTER KÜHBAUCH, Universität Bonn, Institut für Pflanzenbau, Katzenburgweg 5, 53115 Bonn, Tel.: 0228-73 3262, Fax: 0228-73 28 70,
 e-mail: lap@uni-bonn.de
- Manuskript eingereicht: November 2000
 Angenommen: Dezember 2000

Robustification of Tangent Angle Function Snakes

ANDRZEJ BORKOWSKI, WROCLAW and SIEGFRIED MEIER, Dresden

Abstract: The internal energy E_{int} of conventional snakes contains the first and second derivatives of the coordinates with respect to arc length. Therefore, the Eulerian equations equivalent to the variation problem are of the fourth order, and the coefficient matrices of the linear equation systems belonging to it are pentadiagonal. If E_{int} is parameterized with respect to the curve direction and curvature, the Eulerian equation of these so-called tangent angle function snakes is now only of the second order, and the coefficient matrix of the linear system is tridiagonal. This comparatively simple snakes algorithm works quickly and reliably on smooth curves. Used on the cartographic displacement of line objects, shape distortions show up on strongly curved and non-equidistant digitized lines. The causes for the defects were examined, eliminated, and, so, the procedure robustified.

Zusammenfassung: *Robustifizierung der Tangent Angle Function Snakes.* Die innere Energie E_{int} konventioneller Snakes enthält die ersten und zweiten Ableitungen der Koordinaten nach der Bogenlänge. Deshalb sind die zum Variationsproblem äquivalenten Euler-Gleichungen von vierter Ordnung und die Koeffizientenmatrizen der zugehörigen linearen Gleichungssysteme pentadiagonal. Parametrisiert man E_{int} nach der Kurvenrichtung und -krümmung, so ist die Euler-Gleichung dieser so genannten Tangent Angle Function Snakes nur noch von zweiter Ordnung und die Koeffizientenmatrix des linearen Systems tridiagonal. Dieser vergleichsweise einfache Snakes-Algorithmus arbeitet schnell und zuverlässig an glatten Kurven. Angewendet auf die kartographische Verdrängung von Linienobjekten zeigten sich Formstörungen an stark gekrümmten und ungleichabständig digitalisierten Linien. Die Ursachen der Defekte wurden untersucht, beseitigt und damit das Verfahren robustifiziert.

1 Introduction

As well known, the snakes technology is derived from the energy minimum principle. Since the latter is a universal one, also alternative tasks can be solved with snakes (MEIER 2000), aside from recognition and extraction problems of digital image processing like, for example the displacement of line objects in digital cartography and in terminal outputs of semantic information of any kind (BURGHARDT & MEIER 1997). Hereby, the internal energy (shape energy) with the elasticity and the stiffness term is used to retain the original shape of the lines as much as possible. In these terms, typical curve characteristics like direction and curvature are contained implicitly.

The shape-retaining line displacement suggests parameterizing the shape energy di-

rectly in respect to curve direction and curvature. From this, a new species of snakes is derived with only one Eulerian equation of, yet, a different kind and, after its discretization, also a differently structured equation system with considerable consequences for the numerical calculation (paragraph 2). The new snakes algorithm developed by BORKOWSKI et al. (1999) is somewhat faster than the original one created by KASS et al. (1987) and delivers approximately the same stable solutions to sufficiently smooth and dense enough digitized lines. Nevertheless, undesirable shape distortions up to breaks/corners were found on strongly curved, nonequidistant digitized lines from time to time during tests with real data. The causes for the instabilities were examined, eliminated and, so, the algorithm robustified (paragraph 3).

2 Basic Relations of Tangent Angle Function Snakes

In the conventional snakes model (KASS et al. 1987), compare to Tab. 1, the internal energy E_{int} from the elasticity term and the stiffness term are combined in linear fashion. The prior contains the first derivatives, the latter the second derivatives of the planar coordinates $x = x(s)$, $y = y(s)$ in respect to the arc length s . The parameters α and β weigh down both terms respectively, as well as E_{int} against the external energy E_{ext} . They can be constant or position-dependent. Furthermore, they can be changed (interactive controlling). The Eulerian equations in Tab. 1 are noted down for constant α and β . As

they are of the fourth order in x , y , five points are needed in the discrete approximation. The coefficient matrix A_p of the linear equation systems with respect to the x , y -coordinates is pentadiagonal. If E_{int} from the curve direction $\varphi(s)$ and its first derivative $\dot{\varphi}(s)$, identically with the curvature, is combined, the Eulerian equation comes about in $\varphi(s)$. Therefore, we have called the new species of snakes described in detail by BORKOWSKI et al. (1999) **Tangent Angle Function Snakes (TAFUS)**. Their main characteristics, when compared to conventional snakes, are the following (compare Tab. 1):

In lieu of *two* Eulerian equations of the fourth order in $x(s)$, $y(s)$, there is, now, *one* equation of the second order in $\varphi(s)$, thus,

Tab. 1: Basic relations of Tangent Angle Function Snakes (left) compared with those of conventional snakes (right). The points denote derivations with respect to the arc length s . For details see chapter 2.

Tangent Angle Function Snakes	Conventional Snakes
Internal energy (shape energy)	
$\alpha\varphi^2 + \beta\dot{\varphi}^2$ direction curvature $\varphi(s) = \arctan(\dot{y}/\dot{x})$ $\dot{\varphi}(s) = \dot{x}\ddot{y} - \dot{y}\ddot{x}$	$\alpha \dot{y} ^2 + \beta \ddot{y} ^2$ elasticity stiffness $\dot{y} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix}, \ddot{y} = \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \end{bmatrix}$
External energy (conflict energy)	
$E_{ext} = \begin{cases} 1 - a/h & : a < h \\ 0 & : a \geq h \end{cases}$ $-\frac{\partial E_{ext}}{\partial \varphi} = \frac{1}{h} \frac{\partial a}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial \varphi} = \frac{1}{h} \frac{\partial a}{\partial s} \frac{1}{\dot{\varphi}}$	$-\frac{\partial E_{ext}}{\partial x} = \frac{1}{h} \frac{\partial a}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial x} = \frac{1}{h} \frac{\partial a}{\partial s} \cos \varphi$ $-\frac{\partial E_{ext}}{\partial y} = \frac{1}{h} \frac{\partial a}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial y} = \frac{1}{h} \frac{\partial a}{\partial s} \sin \varphi$
Eulerian equations	
$\frac{\partial E_{ext}}{\partial \varphi} - \alpha\varphi + \beta\ddot{\varphi} = 0$ + Restriction: Snakes points move vertically to the snakes direction	$\frac{\partial E_{ext}}{\partial x} - \alpha\ddot{x} + \beta x^{(4)} = 0$ $\frac{\partial E_{ext}}{\partial y} - \alpha\ddot{y} + \beta y^{(4)} = 0$
Discretization (FDM)	
3-direction-approximation $A_T \varphi = \underline{b}_\varphi$ $A_T \text{ tridiagonal}$	5-point-approximation $A_p x = \underline{b}_x$ $A_p y = \underline{b}_y$ $A_p \text{ pentadiagonal}$

discretely, only *one* equation system to be solved. The coefficient matrix A_p is tridiagonal with a very noticeably better condition than A_p . The TAFUS-solution, however, is not unique: the new side directions of the deformed polygon snakes are obtained, yet not the new side lengths. In order to be able to calculate the coordinates of the deformed snakes an additional condition is called for: of course, we determined that the snakes points move vertically to the snakes direction. These transversal displacements can be calculated at small changes in direction $\delta\varphi$ by way of the arc formula and lastly, from

this, the coordinates. Otherwise, the coordinates are determined by means of an intersection (a section of two straight lines noted in point-direction equations); compare Fig. 1 and Tab. 2.

The term E_{ext} is shown in Tab. 1 as conflict energy in the case of (cartographic) line object displacement: $E_{ext} > 0$ if the distance of neighboring line objects $a = a(s)$ is smaller than a given hardcore distance $h = const$, $E_{ext} = 0$, if no conflict exists with $a \geq h$. The derivatives of E_{ext} with respect to x , y (snakes) or with respect to φ (TAFUS), which constitute the inhomogenities of the linear equation systems in both models, aside from the hardcore distance h , contain conflict change $\partial a / \partial s$ along s and in the snake-model additionally the direction φ as well as the curvature $\dot{\varphi}$ in the TAFUS-model. For both, the different coefficient matrices (A_T , A_p) as well as the inhomogenities (b_x , b_y ; b_φ) TAFUS must be controlled differently from conventional snakes for obtaining equivalent results.

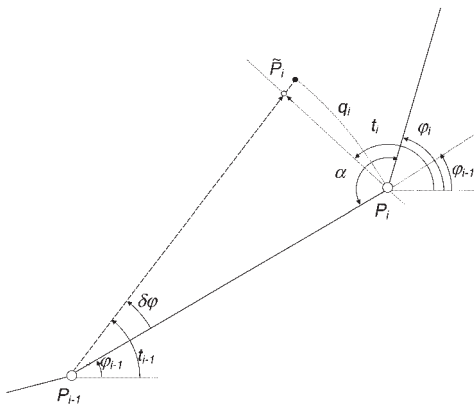


Fig. 1: Displacement by the TAFUS algorithm. The polygon snake direction φ_{i-1} turns into the new direction $\varphi_{i-1} + \delta\varphi$. For computation of coordinates of the displaced point \bar{P}_i see Tab. 2.

3 Robustification of Tangent Angle Function Snakes

The TAFUS-algorithm works dependably on sufficiently smooth, equidistant and densely enough discretized curves. In tests with real data shape distortions were obtained when the curves were highly curved, had

Tab. 2: Computation of the TAFUS coordinates \bar{x}_i , \bar{y}_i by the arc formula (left) or by intersection (right); see also Fig. 1. Deviations between the results of both methods are outlined in chapter 3, ii).

Arc formula	Intersection
$\delta x_i = q_i \cos\left(\varphi_{i-1} + \frac{\pi}{2}\right)$ $\delta y_i = q_i \sin\left(\varphi_{i-1} + \frac{\pi}{2}\right)$ $q_i = s_i \cdot \delta\varphi_{i-1,i}$ $s_i^2 = (x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2$	$\bar{x}_i = x_i + \delta x_i$ $\bar{y}_i = y_i + \delta y_i$ $\delta x_i = \frac{y_i - y_{i-1} + (x_i - x_{i-1}) \tan t_{i-1}}{\tan t_{i-1} - \tan t_i}$ $\delta y_i = (\bar{x}_i - x_i) \tan t_i$ $t_{i-1} = \varphi_{i-1} + \delta\varphi_{i-1,i}$ $t_i = \frac{1}{2}(\pi + \varphi_{i-1} + \varphi_i) \text{ if } \delta\varphi > 0$ $t_i = \frac{1}{2}(3\pi + \varphi_{i-1} + \varphi_i) \text{ if } \delta\varphi < 0$

breaks/corners and/or had been locally variably digitized. In order to robustify the procedure, the possible causes for defects were sought:

i) *Definition of the conflict energy* (see Tab. 1).

According to the definition E_{ext} diminishes from the position of the maximum ($a = 0$) to the position of the just eliminated conflict ($a = h$) in linear fashion. If E_{ext} is set up as exponentially decreasing in a , the snake at first comes close in an iteratively fast way but then in a slower one to the position sought. Our tests have shown that the quality of the solution is independent of a special monotonely decreasing function type for E_{ext} .

ii) *Calculation of the coordinates* (see Tab. 2). In the iterative algorithm, the direction changes $\delta\varphi$ and the coordinates changes δx_i , δy_i are small quantities. Therefore, the new coordinates \tilde{x}_i , \tilde{y}_i of snake points P_i had, up to now, been approximated with the arc formula. This solution was compared to the correct one: Intersecting, starting from points P_{i-1} , P_i with directions t_{i-1} , t_i (see Fig. 1 and Tab. 2).

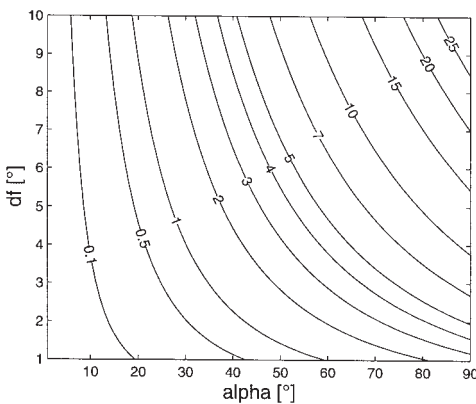


Fig. 2: Deviation of position (in percent) computed by two variants according to Tab. 2, related to the curvature radius r , and as function of the break angle α (in degree), and of the change $df \equiv \delta\varphi$ of the polygon side direction φ (in degree). For discussion see chapter 3, ii).

The position error of the approximated solution depends on $\delta\varphi$, α and the local curvature radius r of the curve. In Fig. 2 the lines of the equal position deviation are shown in respect to r ; for example, if $\delta\varphi = 4^\circ$, $\alpha = 90^\circ$ a deviation of 10% is obtained, thus 1 mm for $r = 10$ mm. On real line objects, the order of the magnitude of one percent is, as a rule, hardly ever surpassed. Therefore, the undesirable defects could be eliminated by intersecting to only a small degree (not completely).

iii) *Spacing of digitized data.*

Irregular spacing has shown itself to be the main source for instabilities. In the conventional snakes-algorithm, deviations from the equidistance, with the exception of long pieces of straight lines (without interpolated points), hardly play a role (BURGHARDT & MEIER 1997). They are, however, of importance to the TAFUS-algorithm.

The necessity for interpolating the data at first seems to be a disadvantage, rather causing the reduction of the TAFUS potencies. But this is only partially so, for also in the conventional snakes-algorithm there is interpolation and this even in *every* iteration step for finding out the respective conflict energy E_{ext} . Fig. 3 shows that this is necessary: E_{ext} is calculated from the discrete distances a_i between the points of closely neighboring pieces of curves: $E_{ext} > 0$, expressed by distances a_i , which are smaller than a given hardcore distance h (Fig. 3, right). If, however, polygon side lengths surpass the value $2h$, then $a_i < h$ and $E_{ext} = 0$ are possible (Fig. 3, left) although a conflict exists. In this case, not only E_{ext} but also $\partial E_{ext} / \partial \varphi \sim \partial a / \partial s$, meaning the change of conflict along the curve(s) and, thus, the inhomogeneity of the linear equation system (see Tab. 1), is calculated incorrectly in a local neighborhood of the critical spots, especially when small and large point distances alternate. The defects named can be eliminated by a *onetime* approximated equidistant interpolation of the input data. However, one needs to, then, work with more extended data sets.

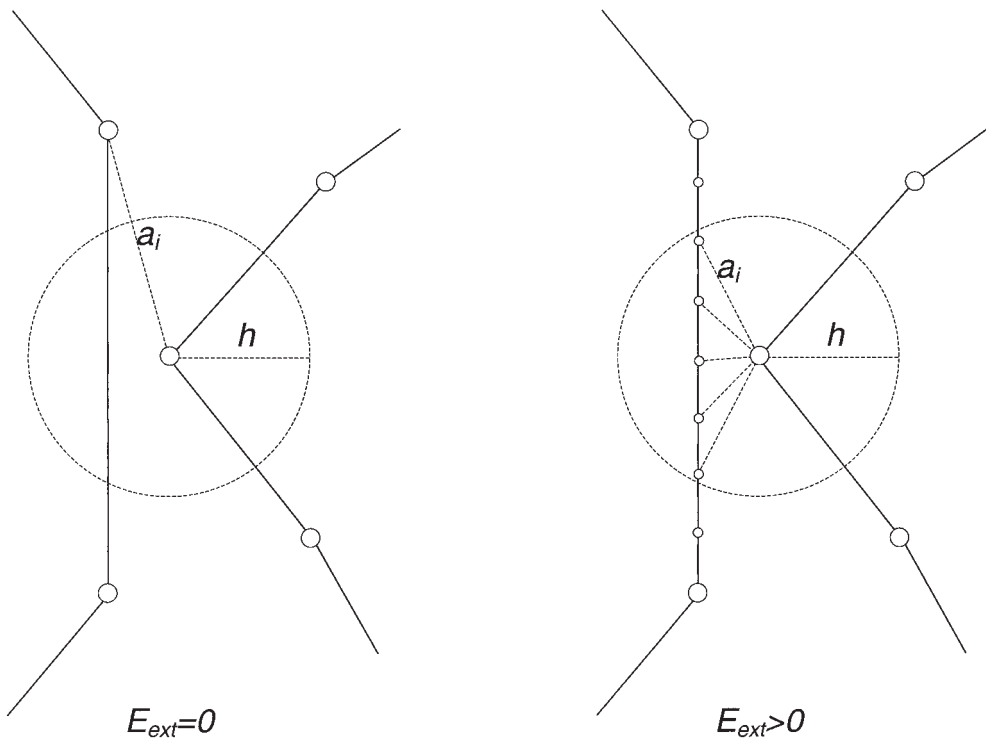


Fig. 3: Numerical computation of the external energy E_{ext} from interpolated data. For discussion see chapter 3, iii).

The situation is shown in the test example in Fig. 4. The line objects, which partially touch or even cover each other (a), were not equidistantly digitized (b). The displacement solution with the TAFUS-algorithm (c) shows shape distortions; especially breaks were increased. With the interpolated data shape-stable solutions are obtained by means of the arc formula (e) as well as by intersecting (f).

4 Conclusion

The interpolated data in Fig. 4 (d) so-to-speak represent a vectorial pendant to regular raster data, yet with directions $\varphi_i \in (0, 2\pi)$. Therefore, in the TAFUS-algorithm with vector data also small, especially arbitrary small changes $\delta\varphi_i$ are possible; yet in

the grid with an 8-neighborhood only discrete direction breaks of about at least $\pi/4$. Thus, the TAFUS-algorithm is limited to special applications. The same goes also for several other snakes models created in the digital image processing like ribbons, twins, ziplocks, and others. The TAFUS-model is no exception in this respect.

In the transition from the continuous Eulerian equations to the linear equation systems, the equidistant discretization is, of course, supposed. Yet, irregularly digitized line objects occur rather often in practice, for example in the geo-data storage ATKIS used in Germany. Hereby, the TAFUS-algorithm reacts more sensitively than conventional snakes. Instabilities regarding the curve shape can, however, be avoided by using approximative equidistant data.

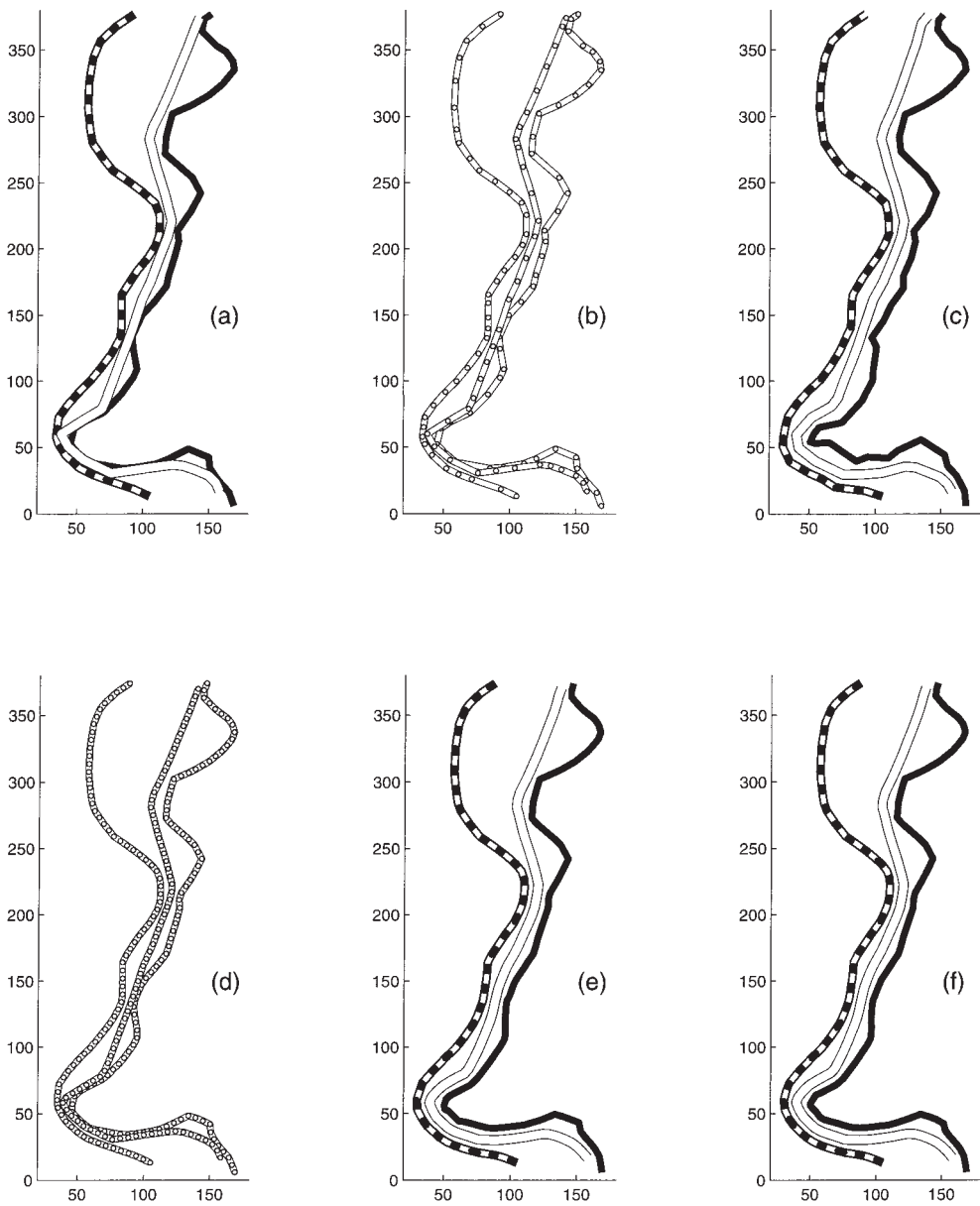


Fig. 4: Test example. Variants of line objects displacement by the TAFUS algorithm with non-regular and regularized data, discussed in chapter 3, iii).

References

- BORKOWSKI, A., BURGHARDT, D. & MEIER, S., 1999: A fast snakes algorithm using the tangent angle function. – IAPRS, Vol. 32, Part 3–2W5, 61–65.
- BURGHARDT, D. & MEIER, S., 1997: Cartographic displacement using the snakes concept. – In: FÖRSTNER, W. & PLÜMER, L. (eds.): Semantic Modeling for the Acquisition of Topographic Information from Images and Maps. – Birkhäuser Verlag, Basel, 59–71.
- KASS, M., WITKIN, A. & TERZOPOULOS, D., 1987: Snakes: Active contour models. – Proc. of the First Internat. Conf. on Computer Vision, IEEE Comp. Soc. Press, 259–268.
- MEIER, S., 2000: Die Snakes-Approximation als Hilfsmittel der Geodaten-Verarbeitung. – Allg. Verm. Nachr. **2**: 50–57.

Anschriften der Verfasser:

Dr.-Ing. ANDRZEJ BORKOWSKI, Katedra Geodezji i Fotogrametrii Akademii Rolniczej we Wrocławiu, ul. Grunwaldzka 53, 50–357 Wrocław, Poland.

Tel.: +48-71-20 56 90, Fax: +48-71-3 20 56 17

e-mail: borkowski@ar.wroc.pl

Prof. Dr. SIEGFRIED MEIER, Institut für Planetare Geodäsie, Technische Universität Dresden, Mommsenstraße 13, D-01062 Dresden, Germany.

Tel.: +49-351-4633416, Fax: +49-351-4637063

e-mail: meier@ipg.geo.tu-dresden.de

Manuskript eingegangen: September 2000

Angenommen: Oktober 2000

Berichte

InGeo Information Center im WEB gestartet

Am 14. September 2000 wurde in Darmstadt das Projekt InGeo Information Center (**InGeo IC**) eröffnet. In zweijähriger Projektarbeit unter der Leitung des *Fraunhofer-Instituts für grafische Datenverarbeitung (IGD)* und mit Unterstützung der *Hessischen Technologiestedung GmbH*, des *Hessischen Landesvermessungsamtes* und der Firma *Intergraph (Deutschland) GmbH* sind innovative Methoden und Konzepte erarbeitet worden, die das Auffinden, Vergleichen und Bewerten von Geodaten mit Hilfe der Metadatentechnik ermöglichen.

Eine Live-Recherche demonstrierte die Funktionalität und einfache Handhabung der InGeoIC-Suchmaschine. Unter

www.ingeoic.de

findet der Nutzer ein deutschsprachiges und international ausgerichtetes Portal, das eine auf die individuellen Anforderungen angepasste Geodatenuche ermöglicht. Das Rechercheergebnis gibt Auskunft über Eigenschaften und Qualität der Daten sowie über die Konditionen verschiedener Anbieter. Das InGeo IC-Webangebot wird bereits jetzt – und erst recht nach den bevorstehenden Einträgen von weiteren Geodatenanbietern – seinem Anspruch gerecht: Statt Suchen findet Finden statt.

Nicht zu unterschätzen ist der Wirtschaftsfaktor „Geoinformation“ im Hinblick auf e-commerce Made in Germany. So wollen gerade wesentliche Nutzergruppen wie z. B. der Bereich der Banken und Logistikfirmen unter Zugriff auf Geodaten über vernetzte Strukturen und E-Commerce-Applikationen Lösungen für ihre Kunden schaffen. Neben privaten Unternehmen sind es gerade Bund und Länder, die einerseits über enorme Datenmengen verfügen, andererseits aber auch einen großen Bedarf an aktuellen Geoinformationen haben. Die vernetzte Form der Informationsverarbeitung des InGeo IC schafft die maßgeblichen

Voraussetzungen für eine reibungslos funktionierende Geodateninfrastruktur zwischen Anbietern und Nutzern.

Nach Projektabschluss im Juni 2001 sollen neben der Web-Suche und Selektion von Geodaten unterschiedlichster Formate auch Services rund um den Aufbau und Betrieb von Geo-Metadaten-Servern angeboten werden. Diese hochwertigen, investitionsintensiven Resultate werden dann in kommerzielle Hände übergeben.

Das InGeo IC hat einen ausgeprägt dezentralen Charakter bezüglich der angebundenen Metadatenbanken. Unter Verwendung des InGeo Metadatenformats (InGeo MDF) wird jedem Geodatenanbieter ermöglicht, seine Metadaten selbst zu erzeugen und mit Hilfe einer web-basierten Datenbank Anpassung über die Plattform des InGeo IC potenziellen Nutzern zur Verfügung zu stellen. Weil das InGeo MDF auf dem zukünftigen ISO-Standard 19115 für Metadaten beruht, ist die Vernetzung mit internationalen Geodatenwarenhäusern möglich. Schließlich unterstützt dieses Konzept auch den nachfolgenden Zugriff auf originäre Datenbestände und damit die Option auf die Weiterführung in Richtung e-commerce. Sicherheitsmechanismen, die auf allen Ebenen der Datenkommunikation eingebaut sind, verhindern die missbräuchliche Datennutzung.

Quelle: InGeoForum, Informations- und Kooperationsforum für Geodaten des ZGDV e. V. Rundeturmstraße 6, 64283 Darmstadt, Tel.: 06151-155400, Fax: 06151-155410
e-mail: info@ingeoforum.de,
<http://www.ingeoforum.de>

Das GEOSYSTEMS User Group Meeting vom 13. bis 15.11.2000

Bereits zum 9. Mal trafen sich ERDAS-Anwender und Interessierte aus den Bereichen Photogrammetrie und Fernerkundung beim so genannten „GUGM“ – dem GEO-

SYSTEMS User Group Meeting. Die Veranstaltung fand in der Stadthalle Germering nahe München, dem Sitz der Firma GEOSYSTEMS, statt. Insgesamt über 100 Teilnehmer – zu ähnlichen Teilen aus Bildung und Forschung sowie der Privatwirtschaft – trafen sich zum gemeinsamen Erfahrungsaustausch und um sich über Neuheiten und neue Anwendungsbereiche aus der Softwaregruppe ERDAS IMAGINE zu informieren. Der Veranstalter hatte ein ausgewogenes Programm an spezifischen Workshops und Fachvorträgen zusammengestellt.

Die Workshops zu Themen wie „Prozess-Automatisierung mit IMAGINE“ waren als allgemeiner Einstieg und erster Überblick gedacht. Ideal für Interessierte, die vorher nichts oder nur wenig mit dem jeweiligen IMAGINE Modul zu tun gehabt hatten. Im Workshop „Tipps und Tricks für IMAGINE OrthoBASE und Stereo Analyst“ wurden Möglichkeiten zur Vereinfachung bzw. Automatisierung der Orthophoto-Berechnung und Wege der dreidimensionalen Darstellung und vor allem Bearbeitung von Orthophotos demonstriert. Für tiefer gehende Detailfragen standen die Vortragenden sowie Mitarbeiter der Firma GEOSYSTEMS in den Pausen und im Anschluss an die Veranstaltung zur Verfügung.

Die Qualität der Fachvorträge hat von Vortrag zu Vortrag an Informationsgehalt und Qualität zugenommen. Sehr gut aufbereitet und informativ war beispielsweise der Beitrag „IKONOS-Daten und ihre Klassifikation – ein erster Erfahrungsbericht“ von GOTTHARD MEINEL und JOHANNES REDER vom Institut für ökologische Raumentwicklung in Dresden. Die Referenten diskutierten im Detail die Beschaffungs- und Aufnah-

memodalitäten von IKONOS-Satellitenbilddaten und nahmen eine Bewertung der Bildqualität vor. Besonderes Augenmerk galt der Georeferenzierung von IKONOS-Bilddaten. Abschließend wurde die Klassifikation der Bilddaten mit dem IMAGINE Expert Classifier und eCognition (Delphi2) verglichen.

HANNES RAGGAM von der Joanneum Research Forschungsgesellschaft in Graz ging in seinem guten Beitrag „Geokodierung von hochauflösenden Fernerkundungs-Bilddaten – Entwicklungen, Erfahrungen und Probleme“ auf die Geokodierung von Flugzeugscanner-Bilddaten des Daedalus ATM-Scanners ein und diskutierte die Orthorektifizierung von IKONOS „Geo-Produkten“. Diese werden als grob entzerrte Bildprodukte ausgeliefert, für deren Georeferenzierungsgenauigkeit für viele Anwendungen ein Verbesserungsbedarf besteht. Die Entwicklung von Methoden für geometrisch orientierte Verarbeitungsprozeduren von Fernerkundungs-Bilddaten ist ein Themenschwerpunkt am Institut für Digitale Bildverarbeitung des Joanneums.

Zur Organisation des Meetings kann man den Veranstaltern gratulieren. Das Team rund um LUDWIG ABELE und HEIKE WEIGAND konnte eine Reihe von qualifizierten Vortragenden zu verschiedensten Aspekten im Themenbereich Photogrammetrie und Fernerkundung gewinnen. Ein gemeinsamer gemütlicher Ausklang am Abend im Schloss Seefeld erlaubte auch persönliche Gespräche zwischen Teilnehmern und Vortragenden in entspannter Atmosphäre.

GERALD GRIESEBNER, Salzburg

Persönliches

Professor THOMAS LUHMANN, Fachhochschule Oldenburg, Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik und Vizepräsident der DGPF wurde während des ISPRS-Kongresses in Amsterdam für

die Zeit von 2000 bis 2004 als Co-Chairman für die Kommission V, WG V/1: „Automation in Industrial Vision Systems“ berufen.

HEINZ GRUNER, ein Photogrammeter der „alten Schule“*

Geboren in Berlin am 28. 11. 1897 und aufgewachsen in Bautzen/Sachsen, besuchte HEINZ ERNST REINHARD GRUNER dort auch die Schule. Mit 16 Jahren wurde er zum Militärdienst eingezogen. In einem Pionierbataillon bekam er in Flandern die „Feuertaufer“. Bis Ende des 1. Weltkrieges war er an der Front, brachte es bis zum Leutnant und erhielt hohe militärische Auszeichnungen.



Nach seiner Rückkehr ins zivile Leben begann er im Herbst 1919 das Studium der Geodäsie und Photogrammetrie bei Prof. REINHARD HUGERSHOFF an der Technischen Hochschule in Dresden. 1923 legte er die Diplomprüfung ab. Zu dieser Zeit interessierte er sich schon vorrangig für die Photogrammetrie, besuchte Vorlesungen darüber, nahm an Übungen teil und arbeitete gelegentlich in der photogrammetrischen Abteilung der Firma Gustav Heyde in Dresden. Nach Beendigung des Studiums konnte

er keine Anstellung als Vermessungsingenieur finden. Er ging deshalb zurück nach Bautzen, wo er als Messgehilfe, Ersatzlehrer an der Technischen Handelsschule, Entwickler in einer Maschinenbaufabrik, Lehrling in einem Werkzeugladen und schließlich in der Forschungs- und Berechnungsabteilung des Werkzeug- und Maschinenherstellers arbeitete. Diese Tätigkeiten während der Suche nach einem „richtigen“ Arbeitsplatz erwiesen sich später als sehr nützlich.

1925 wurde Dipl.-Ing. HEINZ GRUNER Assistent bei Prof. HUGERSHOFF am Geodätischen Institut der Forstakademie Tharandt bei Dresden. Hier war er beteiligt an der Forschungs- und Entwicklungsarbeit von HUGERSHOFF, die zu einigen neuen photogrammetrischen Aufnahme- und Auswertegeräten führte. Im Jahre 1927 machte HEINZ GRUNER, gemeinsam mit HUGERSHOFF, seine erste Reise in die USA zur Einführung der photogrammetrischen Verfahren bei den US Federal Mapping Agencies. 1929 wurde in Washington, DC die Aerotopograph Corporation of America gegründet. HEINZ GRUNER wurde mit der Organisation der Abteilung „Stereokartierung“ beauftragt. Sie wurde ausgestattet mit den Stereokartiergeräten Aerokartograph von HUGERSHOFF. Das bedeutete praktisch, dass HEINZ GRUNER in den folgenden zwei Jahren Auswerter, Bildflieger, Ersatzpilot und Navigator, Vermessungsingenieur, Rechenstechniker, Lehrer und trouble-shooter war.

1930 führte er terrestrisch-photogrammetrische Vermessungsarbeiten am Colorado River zum Bau des Hoover-Damms aus. Dabei wurde der Universal-Photo-Theodolit von HUGERSHOFF eingesetzt.

Im Jahre 1931 kehrte HEINZ GRUNER nach Deutschland zurück. Er nahm kurzzeitig eine Anstellung bei Carl Zeiss Jena an.

Aber schon im Herbst 1932 immigrierte er mit seiner Familie in die USA. Er hatte von dort eine Einladung erhalten, als ziviler Leiter eines Forschungsbereiches in Dayton, Ohio die Einführung der Aerophotogrammetrie für die Militärische Kartierung zu organisieren. Während der folgenden fünf Jahre war er u. a. damit beschäftigt, Forschungsarbeiten auszuführen zur Auswer-

* Siehe auch: HEINZ GRUNER, Pionier der Photogrammetrie in den USA, zum 75. Geburtstag. Von K. Schwidefsky, BuL 3/1973, S. 108/109.

tung von Mehrlinsen-Fotos, Testung und Justierung von Stereokartiergeräten und Entwicklung von Geräten zur Kamera-Kalibrierung. Er nahm teil an Aufklärungs-Missionen, auch aus großen Flughöhen.

Im Juli 1934 gehörte HEINZ GRUNER zu den 12 Gründungsmitgliedern von „The American Society of Photogrammetry“ in Washington, DC.

Im Herbst 1936 entschloss er sich zur Rückkehr nach Deutschland. Er ging wieder zu Carl Zeiss Jena und damit zu REINHARD HUGERSHOFF und OTTO VON GRUBER, diesmal für 10 Jahre. Er wurde Leiter der Technischen Abteilung „Entwicklung photogrammetrischer Geräte und Verfahren“ von Zeiss-Aerotopograph. In dieser Zeit entwickelte Zeiss den Stereoplanigraph. HEINZ GRUNER war verantwortlich für Gebrauchsanleitungen und für die Installierung und Operateur-Ausbildung photogrammetrischer Geräte während des 2. Weltkrieges in neutralen Staaten.

Nach Kriegsende besetzten amerikanische Truppen Jena vor den russischen Soldaten. U.S.-Armee-Personal fand HEINZ GRUNER im Zeiss-Werk und bot ihm an, seine Familie aus Jena hinauszubringen. Innerhalb weniger Stunden verließ sie Jena mit wenig Gepäck in einem kleinen Armeelaster vor dem Eintreffen der russischen Truppen. HEINZ GRUNER verblieb in Jena, um dem Armee-Personal bei der Mitnahme von Zeiss-Ausrüstungen zu helfen.

1946 unterzeichnete HEINZ GRUNER einen Zweijahresvertrag mit dem U.S. War Department in Washington als Konsultant für Zeiss Stereoplanigraph und andere Geräte beim Army Mapping Service und dem U.S. Geological Survey in Washington. Seine Familie blieb in dieser Zeit in Westdeutschland.

Nach Ablauf des Vertrages wurde HEINZ GRUNER im Jahre 1948 Mitarbeiter der photogrammetrischen Abteilung von Bausch & Lomb in Rochester, New York. Jetzt konnte er auch wieder seine Familie aus Deutschland herüberholen.

Im Jahre 1951 nahm Familie GRUNER die U.S. Staatsbürgerschaft an.

Bei Bausch & Lomb arbeitete HEINZ GRUNER u.a. an der Verbesserung des Mul-

tiplex und am Balplex System (Balplex Super-wide Angle Mapping Projectors).

1967 ging er in Pension und beendete damit sein Berufsleben nach 20 Jahren Mitarbeit bei Bausch & Lomb.

Während seines ganzen Lebens war HEINZ GRUNER ein rastloser und aktiver Mensch. Ständig entwickelte, baute oder veränderte er etwas. Jedes Haus, das er bewohnte, wurde umgebaut, verändert oder erweitert. Bei seinem letzten Haus in Rochester hat er als Erstes 3D-Zeichnungen angefertigt und danach das ganze Dach angehoben. Nachdem so oben Platz geschaffen war, gestaltete er das Erdgeschoss mit den Bereichen: *Musikabteilung* mit Klavier, Stereo-Ton-Anlage, Stereo-Bild-Projektion; *Elektronische Abteilung* mit HeathKit-Fernsehen, Radio-Tuner, -Verstärker, Messgeräten, Wetterstation; *Holzbearbeitungs-Abteilung* zum Bau von Möbeln, Spielzeug und *Büroabteilung* mit Fach-Bibliothek und Zeichenmaschine für Konstruktionsarbeiten.

Dipl.-Ing. HEINZ GRUNER verstarb am 2.11.1993 im Alter von 95 Jahren in Rochester, New York.

ROBERT MCGIVERN, Rochester, New York

* Gekürzte und überarbeitete Fassung einer Gedächtnis-Vorlesung von Robert McGivern, vorgelesen zum ASPRS Annual Meeting am 25.5.2000 in Washington, DC.

Reproduced with permission, The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. McGivern, Robert., (2000). „Heinz Ernst Reinhard Gruner: 1897–1993.“ *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (PE&RS)*, vol. 66 no. 8, 941–944.

Hochschulnachrichten

Technische Universität Dresden

Dipl.-Ing. **HARALD J. ORTHABER** wurde am 16.6.1999 an der Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der TU Dresden mit der Dissertation „Bilddatenorientierte atmosphärische Korrektur und Auswertung von Satellitenbildern zur Kartierung vegetationsdominierter Gebiete“ zum Doktor des Wissenschaftszweiges Ingenieur-Wissenschaften (Dr.-Ing.) promoviert.

Vorsitzende der Promotionskommission: Prof. Dr.-Ing. I. WILFERT. Gutachter: Prof. Dipl.-Geol. Dr.phil. habil. M.F. BUCHROITHNER, TU Dresden, Prof. Dr.rer.nat. habil. H. KENNEWEG, TU Berlin, Prof. Dr.rer.nat. habil. CH. BERNHOFER, TU Dresden

Kurzfassung:

Erdbeobachtungssatelliten erlangen zunehmend an Bedeutung. Die vorliegende Studie beschreibt umfassend Mängel und Verbesserungen bei der Vorverarbeitung der Bilddaten sowie die Auswertung grundlegender Parameter von Objektklassen und Umweltfaktoren.

Speziell für vegetationsbedeckte alpine Räume wurde ein schnell ablaufendes Verfahren zur Atmosphärenkorrektur für Satellitenbilddaten entwickelt, welche zumindest einen kurzwelligen Spektralkanal (blau) und einen infraroten Spektralkanal (NIR) besitzen (wie z.B. bei LANDSAT-TM). Der dabei mögliche Einsatz neuester Entwicklungen physikalischer Modelle, die Anpassung der Korrekturparameter an die jeweils aktuellen Sensorspezifikationen und an die Positionsgeometrie der Satellitenplattformen sowie eine Modifikation und Optimierung der Tasseled Cap – Komponente lässt ein breites Spektrum von Anwendungsfällen zu. Durch den zur Vollerfassung von möglichen atmosphärischen und sensorischen Situationen vergleichsweise geringen Aufwand zur Erfassung der speziellen

Korrekturparameter wird eine flexible Anwendung wesentlich unterstützt. Bei der vorliegenden Korrekturmethode* wird ein physikalisches Modell als Basis herangezogen. Anpassungsparameter für den spezifischen Anwendungsfall werden extrahiert, indem für vegetationsbedeckte Areale eine aus den Bilddaten abgeleitete ‚haze‘ -Komponente zur Beschreibung der Streuungs- und Transmissionseigenschaften der Atmosphäre eingesetzt wird. Dies ermöglicht besonders im alpinen Gelände mit seinen kleinräumigen, sehr wechselhaften Situationen der Aerosoldichte eine wesentlich verbesserte atmosphärische Korrektur. Die Konzeption des Verfahrens zeigt bezüglich der Beschleunigung infolge einer vereinfachten Parametrisierung Parallelitäten zum Verfahren von RICHTER (1992, 1996), unterscheidet sich aber wesentlich in der Methode der Anpassung zum physikalischen Modell sowie im Steuerungselement (TC4). Zur atmosphärischen Korrektur vegetationsfreier Gebiete ist eine teilweise Kombination beider Verfahren eine zukünftige Option.

Die Datenauswertung umfasst ausgehend von den Prinzipien, Produktstufen, Genauigkeitsanalysen, Zusatzdaten über den Schwerpunkt spektraler Analysen zur Erfassung von Basisparametern der Vegetationsdecke bis hin zu weiterführenden Datenverarbeitungsverfahren. Es werden eine Reihe von Lösungen und Anregungen zu weiteren Entwicklungen vorgeschlagen. Berücksichtigung findet dabei insbesondere die kommende neue Sensorgeneration.

* Die Korrekturmethode wurde unter dem Namen „TACOR“ (Tasseled Cap Atmospheric Correction) mit Unterstützung von Bildverarbeitungs- und Office-Software teilautomatisiert und beim Österreichischen Patentamt am 10.6.1999 zur Patentierung eingereicht.

Vorankündigungen*

2001

23.–25. Mai: 3th **ISPRS Workshop on Dynamic and Multidimensional GIS**. 10th Annual Conference of CPGIS on Geoinformatics. GEOINFORMATICS & DMGIS 2001 in **Bangkok**, Thailand. Auskünfte durch: Dr. Jie Jiang, e-mail: jjie@nsdi.gov.cn, Dr. Xiaoyong Chen, Tel.: +66-2-524 6407, Fax: +66-2-524 5597, e-mail: xychen@ait.ac.th, <http://dellserv.star.ait.ac.th/dmGIS2001>

18.–20. Juni: 4th International Symposium: **CoastGIS' 01: Managing the Interfaces in Halifax**, Nova Scotia, Kanada. Auskünfte durch e-mail: Coastgis2001@agc.bio.ns.ca

28.–29. Juni: International Workshop on **Geo-Spatial Knowledge Processing for Natural Resource Management in Varese**, Italien. Auskünfte: e-mail: proterra@itim.mi.cnr.it, e-mail: proterra-info@itim.mi.cnr.it, e-mail: proterra-info@crii.uninsubria.it <http://proterra.itim.mi.cnr.it>

2.–4. August: **ICA 4th Workshop on Progress in Automated Map Generalization in Hong Kong**, China. Auskünfte durch: Robert Weibel, Tel.: +41-1-635 51 90, Fax: +41-1-635 68 48, e-mail: weibel@geo.unizh.ch, www.geo.unizh.ch/ICA/

2.–8. September: **International Association of Geodesy – Scientific Assembly in Budapest**, Ungarn. Auskünfte durch Tel.: +45-35 32-06 00, Fax: +45-35 36-53 57, e-mail: iag@gfy.ku.dk, www.sztaki.hu/conferences/iag2001

4.–6. September: Internationale Wissenschaftlich – Technische Konferenz: **Photo-**

grammetrie, Fernerkundung, Geoinformation – Geodaten schaffen Verbindungen in Konstanz am Bodensee. Veranstalter: Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (DGPF), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR/DFD), Schweizerische Gesellschaft für Photogrammetrie, Bildanalyse und Fernerkundung (SGPBF), Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation (ÖVG).

Auskünfte durch: Büros der drei Landesgesellschaften und DLR, Geschäftsstelle der DGPF: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EF-TAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Ostmarkstr. 92, 48145 Münster, Tel.: 0251-133 07-0, Fax: 0251-133 07-33, e-mail: Präsident@dgpf.de, <http://www.dgpf.de> oder: Sekretär der DGPF, Dr.-Ing. Manfred Wigenhagen, Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen, Universität Hannover, 30167 Hannover, Tel.: 0511-762-33 04, Fax: 0511-762-24 83, e-mail: wigge@ipi.uni-hannover.de

5.–7. September: **Digital Earth Moving 2001 (DEM2001)**. 1st International Symposium in **Manno (Lugano)**, Schweiz. Auskünfte durch: Caroline Westort, Tel: +41-91-610 8980, Fax: +41-91-610 8970, e-mail: dem2001@cimsi.cim.ch, www.cimsi.cim.ch/dem2001

10.–13. September: 18th Symposium **GRETSI' 01 on Signal and Image Processing in Toulouse**, Frankreich. Auskünfte durch: Christine Correcher, CNES, Délégation à la Communication et à l'Education, 18 av Edouard Belin, 31401 Toulouse Cedex 4, Frankreich, www.cnes.fr/gretsi

12.–14. September: **23. DAGM Symposium für Mustererkennung in München**. Deadline electronic full paper: 17. April 2001. Auskünfte Tel.: 0800-DAGM2001 bzw. 0800-32462001, e-mail: info@dagm2001.de, www.dagm2001.de

* Vgl. auch: PFG 1/2001, S. 69–72

17.–20. September: **5th International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition** in **San Francisco**, USA. Auskünfte durch: John J. Wharton, Veridan ERIM, Tel.: 1-734-994-1200, ext.3234, Fax: 1-734-994-5123, e-mail: wallman@erim-int.com

18.–21. September: **CIPA 2001 – Surveying and Documentation of Historic Buildings, Monuments, Sites – Traditional and Modern Methods**. International Symposium on Architectural Photogrammetry in **Potsdam**. Auskünfte durch: Prof. Dr.-Ing. Joerg Albertz, Technical University of Berlin, EB 9, Strasse des 17. Juni 135, 10623 Berlin, Tel.: +49-30-314 23331, Fax: +49-30-314-21104, e-mail: cipa2001@fpk.tu-berlin.de, <http://www.fpk.tu-berlin.de/cipa2001> oder: <http://info.uibk.ac.at/sci-org/cipa/>

20.–21. September: **Remote Sensing by Low-Frequency Radars** in **Neapel**, Italien. Auskünfte durch: M. Godefroy (EARSeL), 2 av Rapp, F-75340 Paris, Cedex 07, Tel.: 3-1-45 56 73 60, Fax: 3-1-45 56 73 61, e-mail: earsel@meteo.fr, <http://www.earsel.org>

8.–9. November: **IEEE/ ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas** in **Rom**, Italien. Leiter: Tullio Bucciarelli, Universität Rom „La Sapienza“. Auskünfte und Technische Leitung: Department of Electronics, Universität of Pavia, Via Ferrata, 1, 27100 Pavia, Italien. Tel.: 9-0382-50 57 81, Fax: 9-0382-42 25 83, http://tlc.unipv.it/urban_2001

Buchbesprechungen

KARL KRAUS (2000): Photogrammetrie, Band 3, Topographische Informationssysteme. 1. Auflage, Dümmler Verlag, Köln, 419 Seiten, ISBN 3-427-78751-6.

Im dritten Band des bekannten Lehrbuches „Photogrammetrie“ von Prof. KARL KRAUS werden die topographischen Informationssysteme (TISe) aus der Sicht der Photogrammetrie betrachtet. Aber auch andere Datenerfassungsmethoden wie z.B. das Laserscanning und die SAR-Interferometrie werden behandelt. Weitere Schwerpunkte in diesem Lehrbuch sind die Algorithmen für die digitalen topographischen Modelle und die Anwendungen von topographischen Informationssystemen. Auch eine Einführung in die Geoinformatik wird gegeben.

Topographische Informationssysteme werden als eine der Kategorien von Geo-Informationssystemen verstanden – neben den Landinformationssystemen für den Inhalt eines Mehrzweckkatasters und den Geographischen Informationssystemen für geographische und thematische Inhalte. In einem

TIS werden dagegen Daten für die natürliche und künstliche Landschaft gesammelt, gespeichert, modelliert, analysiert und multimedial präsentiert. Nach Meinung des Autors steht das TIS im Zentrum vieler übergeordneter Geo-Informationssysteme und gehört zur modernen Infrastruktur für eine prosperierende Wirtschaft und für eine effiziente öffentliche Verwaltung. Die Photogrammetrie aber ist das „Arbeitspferd“ bei der Erfassung der topographischen Basisdaten und digitale Orthofotos bilden eine wichtige Informationsebene in einem TIS. Außerdem werden digitale Bilder zur Visualisierung von topographischen Landschafts- und Stadtmodellen benutzt. Somit nehmen Photogrammetrie und Fernerkundung eine zentrale Rolle in einem TIS ein und der vorliegende dritte Band macht dies dem Leser auch genügend deutlich.

Das Lehrbuch beginnt mit einem Inhaltsverzeichnis der ersten beiden Bände, was sichtbar macht, dass ein homogenes Gesamtwerk konzipiert worden ist. Im Text des neuen Bandes finden sich auch zahlreiche

Hinweise zu den Kapiteln A (Band 1) und B bis E (Band 2), während nun die Kapitel F bis I den Band 3 unterteilen. In der vorangestellten Einführung in topographische Informationssysteme (Kapitel F) wird neben der Terminologie und den Definitionen auf die Bildung topographischer Modelle eingegangen. Der Autor unterscheidet 2D-TIS, 2D + 1D-TIS, 2.5D-TIS, 3D-TIS und 4D-TIS. Die verschiedenen Dimensionalitäten werden anhand der Lagebeziehung von zwei Geraden und der Ermittlung eines gemeinsamen Punktes erläutert. Dabei wird verständlich, dass der Aufwand für ein 3D-TIS wesentlich größer ist. Die unabhängige Modellierung der Situation und des Geländes (2D + 1D-TIS) führt zu ungewünschten Diskrepanzen, was im Lehrbuch mittels einer Grafik veranschaulicht wird. Das 4D-TIS dagegen ist auf die Veränderungen in der Landschaft ausgerichtet. In weiteren Kapiteln des Lehrbuches wird insbesondere die Modellierung des Geländes behandelt. Die dafür notwendigen Algorithmen werden ausführlich behandelt. Begonnen wird mit dem einfacheren 2D-Fall. Die Kurveninterpolationen mittels Polynomen, Spline-Funktionen, Interpolation nach Akima, Bessel und Bézier werden mittels Rechenbeispielen deutlich gemacht. Der nachfolgenden Flächeninterpolation und -approximation werden fast 100 Seiten gewidmet. Ausgegangen wird von unregelmäßig verteilten Punkten mit XYZ-Koordinaten. Markante Höhenpunkte und Punkte entlang von Geländekanten werden mit berücksichtigt. Eine Vielzahl von Interpolationsalgorithmen wird angegeben, u. a. die Interpolation mittels Flächensummutation und die Interpolation nach kleinsten Quadraten. Die jahrelangen Erfahrungen des Autors und von Forschungsgruppen an der Universität Stuttgart und der TU Wien bei der Erstellung und Optimierung des Programmpaketes „SCOP“ sind dabei eingeflossen. Am Ende dieses umfangreichen Unterkapitels über Flächeninterpolation (H. 3) wird noch ein Konzept für ein universelles 3D-Oberflächenmodell vorgestellt. Das abschließende Kapitel über die topographischen Informationssysteme (I) umfasst nahezu 150 Sei-

ten und ist in Gewinnung der topographischen Basisdaten, dem Aufbau von Datenbeständen und in die Folgeprodukte gegliedert. Neben den bereits erwähnten Erfassungsmethoden aus der Luft und dem Weltraum sind auch terrestrische Methoden (u. a. das so genannte ‚Mobile Mapping‘) und die Abtastung von Karten mit der nachfolgenden Raster/Vektor-Konvertierung behandelt. Bei dem Aufbau der Datenbestände werden auch die Bezugssysteme, die Metainformationen und die Qualität und ihre Visualisierung sowie die Problematik der unterschiedlichen Detaillierungsgrade („Level of details“) und der Austauschformate für Geodaten behandelt. In dem Unterkapitel über Folgeprodukte von TIS wird eine große Anzahl von neuartigen Produkten vorgestellt, wobei solche dominieren, die aus Geländemodellen abgeleitet oder mit Geländemodellen erzeugt werden können. U. a. sind dies: Neigungs- und Expositionsmodelle, Schummerungen, Perspektiven und Animationen, Bodenerosionsgefährdungskarten und virtuelle Rundgänge in fotorealistischen Stadtmodellen. Bei der letzten Anwendung kann man auch selbst navigieren, sofern die Stadt- oder auch Landschaftsmodelle in das VRML-Format überführt werden und eine entsprechende Software (z. B. „CosmoPlayer“) benutzt wird.

Das Lehrbuch ist sehr systematisch aufgebaut und mit vielen Bildern und Diagrammen illustriert worden. Zahlreiche Rechenbeispiele tragen sehr zum besseren Verständnis bei. Beim Lesen des Textes fällt angenehm auf, dass der Autor die in dem Fachgebiet oft benutzten englischsprachigen Fachausdrücke durch deutschsprachige ersetzt oder diese in kursiver Schreibweise wiedergibt. Zahlreiche Literaturhinweise werden angeführt, hauptsächlich von Arbeiten in Österreich und Deutschland. Das vorliegende Buch ist kartoniert und somit nicht besonders strapazierfähig. Die Drucklegung ist ohne Mängel. Eine spezielle Textverarbeitung trägt sehr zur Übersichtlichkeit bei. Die Bezeichnungen für Verbesserungen sind in den Formeln und im Text jedoch nicht immer gleich.

Das Lehrbuch ist insbesondere für Studenten und andere Lernende geeignet, die sich mit Geo-Informationssystemen intensiv beschäftigen wollen. Diese Personen bekommen sowohl einen guten Überblick über das Fachgebiet als auch Detailwissen und Literaturhinweise vermittelt, falls man sich noch weiter vertiefen möchte. Eingestreute Aufgaben geben dem Lernenden die Möglichkeit zu überprüfen, ob das vermittelte Wissen auch verstanden wurde und angewendet werden kann. Der Praktiker wird den Band 3 der Reihe „Photogrammetrie“ ebenfalls schätzen, da er den theoretischen Hintergrund von Arbeitsstationen und Anwenderprogrammen erfährt und dank zahlreicher Beispiele besser verstehen kann. Vor- und Nachteile verschiedener Verfahren werden im Lehrbuch oft gegenübergestellt. Zum Beispiel werden Laserscanning und Photogrammetrie miteinander verglichen. Der Inhalt des Lehrbuches ist modern, das Fachgebiet befindet sich aber in rascher Entwicklung.

Für dieses gelungene Lehrbuch gebührt KARL KRAUS Anerkennung und Dank. Es ist sein fünftes Lehrbuch und – wie er selbst im Vorwort schreibt – der Höhepunkt seines bisherigen Schaffens.

Der Band 3 der Reihe „Photogrammetrie“ basiert auf 30 Jahren Forschungsarbeit mit topographischen Informationssystemen und auf einer noch längeren Erfahrung als Pädagoge und Autor wissenschaftlicher Literatur. Jedem an Geo-Informationssystemen Interessierten, Student oder Praktiker, kann dieses neue Lehrbuch sehr empfohlen werden.

JOACHIM HÖHLE, Aalborg/Dänemark

FRANZ-JOSEF BEHR (2000): Strategisches GIS-Management. Grundlagen, System-einführung und Betrieb. Wichmann Verlag. X, 395 Seiten. 2. überarbeitete Auflage. Kartoniert DM 118,-. ISBN 387907-350-3. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg

Unmittelbar nach Betrachten der 1998 erschienenen ersten Auflage des zu bespre-

chenden Buches hatte der Rezensent dem Autor per Mail zu diesem hervorragend aufgebauten Werk gratuliert. Dieser Meinung scheinen viele Käufer gefolgt zu sein, so dass gerade mal 2 Jahre bis zum Erscheinen der zweiten Auflage vergangen sind. Diese ist im Vergleich zur ersten Auflage nur geringfügig überarbeitet. So sind wenige neuere technische Entwicklungen aufgenommen, im Wesentlichen jedoch das Layout und die Grafiken überarbeitet sowie die Literatur aktualisiert worden.

Das Buch gliedert sich im Prinzip nach dem Phasenschema einer GIS-Einführung in einem Unternehmen. Damit dieses Schema fachlich im GIS-Umfeld verständlich wird, werden jedoch vorweg vier Kapitel mit allgemeineren Grundlagen der Geo-Informationssysteme, der Datenhaltung und Informations- und Kommunikationskonzepte vorgeschaltet. Anschließend folgt je Schritt des von BEHR vorgestellten Vorgehensmodells bei der GIS-Einführung ein Kapitel. Die einzelnen Phasen werden jeweils ausführlich unter technischen, personellen und organisatorischen Aspekten erörtert und durch zahlreiche Fallbeispiele aus der Consultingumgebung des Verfassers untersetzt. Das von BEHR propagierte Vorgehensmodell, welches zwischen den Hauptphasen Systemanalyse, Systemauswahl und Systemeinführung unterscheidet, ist jedem nahelegen, der sich irgendwann einmal mit der Implementation von GIS-Konzepten in der unternehmensweiten Informationsverarbeitung auseinandersetzen muss. Egal, ob es sich dabei um einen Arbeitsplatz oder um eine Vielzahl von Arbeitsplätzen handelt, also ob Investitionsvolumina von einigen 10 TDM bis hin zu etlichen 100 TDM vorgesehen sind. In allen diesen Fällen sind die vorgeschlagenen Schritte zu absolvieren, jedoch jeweils mit entsprechend angepasstem Arbeitsaufwand und eventuell unter Hinzuziehung externer Expertise. Es geht daher um die systematische Herangehensweise, die BEHR mit seinem Buch vermittelt und die er hervorragend anhand von Fallbeispielen sowie durch Checklisten, Formulare usw. untersetzt. Somit bietet er also Anleitungen und Materialien durchaus auch

zum Selbststudium an, die von guter Qualität sind und auch von Einsteigern verstanden und nachvollzogen werden können. Hierzu dienen auch die beiden Anhänge, einerseits Checklisten und andererseits typische Informationsprodukte des GIS-Einsatzes. Hier bleibt der einzige kleine Kritikpunkt für den Rezensenten. In der ersten Auflage nannte BEHR diesen Teil des Anhangs ‚GIS-Produkte‘ und trat damit begrifflich in Konflikt mit den kommerziell am Markt befindlichen GIS-Produkten. Nun nennt er den Anhang B im Inhaltsverzeichnis ‚Informationsprodukte‘, bleibt aber im Anhang bei der alten Bezeichnung ‚GIS-Produkte‘. Diese Begriffsbildung sollte in einer zukünftigen Auflage nochmals überdacht werden. Aus meiner Sicht beschreibt BEHR hier ‚typische Planwerke und Informationsprodukte‘, die aus der GIS-Anwendung in den klassischen kommunalen Anwendungsgebieten wie Vermessung, Planung, Umwelt sowie Ver- und Entsorgung entstehen.

Das Buch kann uneingeschränkt empfohlen werden. Es ist gut lesbar und ansprechend mit Abbildungen durchsetzt. Der Rezensent hat damit z. B. selbst gute Erfahrungen auch im Studienbetrieb gemacht. Zielgruppe ist aber definitiv mehr das berufliche Umfeld, von potenziellen Anwendern bis hin zu Beratern, für die das Buch ein wichtiges Arbeitsmittel in der Entscheidungsfindung zur Einführung eines GIS darstellt.

RALF BILL, Universität Rostock

HANS-GÜNTER GIERLOFF-EMDEN (1999): „Radar-Altmetrie von Satelliten zur Erforschung des Reliefs des Meeresbodens“. Ein Beitrag zur interdisziplinären Forschung der Meereskunde und der Fernerkundung mit Beispielen nach ERS-1/2 Satellitenaltmetrie nach Validation zu Weltkarten der Gravitationsanomalien von P. KNUtSEN und O.B. ANDERSEN. Münchener Universitätsschriften Fakultät für Geowissenschaften. Münchener Geographische Abhandlungen, Reihe A, Bd. A 50. <http://www.lrz-muenchen.de/~geographie/GE/Radar-Altmetrie.htm>, Kommissionsverlag: GEO-BUCH-Verlag, Rosental 2, 80331 München. ISBN 3-925308-725.

metrie.htm, Kommissionsverlag: GEO-BUCH-Verlag, Rosental 2, 80331 München. ISBN 3-925308-725.

In der vorliegenden Publikation wird die Anwendung der Radar-Altmetrie auf die Relief-Vermessung des Meeresbodens als interdisziplinäre Forschungsmethode exzellent dargelegt. Das Werk ist eine hervorragende Monographie, in der die bis heute relevanten Ergebnisse in Form methodischer und regionaler Anwendungen an Beispielen vorgestellt werden.

Der erste Teil gibt in drei Kapiteln einen Überblick über die derzeitigen Kenntnisse vom Meeresboden, sein Relief bezüglich horizontaler und vertikaler Gliederung, bisherige kartographische Aufnahmemethoden und Darstellungsarten sowie die Schilderung von Großformen als Interpretationsmodelle für Satellitenaltmetrie. Behandelt werden nicht nur die Entstehung des Meeresbodens und seine heute bekannten Eigenschaften, sondern auch entsprechende geophysikalische Messverfahren.

In zwei Kapiteln wird im 2. Teil die Radaraltmetrie von Satelliten zur Relieferkundung des Meeresbodens sowie zur Bestimmung der Meeresoberfläche und deren Korrelation mit Gravitationsanomalien vorgestellt. Ein umfangreiches, farbiges Tafelwerk schließt die Monographie ab.

Die große Menge des verarbeiteten Informationsmaterials schlägt sich in einem vorzüglichen, umfassenden und sehr informativen Quellenkatalog nieder, der sowohl die neueste Literatur als auch Angaben über die derzeit verfügbaren Karten und Atlanten enthält. Zahlreiche Abbildungen und Tabellen veranschaulichen die Vorgänge, Prinzipien sowie die Problematik und führen zu Transparenz und Verständlichkeit auch komplexer Zusammenhänge. Die große Zahl an Beiträgen und Informationen, die bisher nicht veröffentlicht sind, sondern aus dem reichen Fundus des Verfassers stammen sowie durch seine Kommunikation mit führenden Wissenschaftlern gewonnen wurden, geben wichtigen Teilen des Werkes den Charakter einer Original-Publikation.

Die Arbeit ist ein wesentlicher, für dieses spezielle Gebiet unabdingbarer Beitrag zur interdisziplinären Forschung und ihrer Anwendung in der Meereskunde. Sie wird sicherlich ein Standardwerk im deutschsprachigen Raum für Wissenschaftler und Studenten sowie für Lehrer und Nutzer der Fernerkundung und Ozeanographie sein.

WOLFGANG KEYDEL, Oberpfaffenhofen

Geräteverkauf:

- 1 ZEISS Steroplotter Planicomp P2, Baujahr 1979/1990
- 1 COLENTA Entwicklungsmaschine Imageline 68 SP, max. Arbeitsbreite 68 cm, Baujahr 1995

Angebote und Rückfragen richten Sie bitte an die Direktion für Ländliche Entwicklung, Sachgebiet Fernerkundung, Infanteriestr. 11, D-80797 München
Tel.: 089-121313-87, Fax: 089-12131553.
E-mail: Ernst.Passberger@DLE-M.Bayern.de

Neuerscheinungen

KURT BRUNNER & WALTER M. WELSCH (Hrsg.), 1999: Hochgebirgs- und Gletscherforschung. Zum 100. Geburtstag von RICHARD FINSTERWALDER. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen der Universität der Bundeswehr München. Heft 62. 85577 Neubiberg, 114 S. ISSN 0173-1009
Inhalt:

WELSCH, W.M., Richard Finsterwalder – Zum Gedenken seines 100. Geburtstages.

FINSTERWALDER, RÜDIGER, Richard Finsterwalder als Hochgebirgsforscher.

BRUNNER, K., Die Beiträge Richard Finsterwalders zu Topografie und Kartografie.

DORRER, E., Die Bedeutung Richard Finsterwalders für die Photogrammetrie.

LANG, H., Richard Finsterwalder und die alpine Schule der Gletscherforschung.

REINWARTH, O., Richard Finsterwalders Funktion in der Glazial- und Polarforschung.

BRUNNER, K., Expeditionskarten des Fedtschenkogletschers, Alai-Pamir.

FINSTERWALDER, RÜDIGER, Die Neubearbeitung der Topographisch-Geomorphologischen Kartenprobe 1:25000 „Süßbleiteck“.

- Die Geschichte der alpinen Gletscherkurse
- Bibliografisches

OTTO KÖLBL (Hrsg.), 1999: OEEPE-Workshop on Automation in Digital Photogrammetric Production. Marne la Vallée, 22–24 June 1999. 490 S. OEEPE Publ. off. No. 37. ISSN 0257-0505. Bestellung bei: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Abt. Geoinformationswesen, Richard-Strauss-Allee 11, D-60598 Frankfurt am Main oder: www.itc.nl/~oeepe

NORBERT BARTELME, 2000: Geoinformatik. Modelle, Strukturen, Funktionen. 3. erw. u. aktualisierte Aufl. X, 419 Seiten. Springer-Verlag Heidelberg. ISBN 3-540-65988-9

GERHARD JOOS, 2000: Zur Qualität von objektstrukturierten Geodaten. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 66, 140 S., ISSN 0173-1009.

FELICITAS LANG, 1999: Geometrische und semantische Rekonstruktion von Gebäuden durch Ableitung von 3D-Gebäudeecken. Dissertation Universität Bonn 1999, 182 S.; Shaker Verlag, Aachen 1999, ISBN 3-8265-6619-X.

CHRISTIAN PIECHULLEK, 2000: Oberflächenrekonstruktion mit Hilfe einer Mehrbild-Shape-from-Shading-Methode. Deutsche Geodätische Kommission, München, Reihe C, Heft 518, 96 S., ISBN 3-7696-9557-7.

- MARTIN SCHLÜTER, 2000: Fortführung von Geoinformationssystemen anhand direkt aufgezeichneter digitaler Bilddaten. Abschlussbericht für das Forschungsvorhaben „Anwendung und Entwicklung von Verfahren zur Nutzung von MOMS-2P-Daten für topographische und thematisch-kartographische Aufgabenstellungen“. Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 14, Frankfurt a.M. 2000, 99 Seiten, ISSN 1436-3445.
- HEIKO MUNDLE, 2000: Kartografische Online-3D-Plattformen. Methana 3D – eine kartografische Online-3D-Plattform mit Datenbankbindung der griechischen Halbinsel Mathana. Karlsruher Geowissenschaftliche Schriften, Reihe A, Band 13, 16,5 cm × 23,5 cm, 240 S., 16 Farbtafeln, 37 s/w Abb. ISBN 3-89063-015-4. Bestellung: e-mail: ulrike.werner@fh-karlsruhe.de
- WALTER WELSCH, OTTO HEUNECKE & HANS WERNER, 2000: Handbuch Ingenieurgeodäsie; Auswertung geodätischer Überwachungsmessungen. 1. Aufl., 507 S. ISBN 3-87907-295-7. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. www.huethig.de oder www.geopoint.de
- HARTMUT BRÖSAMLE, 2000: „Materialien Umweltwissenschaften Vechta“: Solarthermische Kraftwerke – Standortlokalisierung und Potentialabschätzung mit dem Planungsinstrument STEPS. 1. Aufl., 151 S. ISSN 1434-5900. Hochschule Vechta, Inst. f. Umweltwissenschaften (IUW), Oldenburger Straße 97, D-49377 Vechta
- BERTOLD WITTE & HUBERT SCHMIDT, 2000: Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen. Vermessungswesen bei Konrad Wittwer Bd. 17. 4. Neubearb. Aufl. ISBN 3-87919-272-3.
- WOLFGANG LIEBIG & JÖRG SCHALLER (Hrsg.), 2000: ArcView GIS. GIS-Arbeitsbuch. 2., völlig neu bearb. und erw. Aufl. 445 S. mit CD-ROM. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg (www.huethig.de oder www.geopoint.de). ISBN 3-87907-346-5
- FRANZ-JOSEF BEHR, 2000: Strategisches GIS-Management. Grundlagen, System-einführung und Betrieb. 2. überarb. Auflage, X, 395 S. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg (www.huethig.de oder www.geopoint.de) ISBN 3-87907-350-3
- MICHAEL FALLY & JOSEF STROBL, 2000: Business Geographics. GIS in der Wirtschaft. VIII, 174 S. Kartoniert DM 78,-. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg (www.huethig.de oder www.geopoint.de). ISBN 3-87907-352-X
- TONI SCHENK, 2000: Digital Photogrammetry, Vol. 1. Lehrbuch. The Ohio State University. Paperback.
Bestellungen an: Prof. J. ALBERTZ, TU Berlin, EB 9, Str. d. 17. Juni 135, D-10623 Berlin, Fax: 030-314-21104.
- ROGER READ & RON GRAHAM: Manual of Aerial Survey: Primary Data Acquisition 234 mm × 156 mm, c.352 pages liberally illustrated with a colour section ISBN 1-870325-62-1. Spring 2001. Dr. Keith H. Whittles, Whittles Publishing Lathronwheel, Caithness, Scotland. KW5 6DW, UK Tel: + 44(0)1593 741240, Fax: + 44(0)1593 741360
www.users.globalnet.co.uk/~whittl
This new edition
- is thoroughly revised
 - covers all the new technologies
 - is expanded to be more comprehensive than ever
- Primary data acquisition is the front end of mapping, GIS and remote sensing and involves: aviation, navigation, photography, cameras (film and digital systems), GPS systems, surveying (ground control), photogrammetry, computerized systems and above all – keeping abreast of modern techniques.
- The book deals with differential GPS systems, survey flight management systems (both simple and sophisticated), film types, modern film survey cameras such as LH RC-30, Z/I RMK-TOP, digital cameras, infrared methods, laser profilers, airborne laser mapping, satellite systems, laboratory processing (chemical and digital), camera plat-

forms (fixed wing and helicopter). A fresh approach to the subject includes: soft-copy photogrammetry using desk-top computerized systems, film scanners and direct digital camera inputs. Comparisons are made between old, film-based technologies and the new digital camera systems, including the Z/I modular digital mapping camera and the LH 'push-broom' ADS 40 camera.

Readership: As with its predecessor, the *Manual of Aerial Survey* will be an invaluable aid to survey operators, aerial photographers, photogrammetrists, surveyors, cartographers and mapping scientists, GIS specialists and the new generation of desk-top mapmakers. It will continue to be the standard reference for survey practitioners, civil engineers and planners, flight crews, and academics and students in surveying, photogrammetry, remote sensing, GIS and earth sciences. *Contents:* Historical back-

ground. Definitions and requirements. Air camera instrumentation. Photographic material for aerial photography. Exposure for aerial photography. Air film processing. Photogrammetric requirements. Image quality. Aircraft and installations. Navigation sights. Mission planning. Operational procedures: first phase. Operational procedures: second phase. System-based survey navigation. Differential GPS. Oblique aerial photography. Airborne Laser Terrain Mapping (ALTM). Current and future developments. Glossary. Appendices: Institutes and societies. Companies and suppliers. Abbreviations. Specifications for air survey. Basic formulae and relationships for mission planning. Conversion factors. General survey aircraft specifications and performance. Computer programs. Oblique scales. Constructing and using a self-made calibrated sensitometer.

Stellenausschreibung

Am **Institut für Kartographie der Technischen Universität Dresden** ist im BMBF-Verbundprojekt Mars-Express (DLR/NASA) eine Stelle als

Wissenschaftliche/r Mitarbeiter/in (BAT-O IIa/2)

befristet von **07/2001 bis 12/2003** zu besetzen.

Das Projekt „Mars Express“ hat die Vorbereitung und Datenauswertung der für das Jahr 2003 geplanten Mars-Mission zum Inhalt. Von deutscher und österreichischer Seite arbeiten verschiedene Wissenschaftlerteams an der detaillierten topographischen und thematischen Kartierung der gesamten Mars-Oberfläche.

Tätigkeitsbereich: Photogrammetrie, 3D-Modellierung, objektorientierte Programmierung.

Aufgaben: Diese umfassen die Erarbeitung und Implementierung von Methoden und Verfahren zur operationellen Generierung und Optimierung von Oberflächen (3D-Triangulation, Oberflächenrekonstruktion und Konvertierung in NURBS) aus Fernerkundungsdaten. Weiterhin sollen Schnittstellen zu professionellen 3D-Modellierungs- und Visualisierungssystemen implementiert werden.

Voraussetzungen: Abgeschlossenes Hochschulstudium vorrangig in den Richtungen Geodäsie, Kartographie oder Informatik mit vertieften Kenntnissen im oben erwähnten Tätigkeitsbereich. Die Bereitschaft zur Promotion ist erwünscht.

Frauen sind ausdrücklich zur Bewerbung aufgefordert. Bewerbungen Schwerbehinderter werden bei gleicher Eignung bevorzugt berücksichtigt.

Die Bewerbungsunterlagen richten Sie bitte bis **01.05.2001** an:

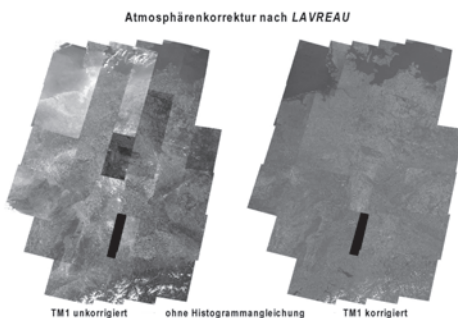
Technische Universität Dresden, Institut für Kartographie,
Herrn Prof. Dr. MANFRED BUCHROITHNER, D-01062 Dresden

Zum Titelbild

Topographische DEUTSCHLAND

Satellitenbildkarte

Das Titelbild zeigt Satellitenbildkarten in der Variante einer „Topographischen“ (große Abbildung, Ausschnittsvergrößerung Mitte rechts), „Panorama“ (rechts unten) und einer „Anaglyphen“ (rechts oben) Satellitenbildkarte. Sie basieren auf einem Mosaik von 31 geokodierten Landsat/TM-Szenen aus den Jahren 1984 bis 1989, die freundlicher Weise vom DLR/DFD zur Verfügung gestellt wurden. Das Bildmaterial war einer Vielzahl von Bearbeitungsschritten unterworfen, die nachstehend skizziert werden.



Zur Darstellung in Echtfarben wurden die spektralen Kanäle TM1, TM2 und TM3 in der Farbzueweisung BGR verwendet, die vorher nach dem Korrekturverfahren von LAVREAU (PE & RS 1991, pp. 1297–1302) von Dunst und Schleierwolken „gereinigt“ wurden. Diesen zentralen Arbeitsschritt – der auch die Neuberechnung verschiedener im o. a. Artikel beschriebener Parameter beinhaltete – an dieser Stelle zu vertiefen, würde den Rahmen einer Titelbildbeschreibung sprengen, so dass hier lediglich auf das unten abgebildete Ergebnis verwiesen wird.

Anschließend wurden die Szenen unter Angleichung ihrer Histogramme zu einem fast nahtlosen Mosaik zusammengefügt, das dann in vielen kleinen Bildverbesserungsschritten zum fertigen Mosaik reifte. Dabei wurden alle Städte, größere Seen und Flüsse farblich hervorgehoben, um auch dem weniger geübten Betrachter das „Lesen“ der Karte zu erleichtern. Als Bildhintergrund dient ein farbkodiertes DHM, das mit Ausnahme des Bodensees an den Grenzen Deutschlands maskiert wurde. Mit Hilfe des DHM wurde auch die gewohnte Nord-West-Beleuchtung simuliert und als Schummerung in das gesamte Bild eingearbeitet. Die zusätzliche Beschriftung mit Orten, Regionen, Bergen (mit Höhenangabe) und Gewässern sowie das eingezeichnete Straßennetz komplettieren die Satellitenbildinformation und erleichtern in dieser Kombination die Orientierung. Landschaften können schon auf der Karte erlebt werden. Durch die gute Lesbarkeit ist diese technisch anspruchsvolle Karte nicht nur für Fachleute sondern auch für ein breites Publikum interessant.

Die Panorama Satellitenbildkarte wurde weiteren Bildmanipulationen unterworfen. Zunächst wurde das Bild leicht gegen den nördlichen Horizont geneigt und vertikal überzeichnet. Dieses Zwischenprodukt wurde dann am nördlichen Bildrand „gestaucht“ sowie Himmel, Dunst- und Beleuchtungseffekte eingefügt. Das fertige

Produkt (Format: 100 cm × 140 cm) ist ab Frühjahr 2001 im Buchhandel erhältlich oder kann direkt unter info@orbitverlag.de bestellt werden.

Die dreidimensionale Realität des Anaglyphenbildes erschließt sich dem Betrachter erst mit entsprechender Brille (z.B. rot-grün). Unter Verwendung der Software 3D-

StudioMax wurde mit zwei unterschiedlich gewählten „Kameraeinstellungen“ ein weiterer 3D-Effekt erzielt, nachdem bereits eine perspektivische Ansicht berechnet worden war.

GERHARD SCHMITT, Peking Universität

DEUTSCHE GESELLSCHAFT
FÜR PHOTOGRAMMETRIE
UND FERNERKUNDUNG E.V.



Als Service für Ihre Mitglieder bietet die DGPF das neue Lehrbuch
»*Digital Photogrammetry*« (Volume I)

von Professor TONI SCHENK, The Ohio State University,
zum Sonderpreis an:

Paperback-Ausgabe 95.– DM (für Nicht-Mitglieder 120.– DM)
Hardcover-Ausgabe 130.– DM (für Nicht-Mitglieder 165.– DM)

Angebot freibleibend

Publikationen
der Deutschen Gesellschaft für
Photogrammetrie und Fernerkundung



Band 9

2001



INTERGEO

Vorträge
20. Wissenschaftlich-Technische
Jahrestagung der DGPF

11.–13. Oktober 2000,
Kongress-Zentrum ICC, Berlin

Rauminformationen
für das 21. Jahrhundert

ISSN 0942-2870

Jörg Albertz, Hrsg.

Erscheint Anfang 2001 mit den während der INTERGEO 2000 zum Themenkreis Photogrammetrie und Fernerkundung gehaltenen Vorträgen sowie den in den Arbeitskreisen der DGPF gehaltenen Referaten. Umfang voraussichtlich etwa 500 S., Verkaufspreis 45.– DM (für Mitglieder der DGPF 20.– DM) zzgl. Versandkosten.