

PRG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

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

Jahrgang 2002, Heft 3

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 2002



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:

© 2002 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, Landesvermessung und Geoinformation Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 103, D-14473 Potsdam, e-mail: eckhardt.seyfert@lvermap.brandenburg.de

Erscheinungsweise: 7 Hefte pro Jahrgang.

Bezugspreis im Abonnement: € 86,- 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

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 2002, Heft 3

Inhaltsverzeichnis

Originalbeiträge

BAASKE, R. & TZSCHUPKE, W.: Vegetationskartierung in der südbrasilianischen Serra Geral mit Hilfe von IR-Farbluftbildern	161
ATZBERGER, C. & SCHLERF, M.: Automatisierte Bestimmung der Bestockungsdichte in Nadelwäldern aus räumlich hochauflösenden Ortholuftbildern	171
KALKE, R., KENNEWEG, H. & SEYFERT, E.: Zur Erfassung langjähriger Landschaftsveränderungen aus historischen und aktuellen Luftbildern und Karten ..	181
ALTMAIER, A. & KANY, C.: CORONA-Satellitenbilder als Grundlage zur Erstellung Digitaler Höhenmodelle (DHM)	193
LENK, U. & HEIPKE, C.: Ein 2.5D-GIS-Datenmodell durch Integration von DGM und DSM mittels Triangulationen – theoretischer und praktischer Vergleich von Algorithmen und ihrer Ergebnisse	205

Berichte und Mitteilungen

Bericht: Workshop FH Oldenburg 31.1.–1.2.2002	217
Persönliches	
Dr.-Ing. OTTO HOFMANN zum 80. Geburtstag	219
Oberingenieur RUDOLF MEYER †	220
Hochschulnachrichten	
Technische Universität Berlin – LICHUN SUI	221
Technische Universität Cottbus – U. WEFERLING	222
Universität Stuttgart – A. REIGBER	223
Mitteilungen der DGPF	
PFG mit 7 Heften/Jahr	224
Selbstdarstellungen 2002	224
AK Int. Standardisierung u. Normung	225
Druckschriftenversand der DGPF	225
Vorankündigungen	225
Buchbesprechung	
R. Buzin & T. Wintges	229
Zum Titelbild	230
Neuerscheinungen	232

Vegetationskartierung in der südbrasilianischen Serra Geral mit Hilfe von IR-Farbluftbildern

RALF BAASKE & WOLFGANG TZSCHUPKE, Rottenburg am Neckar

Zusammenfassung: Die für die Bergwälder der südbrasilianischen Bundesstaaten Rio Grande do Sul, Santa Catarina und Paraná charakteristische Brasilkiefer (*Araucaria angustifolia*, Bert. O. Ktze.), die durch jahrzehntelange Übernutzungen nahezu ausgerottet wurde, ist das zentrale Untersuchungsobjekt des sog. Araukarienwaldprojektes, eines interdisziplinären brasilianisch-deutschen Forschungsvorhabens. Über die Art und Verteilung der Vegetation des Untersuchungsgebietes – eine nahezu unerschlossene rund 5000 ha große ehemalige Fazenda, die heute größtenteils mit Sekundärwäldern bestockt ist – war zu Beginn der intensiven Forschungsarbeiten so gut wie nichts bekannt. Das Projektgebiet wurde daher mit Infrarotfarbluftfilm befliegen. Nach Georeferenzierung und Entzerrung konnte dann mit Hilfe der aufgenommenen Luftbilder eine sehr detaillierte Vegetationsinventur und -kartierung durchgeführt werden, welche nach Integration in ein spezielles Projekt-GIS eine wichtige Grundlage für zahlreiche weitere waldökologische Untersuchungen darstellt.

Summary: *Vegetation-mapping in the South-brazilian Serra Geral with infrared-aerial photographs.* The Parana Pine (*Araucaria angustifolia*, Bert. O. Ktze.), a peculiar coniferous tree (s. Abb. 1) was once one of the characteristic species of the natural mountain forests of the south-brazilian states of Rio Grande do Sul, Santa Catarina and Paraná. However, intensive exploitation during decades reduced the occurrence of that specie to approx. two percent of its former area. This is why the knowledge about the ecology of Brazilian Araucaria-forests and the search for a nature oriented way for their regeneration as well as their sustained use are the main objectives of an interdisciplinary Brazilian-German research-project, that started some years ago. For the in-situ-investigations a former 5000 hectare Fazenda, which now is mostly covered by so called secondary growth, could be acquired. As at the beginning of the project nearly nothing was known about the occurrence and structure of the vegetation-cover an aerial overflight with an infrared-color-aerial-film in a 1 : 10000 scale was ordered and performed. With the help of the georeferenced and ortho-rectified aerial-fotos a vegetation inventory could be carried out. The main result of that inventory is an actual and very detailed vegetation-type-map (s. fig. 5), which is integrated in a special project-GIS and which thus is a reliable base for further ecological investigations.

1 Einleitung – das Araukarienwaldprojekt

Seit mehreren Jahren arbeiten zahlreiche Bio-, Geo- und Forstwissenschaftler der brasilianischen Bundesuniversitäten Santa Maria und Curitiba, der brasilianischen päpstlichen Universität Porto Alegre sowie der Universität Tübingen und der Fachhochschule Rottenburg a. N. in einem groß angelegten interdisziplinären Araukarien-

waldprojekt im südbrasilianischen Bergland, der Serra Geral im Bundesstaat Rio Grande do Sul zusammen. Im Mittelpunkt dieses vom BMBF finanzierten Projektes steht dabei – quasi als Leitbaumart – die im südbrasilianischen Bergland beheimatete Baumart *Araucaria angustifolia* (Bert. O. Ktze.). Diese im Alter eigentümlich aussehende Baumart (s. Abb. 1), die in Europa auch unter den Namen Brasilkiefer oder Parana Pine bekannt wurde, gehört zu einer

der ältesten Koniferenfamilien, die bereits im Mesozoikum vorkam. Araukarien gelten daher als lebende Fossilien.

Bis vor wenigen Jahrzehnten bildete die brasilianische Araukarie in den Bundesstaaten Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná und einigen angrenzenden Gebieten große geschlossene Waldgebiete. Als fatal erwies sich jedoch, dass das Holz der Brasilkiefer sehr hochwertig ist und da man die Araukarienvorräte lange Zeit für unerschöpflich hielt, erfolgte über Jahrzehnte ein rücksichtsloser Raubbau mit der Folge, dass heute nur noch etwa zwei Prozent der ursprünglichen natürlichen Araukarienwälder vorhanden sind (SEITZ 1986). Diese Restbestände sind inzwischen unter Schutz gestellt worden.

Vor diesem Hintergrund verfolgt das Projekt im Wesentlichen zwei Ziele: Einerseits geht es darum, die Kenntnis über die im natürlichen Verbreitungsgebiet der Brasilkiefer vorkommenden Ökosysteme, insbesondere des Araukarienwaldes zu verbessern und andererseits soll modellhaft ein Konzept für eine naturnahe Wiederbegründung und nachhaltige Bewirtschaftung von Araukarienwäldern entwickelt werden.

Als großes „Freilandlabor“ steht für dieses Projekt eine rund 5000 ha große ehemalige Fazenda zur Verfügung, deren Erwerb u. a. von der in Brasilien stark engagierten Fa. Stihl finanziert wurde. Neben einigen ehemaligen Weideflächen kommen in diesem Gebiet großflächig natürliche Sekundärwälder vor, also Sukzessionsstadien, die sich nach der Zerstörung der ursprünglichen Primärwälder entwickeln konnten. Zu Beginn der Arbeiten war aber nicht bekannt, wo und in welchen Anteilen die verschiedenen Vegetationsformen vorkamen. Zwar wurden schon zuvor einige pflanzen-soziologische Untersuchungen durchgeführt (z. B. BAASKE 1999 u. NOACK 1999), doch hatten diese alle nur punktuellen Charakter und ihre Ergebnisse eigneten sich daher nicht oder nur bedingt zur Ableitung allgemeinerer pflanzensoziologischer Aussagen mit einem größeren geografischen Bezug. Darüber hinaus wurde eine Klassifizierungssystematik der lokalen bzw. regiona-

len Vegetation dringend benötigt, damit alle im Projektgebiet erarbeiteten Untersuchungsergebnisse auf einen eindeutig definierten Vegetationstyp bezogen werden können und um so ihre Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Weiter bestand großer Informationsbedarf über die räumliche Verteilung der Vegetationstypen, speziell von Wald, Gebüsch-Sukzessionsstadien und Campos (Wiesenland), sowie über deren Flächenanteile.

Ein zentrales Ziel der von der FH Rottenburg durchgeführten Arbeiten war deshalb die Durchführung einer flächendeckenden, möglichst detaillierten Inventur der vorkommenden Vegetationsformen bzw. Pflanzengesellschaften. Die Inventurergebnisse sollten primär in Form von thematischen Karten sowie von Flächenbilanzen und räumlichen Analysen aufgearbeitet werden und zusätzlich mit einem Browser-basierten „Geobotanischen Informationssystem“ erfasst und dokumentiert werden.



Abb. 1: Ältere Araukarie im Bundesstaat Rio Grande do Sul.

2 Methodik

Die durchgeführte Vegetationsinventur stützte sich einerseits auf eine Reihe terrestrischer Erhebungen, andererseits vor allem auf eine Luftbildbefliegung, deren Durchführung und Auswertung sowie deren Ergebnisse den Inhalt des folgenden Beitrages bilden.

2.1 Vorbereitung und Durchführung der Luftbildbefliegung*

Angesichts der schlechten Zugänglichkeit des Projektgeländes war von Anfang an klar, dass die vorgesehene Inventur nur mit Hilfe von Luftbildern und zusätzlichen terrestrischen Stichproben realisiert werden kann. Das Projektgelände wurde deshalb im Januar 1999 mit einer Reihemesskammer mit Weitwinkelobjektiv und einem Farbinfrarotfilm (Kodak 2443) im Maßstab 1:10000 befliegen. Die das Projektgebiet abdeckenden 74 Luftbilder wurden zum Zwecke der Vegetationskartierung stereoskopisch ausgewertet, interpretiert und räumlichen Analysen unterzogen.

Da die Bilder georeferenziert und entzerrt werden sollten, wurde zunächst ein Netz von über 70 Pass- und Orientierungspunkten ausgelegt und mit Hilfe eines ausreichend genauen GPS-Systems (Trimble Pathfinder Pro XR als transportable Messeinheit und Trimble LS 4600 als Basisstation) eingemessen.

Die Befliegung selbst erfolgte bei hohem Sonnenstand, dennoch weisen einige extrem steile Hänge Schlagschatten auf. Ein besonderes Problem ergab sich dadurch, dass die brasilianische Rechtslage einen Verbleib der Originalfilme bei der jeweiligen Befliegungsfirma vorschreibt. Der vorgesehene Farbinfrarotfilm wurde deshalb auf Anraten der brasilianischen Partner als Negativfilm ge-

ordert, von dem dann die entsprechenden „Positive“ als Dia und als Papierbild ausgeliefert werden konnten. Dabei erwies sich die Farbwiedergabe als besonderes Problem, das dadurch gelöst wurde, dass die Farbmischung so lange variiert wurde, bis eine farbliche Darstellung erreicht wurde, die in etwa den gewohnten „Falschfarben“ des Original-Diafilmes entsprachen (s. Abb. 2).

Die Digitalisierung, Georeferenzierung und die Berechnung eines digitalen Höhenmodells sowie die Entzerrung der Luftbilder konnten bei einer brasilianischen militärgeografischen Einheit in Auftrag gegeben werden, so dass für die eigentlichen Interpretationsaufgaben neben den Kontaktabzügen auch Orthophotos sowie aus diesen abgeleitete topographische Karten zur Verfügung standen.

2.2 Erarbeitung eines Interpretationsschlüssels

Für die durchzuführende Vegetationskartierung musste zunächst ein entsprechender Interpretationsschlüssel erarbeitet werden. Hierzu wurden in einer Vorerkundungsphase erste Beziehungen zwischen den Bildgestalten im Stereomodell und den realen Objekten in der Natur – in der Regel Pflanzenbeständen – hergestellt, die dann unter Einbeziehung von weiteren, bereits vorhandenen Informationen in einer vorläufigen Klassifizierungssystematik zusammengefasst wurden. In einem iterativen Prozess mit zahlreichen Gelände/Bild- und Bild/Gelände-Vergleichen (vgl. HILDEBRANDT 1996, S.306 und HUSS 1984, S.197ff.) konnte dann der endgültige Interpretationsschlüssel erarbeitet werden.

Die einzelnen Vegetationsklassen wurden in ein hierarchisches System eingegliedert, das sich aus den Ebenen Formation, Subformation, Übereinheit, Einheit und Variante zusammensetzt. Allerdings war es im Stereomodell nicht immer möglich, die Vegetation bis auf die Ebene der (Vegetations-) Einheit bzw. Variante anzusprechen. In Zweifelsfällen wurde daher zu Gunsten der Zuverlässigkeit der Kartierung auf eine

* Bei der Vorbereitung der Luftbildbefliegung sowie der anschließenden Bildentzerrung hat uns Eng. MARIO TEIXEIRA von der katholischen Universität Porto Alegre viele bürokratische Steine aus dem Weg geräumt. Ihm sei daher hier besonders gedankt.



Abb. 2: Beispiel eines Farbinfrarotluftbildes des Projektgebietes (hier als SW-Druck).

(weitere) Differenzierung der Aussage verzichtet und die Vegetation der nächsthöheren hierarchischen Ebene zugeordnet. Insgesamt konnte aber für 28 (!) Objektklassen ein verbal formulierter und durch Bildbeispiele veranschaulichter Interpretationsschlüssel entwickelt werden (s. Abb. 3 a u. b und Übers.1).

Während der eigentlichen Interpretationsphase, bei der die jeweiligen Stereomodelle mit Hilfe eines Spiegelstereoskops ausgewertet wurden, wurde das Projektge-

biet mit Hilfe des Interpretationsschlüssels flächendeckend einer der definierten Vegetationsklassen zugeordnet. Gleichzeitig wurden die Grenzen der einzelnen Klassen auf Klarsichtfolien, die über den Luftbildern fixiert waren, deliniert.

Auch bei diesem Arbeitsschritt wurden die Richtigkeit der Interpretationsergebnisse und die Eignung bzw. die Brauchbarkeit des Interpretationsschlüssels durch laufende terrestrische Kontrollen überprüft.

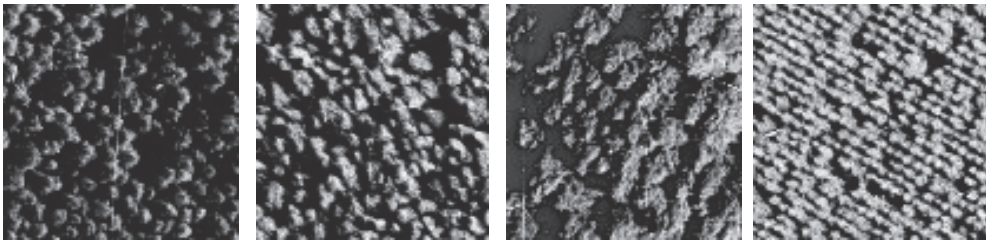


Abb. 3 a: Abbildungen von Kiefernplantagen.

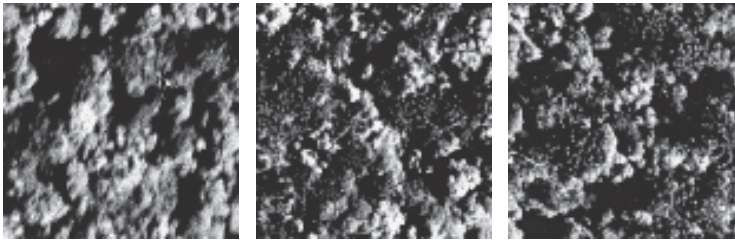


Abb. 3 b: Abbildungen von Araukarienbeständen.

2.3 Kartierung der Vegetations-einheiten

Die endgültige Kartierung der Vegetationsformen und der übrigen Objektklassen erfolgte zu einem späteren Zeitpunkt. Dabei wurden die auf den Luftbildern ermittelten Grenzlinien am Bildschirm in die jeweiligen Orthophotos übertragen. (Im Idealfall hätten die Orthophotos bereits für die Vegetationsklassifizierung vor Ort zur Verfügung gestanden; dies war jedoch aus verschiedenen Gründen nicht möglich, so dass dieser technisch nicht mehr zeitgemäße „Umweg“ gewählt werden musste.) Die Digitalisierung und weitere Bearbeitung erfolgte unter Verwendung der GIS-Software ArcView. Dies ermöglichte es, den einzelnen kartierten Objekten Attribute in Form von Zahlen oder Text zuzuweisen bzw. berechnen zu lassen (z. B. Flächeninhalt).

Im weiteren Verlauf der Arbeiten wurden die identifizierten und abgegrenzten Objektklassen diversen räumlichen Analysen unterzogen. Hierzu wurden u. a. mittels des erstellten digitalen Höhenmodells (s. o.) die Beziehungen zwischen dem Vorkommen der Vegetationseinheiten und Geländeparametern wie der Höhe ü. NN, der Hangneigung und der Exposition „berechnet“, um zu prüfen, ob und welche Zusammenhänge zwischen diesen Parametern bestehen.

Zur inhaltlichen Ergänzung und weiteren Absicherung und Ergänzung der Ergebnisse der Luftbildinterpretation wurden an 90 Stichprobepunkten terrestrische Vegetationsaufnahmen nach der Methode BRAUN-BLANQUET durchgeführt.

3 Ergebnisse

Wie bereits erwähnt wurde, konnten insgesamt 28 Objektklassen definiert und identifiziert werden. Der Fragestellung entsprechend, handelt es sich dabei vorwiegend um Vegetationsklassen sowie einige nicht durch Vegetationsformen bestimmte Klassen einschließlich der nicht interpretierbaren stark beschatteten Hanglagen. Dominierende Klassen sind dabei mit einem Flächenanteil von über 84 % die verschiedenen Waldgesellschaften (s. Übers. 2 und Abb. 4). Geringe Anteile – jeweils ca. 3 % – weisen demgegenüber Campo(stuppenartiges Grasland)- und Capoeira-Flächen (Sukzessionsgebüsch) auf.

Übersicht 1: Auszüge aus dem verbalen Teil des Interpretationsschlüssels für das Araukarienwaldprojekt.

1	Oberflächenstruktur rau, blumenkohl- oder wattebauschartig, selten fast texturlos; rötliche bis gräuliche und / oder lila-violette und / oder dunkelgrüne Farbtöne überwiegen (Abb. X–XXIII)	2
1*	Oberflächenstruktur überwiegend glatt bis fein geriffelt; türkis-blaue Farbtöne überwiegen; glatte Flächen auch dunkelblau bis schwarz (Abb. I–IX)	7
2	Grüne oder dunkel-violette Farbtöne herrschen vor; Flächen oft relativ homogen; Textur unterschiedlich, aber meist gleichmäßige Muster bildend (Abb. X–XIV)	3
2*	Rötliche Farbtöne herrschen vor; bei Beteiligung weiterer, insbesondere grau-violetter Farben, ist Textur unregelmäßig scheckig (Abb. XV–XXIII)	15
3	Abbildungseinheit hat eine unnatürliche Form mit klaren, häufig scharfen Grenzlinien und überragt oft die umgebenden Einheiten; Textur als mäßig grobes, z. T. gestreiftes hell-dunkel-Muster; Bäume als Einzelobjekte erkennbar (Abb. X = Abb. 3 a dieses Berichtes)	<i>Pinus-Bestand (P)</i>
3*	Abbildungseinheit mit „natürlicher“ oder „unnatürlicher“ Form, Grenzen zu anderen Einheiten aber meist weniger scharf, häufig fließend; Abbildungseinheit von geringer Höhe (max. 3 m) oder Einzelobjekte als Bäume mit breiter, flacher, oft durchscheinender Krone erkennbar (Abb. XI–XIV)	4
4	Abbildungseinheit von geringer Höhe (max. 3 m); Oberflächenstruktur unregelmäßig, häufig fein-wellig oder büschelig; Textur als relativ feines (schuppenförmiges) hell-dunkel-Muster; oft mit „eingesenkten“ blaugeprägten „Inseln“ (Abb. XII–XIV)	5
4*	Bäume mit breiter, flacher, oft durchscheinender Krone als Individuen erkennbar. Charakteristische, dunkelgrüne bis grau-lila Kronen scheinen aus vielen kleinen, kugeligen Büscheln zu bestehen, die sich wie ein Schleier über die übrige Vegetation legen (Abb. XI = Abb. 3 b dieses Berichtes)	<i>Araukarienwald, zentrale Variante (AW)</i>
	•	
	•	
	•	
17	Abbildungseinheit im Stereomodell stets in Tallage und von geometrischer, eckiger (unnatürlicher) Form; sehr homogene, feinkörnige Textur; Einheit wirkt schaumartig transparent; Farbe leuchtend rosé bis leuchtend violett	<i>Eucalyptus-Bestand</i>
18	Abbildungseinheit im Stereomodell stets in Verbindung mit ebenem oder wellenartig kuppigem Relief (Planalto-Hochfläche), dabei ausschließlich in Senken und auf Nordhängen; Textur zwar fein, aber relativ unruhig, häufig kontrastreich (dunklere Flecken); oft fein-büschelige oder kleinfleckige Textur (Abb. XV)	<i>Dasiphyllum spinescens- Sekundärwald (DW)</i>
	•	
	•	
	•	

Der Wald selbst besteht vor allem aus explodiertem Primärwald und nur zu einem geringeren Prozentsatz aus Sekundärwald sowie aus einer kleinen Kiefernplantage (s. Übers. 2 u. Abb. 4). Die im Rahmen des Araukarienwaldprojektes besonders interessierende Araukarie kommt im Wesentlichen in der zentralen Gesellschaft der „Floresta Ombrófila Mista“ vor. Arauka-

rien sind somit auf rund einem Drittel der Projektfläche zu finden; ihre Anteile variieren jedoch in weitem Rahmen und nur in wenigen Beständen (ca. 6 %) beherrschen sie noch das Waldbild.

Die in Abb. 5 dargestellte Vegetationskarte kann als das wichtigste Ergebnis der vorliegenden Arbeit angesehen werden. Bei näherer Betrachtung fällt auf, dass der

Übersicht 2: Flächenbilanz der Vegetationseinheiten des Araukarienwaldprojektgebietes.

Nr.	Vegetations-Einheit	Größe [ha]	Flächenanteil [%]
1	Campo limpo	26,84	0,55
2	Campo sujo	100,77	2,06
3	Campo sujo baccharisreich	18,34	0,38
4	Campo rupestre	1,42	0,03
Campo (gesamt)		147,38	3,02
5	Capoeira, obere Höhenstufe	107,07	2,19
6	Capoeira, untere Höhenstufe	8,81	0,18
7	Capoeira, nicht weiter differenzierbar	22,15	0,45
Capoeira (gesamt)		138,03	2,82
8	Dasiphyllum-Wald	27,32	0,56
9	Dasiphyllum-Tibouchina-Wald	93,18	1,91
10	Dasiphyllum-Tibouchina-Wald + Pinus spec.	2,95	0,06
11	Tibouchina-Wald, obere Höhenstufe, Schatthang-Variante	65,80	1,35
12	Tibouchina-Wald, obere Höhenstufe, Sonnhang-Variante	94,01	1,92
13	Tibouchina-Wald, obere Höhenstufe, nicht weiter differenzierbar	160,92	3,29
14	Tibouchina-Wald, untere Höhenstufe, Schatthang-Variante	47,31	0,97
15	Tibouchina-Wald, untere Höhenstufe, Sonnhang-Variante	19,25	0,39
16	Tibouchina-Wald, untere Höhenstufe, nicht weiter differenzierbar	77,74	1,59
17	Tibouchina-Wald, nicht weiter differenzierbar	383,97	7,85
Sekundärwald		972,45	19,89
18	Floresta Ombrófila Densa	1355,64	27,72
19	Floresta Ombrófila Mista, zentrale Gesellschaft	1693,43	34,63
20	Floresta Ombrófila Mista, Roupala-Gesellschaft	84,38	1,73
Exploittierter Primärwald		3133,46	64,08
21	Pinus-Wald	25,49	0,52
Wald, insgesamt		4131,40	84,49
22	Moor	68,48	1,40
23	Gewässer	4,35	0,09
24	Fels/Erdrutsch	9,10	0,19
25	Feldbau	0,39	0,01
26	Weide	3,50	0,07
27	menschliche Einrichtungen	4,35	0,09
28	nicht interpretierbar (Schatten)	387,44	7,92
Gesamtfläche		4894,41	100,00

Araukarienwald (AW) seinen Verbreitungsschwerpunkt auf dem Hochplateau hat. Dort bildet er einen Gesellschaftskomplex mit den *Sphagnum*-Mooren (M), dem *Dasiphyllum*-Wald (D) und der Capoeira der oberen Höhenstufe (So). Auf den Serra Geral-Hängen ist dagegen ein Gesellschaftskomplex aus Atlantischem Küstenregenwald (RW) (= Floresta Ombrófila Densa), *Tibouchina*-Wald (TW) und Capoeira der unteren Höhenstufe (Su) anzutreffen. Ein weiterer Gesellschaftskomplex, bestehend aus Campo limpo (Cl), Campo sujo (Cs),

der baccharisreichen Ausbildung des Campo sujo (Cs–bc), Campo rupestre (Cr), Sphagnum-Mooren (M) und der *Roupala*-Gesellschaft, welche eine besondere Ausprägung des Araukarienwaldes (AWR) darstellt, findet sich im äußersten Nordwesten des Projektgebiets. Der letztgenannte Komplex beschränkt sich in seiner Verbreitung genauso wie der Araukarienwald-Komplex auf das Hochplateau („Planalto“). Sämtliche Waldgesellschaften sind also eng an geomorphologische Einheiten gebunden.

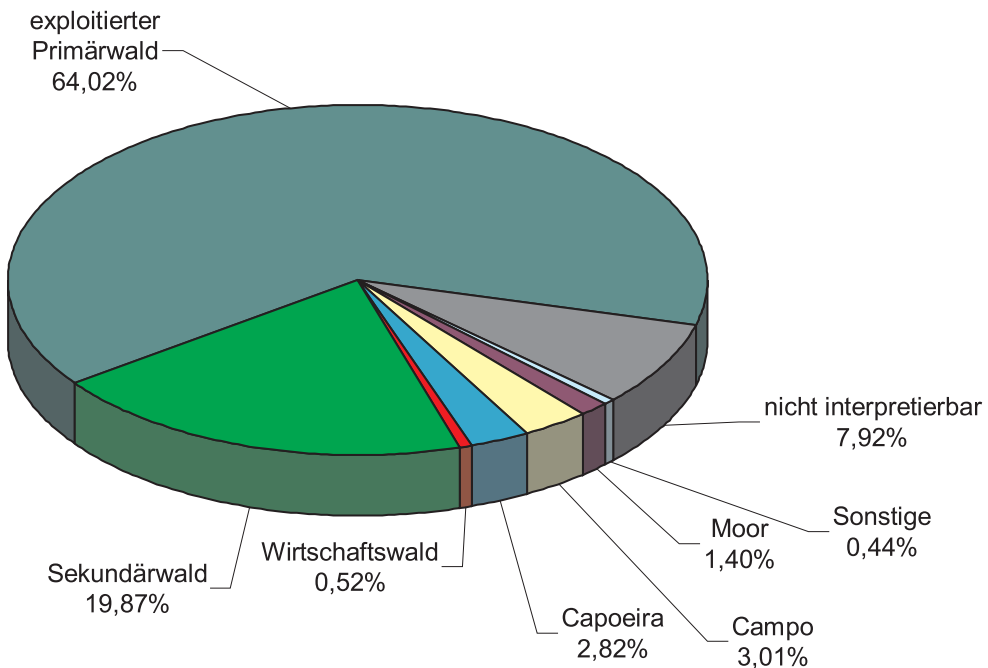


Abb. 4: Prozentuale Verteilung der Vegetations-Subformationen im Projektgebiet.

Zwischen der Geländeexposition und dem Vorkommen bestimmter Vegetations-einheiten konnten ebenfalls enge Zusammenhänge festgestellt werden. So war es z. B. möglich, beim *Tibouchina*-Wald eine Schatt-hang- und eine Sonnhangvariante zu unterscheiden.

4 Schlussfolgerungen und offene Fragen

Die vorgestellte Arbeit liefert eine erste detaillierte, auf der Grundlage einer aktuellen Befliegung beruhende Flächenbilanz für die im Projektgebiet vorkommenden Vegetationsformen. Zusammen mit der erstellten Vegetationskarte bildet sie eine wichtige und objektive Grundlage für weitere Forschungsarbeiten und -planungen. So können Versuchsflächen oder – sofern dies gewünscht wird – Flächen für eine spezielle waldbauliche Behandlung sehr gezielt nach bestimmten Kriterien ausgewählt werden. Dabei können, da sämtliche Daten digital und in ein GIS integriert vorliegen, unter-

schiedlichste raumbezogene Kriterien wie Vegetationstyp, Geländeneigung und Erschließung bei Entscheidungsprozessen berücksichtigt und gewichtet werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, den Vegetationstypen bzw. deren Geometrien beliebige Attribute zuzuordnen, was die Leistungsfähigkeit und Anwendungsmöglichkeiten dieses Informationssystems noch erhöht.

Nach den bisherigen Erfahrungen hat sich die aufgestellte Klassifizierungssystematik grundsätzlich bewährt. Mit Hilfe ihrer Differenzialarten erlaubt sie eine sichere Ansprache der Vegetationstypen im Gelände sowie deren eindeutige und einheitliche Benennung. Damit können zukünftig wissenschaftliche Felduntersuchungen präzise einem bestimmten Vegetationstyp zugeordnet und entsprechend interpretiert werden.

Nachdem sich das klassische Farbinfrarotluftbild wiederum als brauchbares Hilfsmittel für die Lösung vegetationskundlicher Aufgaben erwiesen hat, wäre es von Interesse zu prüfen, welche Möglichkeiten zur Erkennung und Kartierung verschiedener

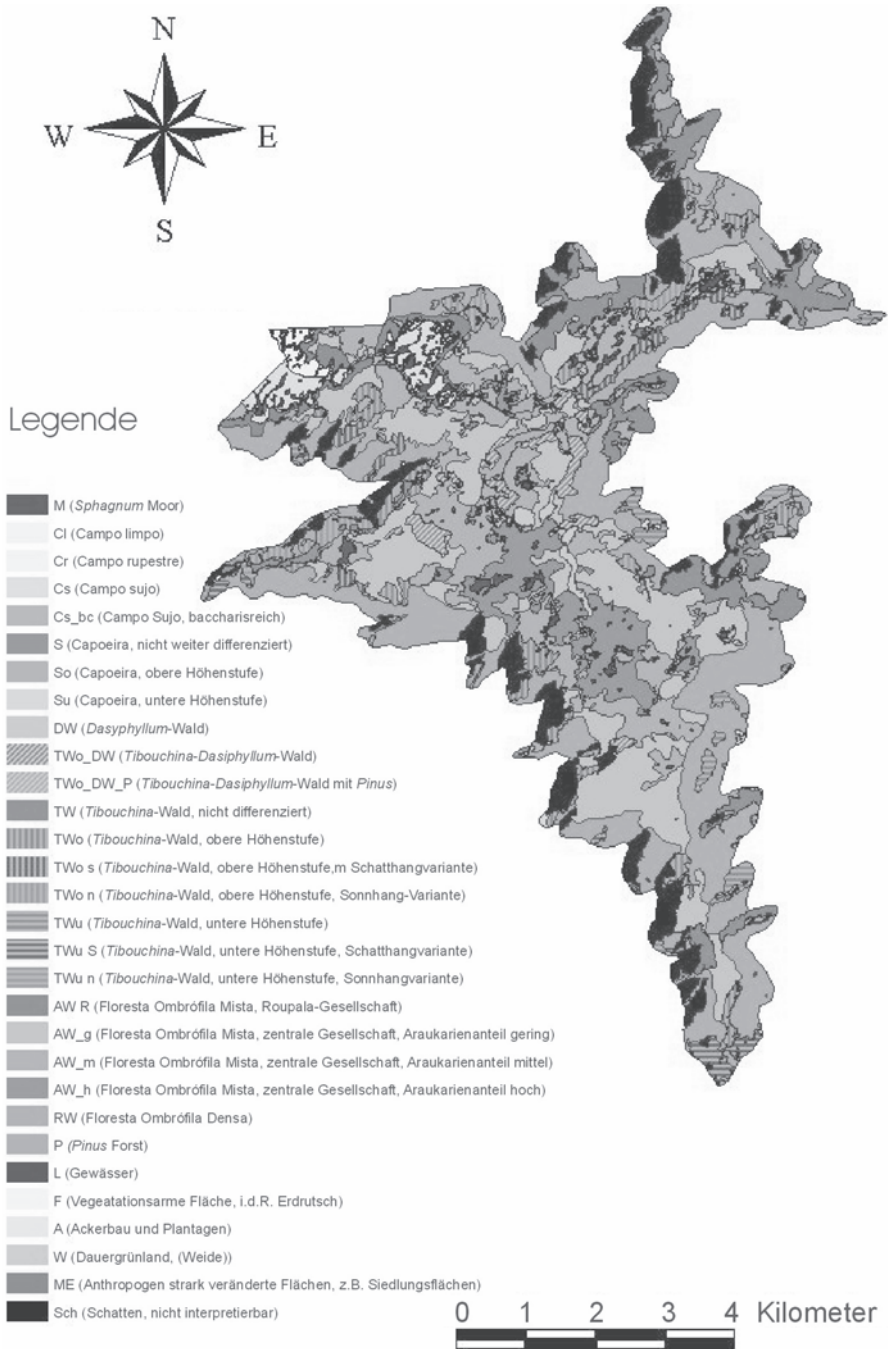


Abb. 5: Vegetationskarte des Pró-Mata-Projektgebietes.

Landnutzungs- bzw. Vegetationsklassen und insbesondere der noch vorhandenen Araukarienbestände neuere, hoch auflösende Sa-

telliten-Fernerkundungssysteme (LANDSAT 7, IKONOS u. a.) bieten. Im günstigsten Fall ließen sich dann sogar durch Ver-

gleich mit älteren Satellitendaten Zeitreihen über die Veränderung der Waldflächen und insbesondere der Araukarienbestände erstellen.

Literatur

- BAASKE, R., 1999: Artenzusammensetzung und Struktur eines stark exploitiereten Araukarienwaldbestandes an der östlichen Randstufe des südbrasilianischen Planaltos. – Unveröff. Projektarbeit.
- HILDEBRANDT, G., 1996: Fernerkundung und Luftbildmessung für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. – Karlsruhe.
- HUSS, J., 1984: Luftbildmessung und Fernerkundung in der Forstwirtschaft. – Karlsruhe.
- NOACK, W., 1999: Synökologische Untersuchung der Sekundärvegetation auf ehemaligem Weideland im Pró-Mata-Projektgebiet, Rio Grande do Sul, Brasilien. – Unveröff. Projektarbeit.
- SEITZ, R.A., 1986: Erste Hinweise für die waldbauliche Behandlung von Araukarienplantagenwäldern. – Ann. Sci. For., **43** (3): 327–338.

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Ing. (FH) RALF BAASKE
Prof. Dr. habil. WOLFGANG TZSCHUPKE,
Fachhochschule Rottenburg – Hochschule
für Forstwirtschaft, Schadenweilerhof,
72108 Rottenburg am Neckar
Tel.: 07472-951 250, Fax: 07472-951 200
e-mail: C.W.Tzschupke@t-online.de

Manuskript eingereicht: Oktober 2001

Angenommen: November 2001

Automatisierte Bestimmung der Bestockungsdichte in Nadelwäldern aus räumlich hochauflösenden Ortholuftbildern

CLEMENT ATZBERGER & MARTIN SCHLERF, Trier

Zusammenfassung: Die vorliegende Arbeit beschreibt die Entwicklung eines automatischen Tools zur flächendeckenden Bestimmung der Bestockungsdichte aus hochauflösenden Ortholuftbildern. In räumlich hochauflösenden digitalen Fernerkundungsdaten (10–100 cm) treten Baumkronen normalerweise als separierbare Objekte in Erscheinung. Dieser Umstand ermöglicht eine automatische Identifikation individueller Baumkronen. Das vorgestellte Verfahren basiert auf einer Binarisierung von SW-Orthophotos mit nachgeschalteten morphologischen Operationen und einer darauf aufbauenden Objekterkennung in einem 25 m × 25 m großen gleitenden Fenster. Die Methode erlaubt eine Bestimmung von Bestockungsdichten in Nadelwäldern mit einer Genauigkeit von etwa ± 65 Bäumen pro Hektar bei Bestockungsdichten zwischen 200 und 800 Bäumen pro Hektar. Information zur Bestockungsdichte können u. a. zur Bestandsabgrenzung verwendet werden, als *a priori* Information bei der Inversion physikalisch basierter Reflexionsmodelle sowie zur Initialisierung und Parametrisierung von Stoff- und Energieflussmodellen.

Summary: *Automatic stem density estimation in coniferous forests from high spatial resolution orthophotos.* In remotely sensed aerial images or digital orthophotos of high spatial resolution (10–100 cm) tree crowns are typically visible as almost distinct objects. One important structural forest parameter, stem density, can be derived through identification of individual tree crowns. A tool has been developed to automatically determine stem densities in coniferous forests from digital black-white orthophotos. The procedure is based on thresholding of orthophotos followed by morphological operations and object identification using a moving window. The method is capable of estimating stem density with an accuracy of approximately ± 65 trees per hectare for stem densities varying between 200 and 800 stems per hectare. On the basis of the retrieved stem densities, regrouping of stands can be organized to follow criteria other than those currently followed by forest inventories, particularly when considering the relationship between average stand density and stand age. Moreover, estimated stem densities are useful in the inversion of physically based forest reflectance models and for initialization and parameterization of biogeochemical process models.

1 Einleitung

In einer auf Nachhaltigkeit bedachten Forstwirtschaft sind u. a. flächengenaue Angaben über Bestockungsdichten erforderlich (SAUERBORN et al. 1998). Während diese Informationen den staatlichen Forstverwaltungen für Kommunal- und Staatsforsten zumindest teilweise vorliegen, besteht ein erhebliches Informationsdefizit bezüglich der Privatwälder. Angaben zur Bestockungsdichte sind darüber hinaus hilfreich bei der Inversion physikalisch basierter Forstre-

flexionsmodelle (CHEN & LEBLANC 1997, ATZBERGER 2000 a, b) sowie bei der Parametrisierung und Initialisierung biogeochemischer Stoff- und Energieflussmodelle (KOROL et al. 1996).

Die flächendeckende und zeitnahe Ableitung der Bestockungsdichte ist unter einem vertretbaren Arbeitsaufwand nur unter Zuhilfenahme von Fernerkundungssensoren möglich; in diesem Zusammenhang erscheinen Ortholuftbilder als besonders geeignet. Sie besitzen eine so hohe räumliche Auflösung, dass in den meisten Fällen eine Un-

terscheidung einzelner Baumkronen möglich ist. Orthophotos sind zudem frei von Verzerrungen auf Grund von Maßstabs- und Reliefunterschieden.

Die manuelle Auszählung der im Luftbild erfassten Baumkronen ist zwar im Prinzip möglich (AKCA et al. 1984), scheidet aber wegen des hohen Zeitaufwands bei größeren Beständen aus. Auch wurden bereits auf unterschiedlichen Ansätzen beruhende Methoden zur automatischen Erkennung und Abgrenzung von Baumkronen aus hochauflösenden digitalen Bilddaten entwickelt, z. B. von GOUGEON (1995), POLLOCK (1998) und LARSEN (1997). Eine Zusammenstellung verschiedener Ansätze befindet sich in HARALIK & SHAPIRO (1985) und PAL & PAL (1993). Die meisten dieser methodisch anspruchsvollen Verfahren sind in der Lage, Baumposition und Kronenausmaße verhältnismäßig genau zu bestimmen. Dies ist jedoch für die Ableitung der Bestockungsdichte nicht unbedingt notwendig; vielmehr ist es für die gedachten Anwendungen ausreichend, die Baumkronen zu separieren und die Gesamtzahl der in einem Bildausschnitt vorkommender Bäume zu ermitteln.

Bei automatischen Verfahren ist zu berücksichtigen, dass benachbarte Luftbilder innerhalb eines Befliegungsstreifens oftmals eine hohe Variabilität bezüglich ihrer Helligkeits- und Kontrasteigenschaften aufweisen. Unterschiede resultieren u. a. aus variablen Beleuchtungsintensitäten, Mitlicht-/Gegenlichteffekten und nachfolgenden Digitalisierungsschritten. In Orthophotomosaiken, die aus vielen Einzelbildern zusammengesetzt sind, ergeben sich daher auch für ähnliche Waldflächen große Unterschiede in der Grauwertverteilung. Dies erschwert in einem nicht unerheblichen Maße die gewünschte Festlegung eines Schwellwertes, mit dessen Hilfe Baumkronen und Untergrund automatisch voneinander getrennt werden könnten.

Der nahe liegende Ansatz, den jeweiligen Grenzwert direkt aus dem Histogramm abzuleiten gelingt gut bei bimodalen Grauwertverteilungen (s. a. Abb. 2A). Viele Bildausschnitte weisen jedoch indifferente Grauwertverteilungen auf, so dass diese Vorge-

hensweise nicht immer möglich ist (s. a. Abb. 2B). In der vorliegenden Arbeit wurde daher eine automatische Methode entwickelt, welche die einzelnen Baumkronen mittels eines dynamischen Schwellwertes separiert und schließlich die Bestockungsdichte errechnet.

2 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

Das Untersuchungsgebiet umfasst den im westlichen Hunsrück gelegenen Idarwald (49°40'N, 7°10'E) (Abb. 1). Der Höhenzug des Idarwaldes, morphologisch durch einen NE-SW streichenden Härtlingerrücken gekennzeichnet, ist aus unterdevonischem Taunusquarzit aufgebaut. Auf den nährstoffarmen, zum Teil stark versauerten Böden (Ranker, Podsole, podsolige Braunerden) bilden artenarme Buchenwälder (*Luzulo-Fagetum typicum*) die natürlichen Waldgesellschaften. Ende des 18. Jahrhunderts wurde die natürlicherweise nicht vorkommende Fichte (*Picea abies*) eingeführt, die seitdem eine ständige Ausdehnung erfahren hat und heute den größten Flächenanteil einnimmt (Arbeitskreis Standortkartierung 1985).

Panchromatische Ortholuftbilder wurden digital als georeferenzierte Rasterdaten vom Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz für die Fläche des Untersuchungsgebietes Idarwald zur Verfügung gestellt. Die Bilddaten sind aus analogen Orthophotos im Maßstab 1:5000 abgeleitet, haben eine Bodenauflösung von 0,25 m × 0,25 m und liegen als quadratische Kacheln mit einer Seitenlänge von 2 km vor.

Da sich die vorliegende Untersuchung lediglich auf Nadelwaldbestände bezieht, wurden Nicht-Nadelwaldgebiete ausmaskiert. Die Nadelwaldmaske ist zuvor mittels einer unüberwachten Landnutzungsklassifikation aus hyperspektralen Fernerkundungsdaten (HyMAP) abgeleitet worden (SCHLERF et al. 2002). Alle nachfolgenden Analyseschritte beziehen sich lediglich auf diesen maskierten Ausschnitt des gesamten Orthophotomosaiks.

Im Untersuchungsraum wurden insgesamt 40 Fichtenbestände als Referenz-

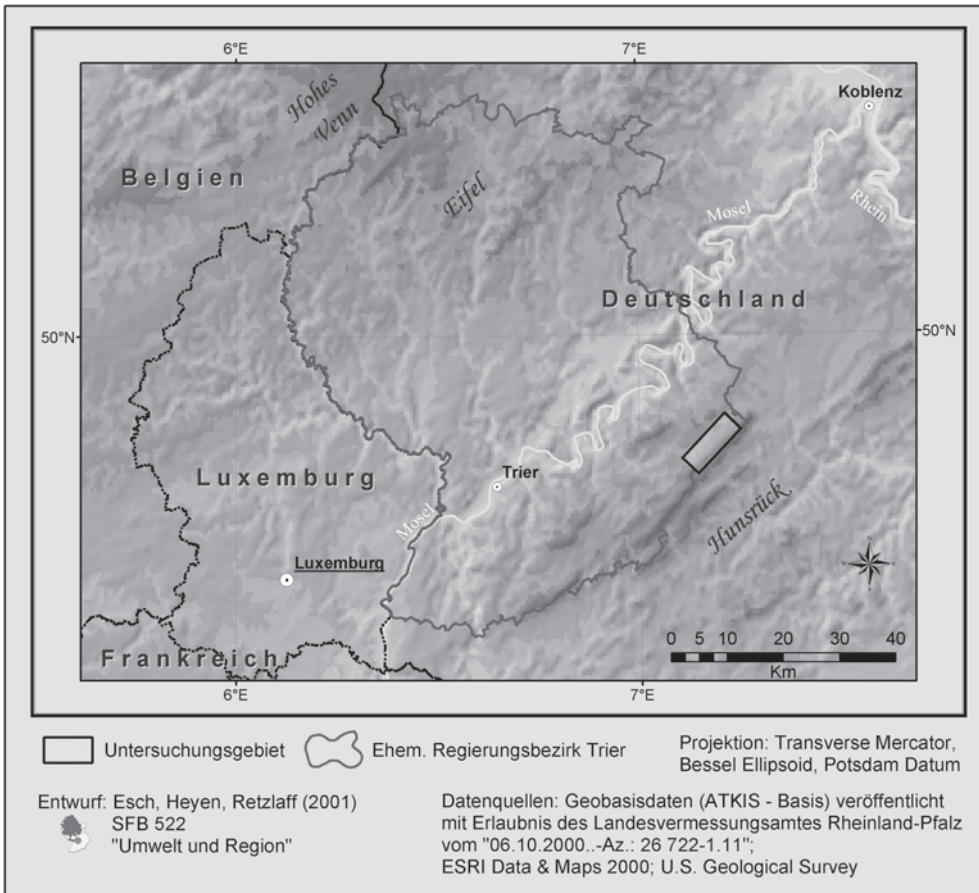


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes Idarwald.

flächen ausgewählt. An ihnen wurden Kalibrierung und Verifikation des Algorithmus vollzogen. Für jeden Bestand wurde ein repräsentatives Teilbild aus den Orthophotodaten extrahiert. Die Größe der verschiedenen Teilflächen schwankt zwischen 0,10 und 0,25 ha. Durch manuelle Auszählung konnten die Stammzahlen bestimmt und daraus die entsprechenden Bestockungsdichten berechnet werden; ihre Dichte schwankt zwischen rund 200 und 800 Bäumen pro ha. Zur Überprüfung dieser Zählergebnisse wurden zusätzlich Bestockungsdichten für repräsentative Teilflächen von 30 m × 30 m im Gelände erhoben (hier nicht weiter verwendet).

3 Methodenbeschreibung

3.1 Übersicht

Der in MATLAB (The Mathworks 2000) programmierte Algorithmus macht sich den Helligkeitsunterschied zwischen Baumkronen und Untergrund zu Nutze, um einzelne Bäume mittels Schwellwert (SW) zu identifizieren. Aus bereits oben genannten Gründen existiert jedoch kein allgemein gültiger Grenzwert; vielmehr gibt es für jeden Bildbereich einen optimalen Wert, mit dem eine bestmögliche Trennung von Baumkronen und Untergrund erzielt werden kann. Wird der Wert zu hoch gesetzt, werden relativ dunkle bzw. kleine Baumkronen nicht er-

kannt. Bei einem zu geringen Grenzwert können Bildpixel, die Hintergrund darstellen, fälschlicherweise als Krone interpretiert werden, wodurch mehrere Einzelkronen zu einer großen Baumkrone zusammengefasst würden. Daher wird vorgeschlagen, den Schwellwert indirekt aus bildstatistischen Parametern abzuleiten (z. B. Standardabweichung), wobei jeweils nur ein 100×100 Pixel großes Fenster des Gesamtbildes betrachtet wird (entspricht $25 \text{ m} \times 25 \text{ m}$). Dieses bewegt sich im Verlauf der Analyse schrittweise weiter (Schrittweite: 5 m).

Im Anschluss an die Binarisierung erfolgt in einem weiteren Bildbearbeitungsschritt ein so genanntes Opening. Opening bezeichnet eine Erosion gefolgt von einer Dilatation. Im Erosionsschritt werden weiße Bildpixel am äußeren Rand einer Baumkrone entfernt, um zusammenhängende Objekte aufzutrennen. Gleichzeitig werden zu kleine Objekte, die in der Realität keine Baumkronen repräsentieren, eliminiert. Im anschließenden Dilatationschritt erfolgt eine Zusammenführung räumlich sehr nahe beieinander liegender Objekte, indem weiße Bildpixel hinzugefügt werden (PRATT 1991).

Zur Bestimmung der Gesamtzahl an Objekten in einem Bildausschnitt werden die Objekte automatisch mit Labels versehen, nummeriert und gezählt (HARALICK & SHAPIRO 1992), wobei die Objektgröße unberücksichtigt bleibt. Die im aktuellen Bildausschnitt ermittelte Bestockungsdichte wird letztendlich an die Position des Zentralpixels in das Ausgabebild zurückgeschrieben. Bestandsweise aggregiert, lassen sich aus diesen pixelbezogenen Bestockungsdichten bestandsweise Merkmale berechnen (z. B. Mittelwert, Varianz).

3.2 Bildstatistikbezogene Schwellwertfestsetzung und Modellkalibration

Zentraler Punkt des vorgestellten Ansatzes ist die Ermittlung einer bestmöglichen Beziehung zwischen Schwellwert und Bildstatistik (hier Standardabweichung der Grauwerte im gleitenden Fenster)

$$SW = a^I + a^S \cdot SD \quad (\text{Eq.1})$$

mit SW: Schwellwert zur Binarisierung der Grauwerte

SD: Standardabweichung der Grauwerte

a^I , a^S : Interzept und Steigung der linearen Beziehung zwischen Schwellwert und Standardabweichung

Um für jedes einzelne Referenzbild den Grenzwert zu ermitteln, der unter Einbeziehung der nachfolgenden morphologischen Operation zu optimalen Schätzergebnissen führt, wurden alle Bilder über den gesamten Wertebereich in $1/100$ Schritten binarisiert, den oben genannten morphologischen Operationen unterworfen und die schwellwertabhängigen Bestockungsdichten ermittelt. Nach Anpassung einer Polynomfunktion zwischen Schwellwert und geschätzten Bestockungsdichten kann dann der optimale Schwellwert für jedes Referenzbild ermittelt werden (Abb. 2C, D). Dabei können prinzipiell zwei Fälle auftreten: Im ersten Fall ist die Differenz zwischen Schätz- und Referenzwert für nur einen Grenzwert minimal. Im zweiten Fall gibt es zwei „optimale“ Grenzwerte, wobei jedoch ein visueller Vergleich der für den Zählalgorithmus aufbereiteten Bilddaten gezeigt hat, dass nur der höhere Schwellwert zu einer realistischen Objektdifferenzierung führt (hier nicht dargestellt). Die so ermittelten referenzbildabhängigen Schwellwerte wurden in Beziehung zur Standardabweichung der Grauwerte im jeweiligen Referenzbild gesetzt (Eq.1).

Werden die anhand der oben beschriebenen Methodik ermittelten bildstatistikbezogenen Schwellwerte zur Schätzung der Bestockungsdichten eingesetzt, ergeben sich zunächst unkorrigierte Schätzwerte ($BD_{\text{unkorrigiert}}$), die den Referenzwerten gegenübergestellt werden können. Diese Gegenüberstellung erlaubt eine Nachjustierung über eine lineare Beziehung zwischen Soll-Wert und Schätzwert:

$$BD_{\text{korrigiert}} = b^I + b^S \cdot BD_{\text{unkorrigiert}} \quad (\text{Eq.2})$$

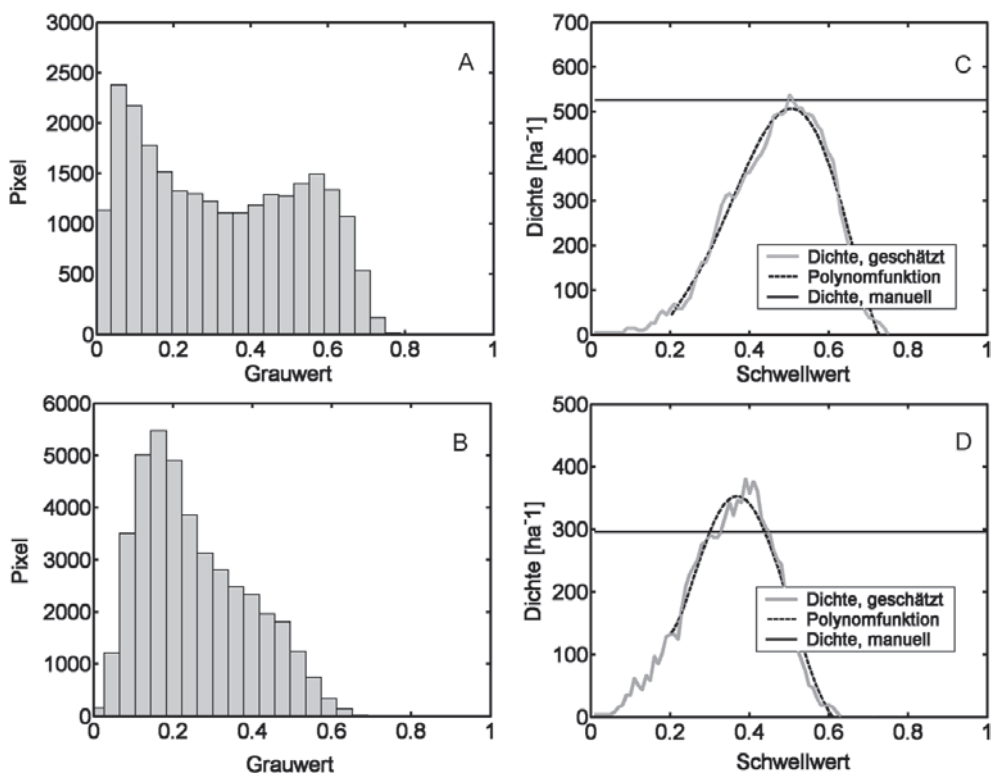


Abb. 2: Grauwert-Histogramm und Schwellwert-Dichte Beziehung für zwei Referenzbilder.

- mit BD_{koriert} : an die manuellen Auszählungen angepasste Bestockungsdichte
- $BD_{\text{unkoriert}}$: vom Zählalgorithmus ausgegebene unkorrigierte Bestockungsdichte
- b^I, b^S : Interzept und Steigung der linearen Beziehung zwischen unkorrigierter Bestockungsdichte und manuellem Zählergebnis

3.3 Verifizierung

Zur Verifizierung wurde eine modifizierte Kreuzvalidierung eingesetzt, bei der jeweils 10 der 40 Bestände nicht in die Bestimmung der Kalibrierfunktion eingehen und somit als unabhängige Stichprobe verwendet werden können. Um eine Gesamtheit von 40

Elementen in zwei Stichproben von 30 respektive 10 Elementen aufzuteilen gibt es zirka 850 Millionen Möglichkeiten. 10000 dieser möglichen Kombinationen wurden unter Verwendung eines Zufallsgenerators ausgewählt. Für jede zufällig gewählte Kombination wurde der vollständige Kalibrierungsschritt durchgespielt und die errechneten Kalibrierungsparameter (i.e. $a_i^I, a_i^S, b_i^I, b_i^S$, mit $i = 1:10000$) auf die unabhängige Stichprobe (d.h. die jeweils verbleibenden 10 Bestände) angewendet. Die Ergebnisse der Schwellwertschätzung aus der Bildstandardabweichung (Eq.1) sowie die Anpassung der geschätzten Bestockungsdichten an die Referenzwerte (Eq.2) sind dann für alle 10000 Wiederholungen darstellbar (s. Abschnitt 4). Daneben können in gleicher Weise Root Mean Square Error (RMSE) und Bestimmtheitsmaß (R^2) jeweils

getrennt für Kalibrierungs- und Verifizierungsstichprobe berechnet werden, wobei der RMSE hier definiert ist als

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta x_i^2}$$

mit δx_i : Differenz zwischen geschätztem Wert und Referenzwert
 n : Anzahl der Beobachtungen

Zur Bearbeitung des gesamten Orthophotomosaiks wurden die mittleren Parameterwerte der 10000 Wiederholungen verwendet.

4 Ergebnisse und Diskussion

Um die Qualität der Objekterkennung beurteilen zu können, ist eine visuelle Begutachtung der morphologisch veränderten Bilder unerlässlich. Dies soll am Beispiel eines typischen Referenzbildes demonstriert werden (Abb. 3). Die Abbildung macht deutlich, dass die in (3a) markierten Baumkronen in der Regel durch eine mehr oder weniger große Ansammlung weißer Pixel (in 3c) repräsentiert werden. Nur selten tritt der Fall auf, dass ein im Orthophoto vorhandener Baum gar nicht erkannt wird. Mitunter wird ein Objekt dagegen nicht aufgetrennt und entspricht dann zwei oder mehreren Baumkronen. Dies gilt insbesondere für Referenzbilder mit hohen Bestockungsdichten und räumlich eng zusammenstehenden Bäumen, bei denen unabhängig vom gewählten Schwellwert keine Separierung erzielt wird.

Die Ergebnisse der Schwellwertschätzung aus der Bildstandardabweichung (Eq.1) sowie die Anpassung der geschätzten Bestockungsdichten an die Referenzwerte (Eq.2) sind in Abb. 4 für 10000 Wiederholungen in Histogrammform dargestellt. Es wird deutlich, dass die Kalibrierungsparameter normalverteilt sind und die Kalibrierung stabil verläuft. Im Mittel der 10000 Wiederholungen ergeben sich die folgenden Beziehungen (in Klammern die jeweiligen Standardabweichungen der Regressionskoeffizienten):

$$SW = 0,05 (\pm 0,03) + 2,36 (\pm 0,20) \cdot SD$$

$$R^2 = 0,57 \pm 0,04$$

$$BD_{\text{korrigiert}} = -190,7 (\pm 44,1) + 1,47 (\pm 0,10) \cdot BD_{\text{unkorrigiert}}$$

$$R^2 = 0,80 \pm 0,08$$

Histogramme der RMSE und R^2 zwischen Schätz- und Referenzdichten sind in Abb. 5 für den unabhängigen Verifizierungsdatensatz dargestellt. Geschätzte Bestockungsdichten und Referenzdichten sind in Abb. 6 gegenübergestellt, wobei bei den geschätzten Bestockungsdichten zusätzlich die jeweiligen Standardabweichungen der unabhängigen Wiederholungen dargestellt sind. Danach berechnet sich der mittlere RMSE für die Gesamtheit aller (Verifizierungs-)Daten zu 63.3 ha^{-1} (bei einem R^2 von 0,77).

Die positive Beziehung zwischen Standardabweichung im gleitenden Fenster und dem dynamischen Schwellwert lässt sich u.a.

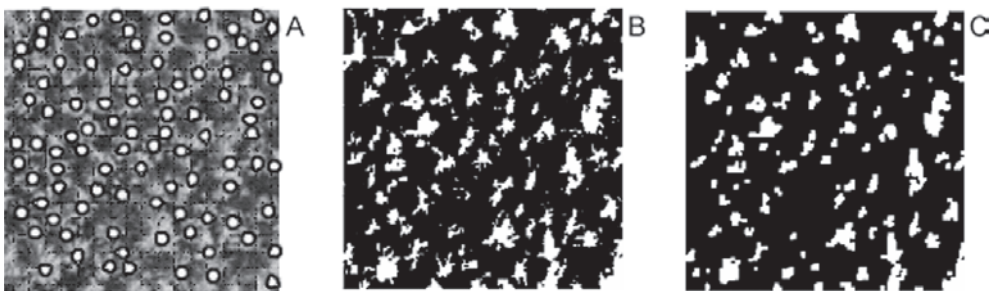


Abb. 3: (a) Bildausschnitt aus dem Orthophoto mit markierten Baumkronen, (b) binarisiertes Bild, (c) Bild nach morphologischem Opening.

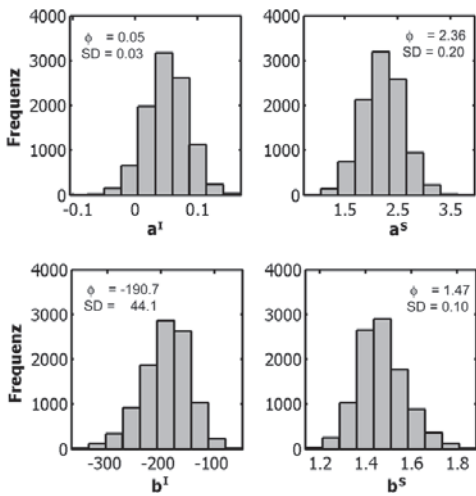


Abb. 4: (oben) Ergebnisse der Schwellwert-schätzung aus der Bildstandardabweichung (Eq.1) und (unten) Anpassung der Schätzdichten an die Referenzdichten (Eq.2).

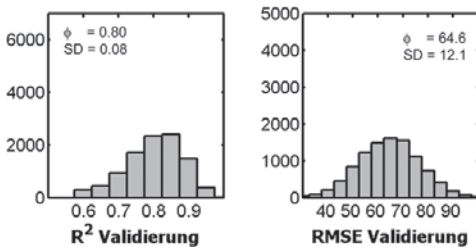


Abb. 5: Verteilung der Korrelationskoeffizienten (R^2) und des Root Mean Square Errors (RMSE) für die Verifizierungsstichproben.

durch die erfolgte Digitalisierung der Orthophotos erklären. Wenn bei dieser Digitalisierung die Grauwertbereiche der einzelnen insgesamt sehr dunklen Bilder unterschiedlich stark gespreizt werden, ergeben sich zwangsläufig positive Beziehungen zwischen Bildstandardabweichung und Bildmittelwert. Damit ergibt sich die Notwendigkeit, den jeweiligen Schwellwert entsprechend anzupassen. Eine solche positive Beziehung zwischen mittlerer Bildhelligkeit und Standardabweichung konnte auch bei unseren Untersuchungen festgestellt werden (hier nicht gezeigt).

Obwohl bereits mit Hilfe der Referenzdaten eine Anpassung zwischen Schwellwert und Standardabweichung erfolgt ist (Eq.1),

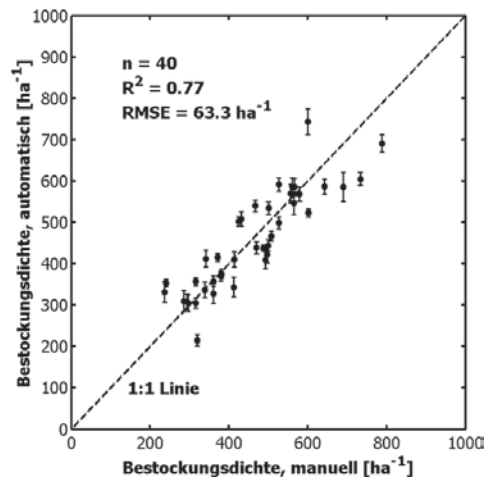


Abb. 6: Automatisch ermittelte gegen manuell bestimmte Bestockungsdichten (Mittelwerte \pm Standardabweichungen der 10000 Wiederholungen aus dem Verifizierungsdatensatz). Die Abweichung von der 1:1-Linie ist für geringe und hohe Bestockungsdichten etwas stärker als für mittlere Werte. Gleiches gilt für die jeweiligen Standardabweichungen (Länge der Fehlerbalken).

weisen die unkorrigierten Schätzergebnisse einen systematischen Fehler auf, der mit Hilfe von Eq.2 nachjustiert werden muss (Abb.4 unten). Die Ursache liegt darin, dass der überwiegende Teil der Referenzbestände mittlere bis hohe Bestockungsdichten aufweist, bei denen verstärkt zusammenhängende Baumkronen auftreten. Dies führt dazu, dass selbst der „optimale“ Schwellwert zu einer Unterschätzung der Bestockungsdichten führt (Abb. 2C) und somit eine Nachjustierung erforderlich wird.

Die für die einzelnen Flächen ermittelten Standardabweichungen der 10000 Wiederholungen zeigen nur eine schwache Abhängigkeit von der Bestockungsdichte der einzelnen Flächen (Tab. 1, letzte Zeile). Gleiches gilt für die absoluten und relativen Abweichungen zwischen Referenzwerten und (gemittelten) Schätzwerten (Tab. 1). Damit ist die Methodik im gesamten Dynamikbereich (hier zwischen 200 und 800 Stämmen pro ha) gleichermaßen einsetzbar.

Durch die Automatisierung der Zählprozedur können dem Algorithmus auch große Orthophotomosaik von mehreren Qua-

Tab. 1: Analyse der Fehlerabhängigkeit des Zählalgorithmus als Funktion der mittleren Referenz-Bestockungsdichte (manuelle Auszählungen). Die jeweiligen Standardabweichungen (in Klammern) ergeben sich aus den Ergebnissen der 10000 Wiederholungen für den unabhängigen Validierungsdatensatz.

	Referenz-Bestockungsdichte		
	niedrig	mittel	hoch
Referenz-Bestockungsdichte [Bäume ha ⁻¹]	< 350	351–550	> 550
Anzahl der Untersuchungsflächen	10	19	11
Mittlere absolute Differenz [Bäume ha ⁻¹] (± SD)	48,3 ± 43,3	45,0 ± 27,5	63,0 ± 49,4
Mittlere relative Differenz [%] (± SD)	17,3 ± 16,9	9,8 ± 6,0	9,6 ± 7,3
Mittlere Standardabweichung der Schätzung [Bäume ha ⁻¹] (± SD)	17,5 ± 5,7	15,0 ± 4,6	21,9 ± 7,2

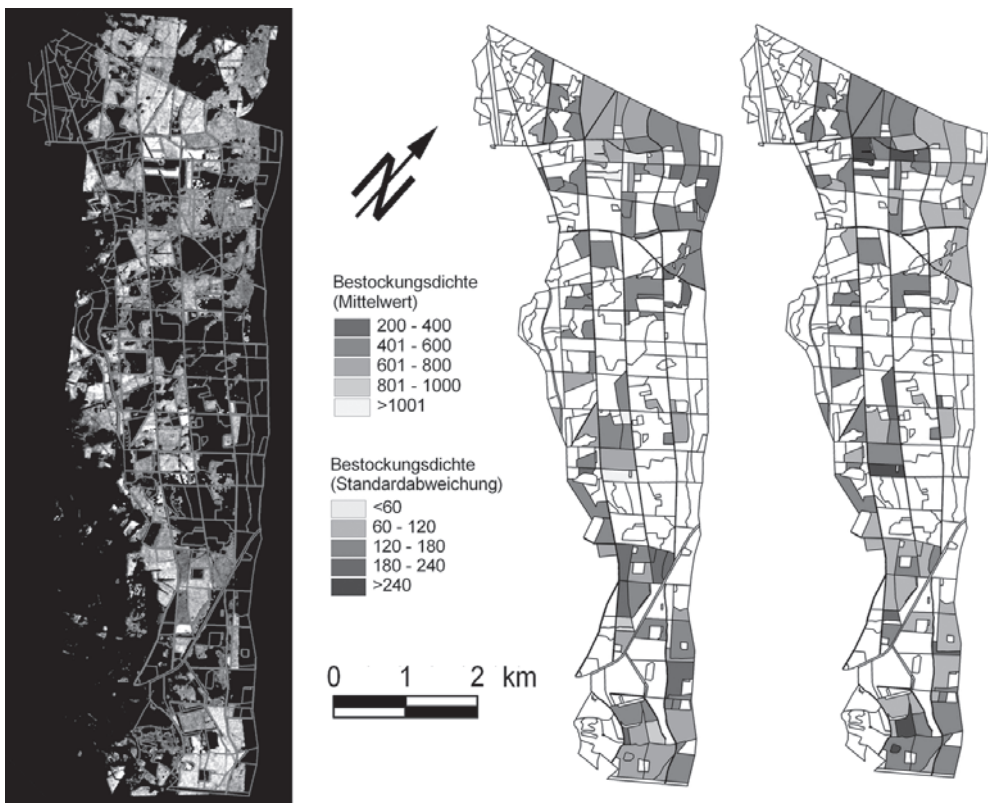


Abb. 7: (links) Ermittelte Bestockungsdichten in einer räumlichen Auflösung von 25 m × 25 m und daraus abgeleitete Bestandsstrukturgrößen; (Mitte) mittlere Bestockungsdichte im jeweiligen Bestand; (rechts) Standardabweichung der Bestockungsdichte im jeweiligen Bestand.

dratkilometern Flächenausdehnung zugeführt werden (Abb. 7a). Auch können die ermittelten Bestockungsdichten und daraus abgeleitete sekundäre Strukturgrößen (u.a.

Variabilität der Bestockungsdichte innerhalb eines Bestandes) ohne Schwierigkeit in ein entsprechenden Forst-GIS zurückgeschrieben werden (Abb. 7bc).

5 Ausblick

Um Informationen zur Bestockungsdichte zu erhalten, war es bislang notwendig, Bäume im Gelände (stichprobenartig für kleine Teilflächen) oder im Luftbild (flächendeckend, aber zeitaufwändig) zu zählen. Das vorgestellte Tool erlaubt dagegen eine flächendeckende und zeitsparende Bestimmung von Bestockungsdichten. Auch wenn sich die ermittelten Regressionskoeffizienten (Eq.1 und 2) nicht ohne weiteres auf andere Untersuchungsräume übertragen lassen, so besteht dennoch die Möglichkeit, den Methodenansatz zu übernehmen.

Im Bezug auf die bereits diskutierten Einsatzgebiete kann die Methode als ausreichend präzise betrachtet werden, wobei sich möglicherweise die Genauigkeit einzelner Teilprozesse, insbesondere des Binarisierungsschrittes, noch weiter optimieren lässt. Zum Beispiel ist denkbar, auch Größen- und Formaspekte mit in die Objektdefinition einfließen zu lassen.

Der Algorithmus kam bereits erfolgreich in Untersuchungen zur Klassifizierung von Baumarten und Altersstufen zum Einsatz (SCHLERF et al. 2002). In einer weiteren Arbeit wurde untersucht, welche Zusammenhänge zwischen der Spektralsignatur von Nadelwaldbeständen und der Bestockungsdichte bestehen und ob diese Zusammenhänge ausreichen, um die Bestockungsdichte aus der spektralen Signatur von Hyperspektralsensoren abzuleiten (ATZBERGER & SCHLERF 2002). Darüber hinaus ist geplant, (i) die abgeleiteten Bestockungsdichten zur Initialisierung bzw. Parametrisierung von dynamischen Stoff- und Energieflussmodellen zu verwenden sowie (ii) die Bestockungsdichten im Rahmen der Inversion physikalisch basierter Reflexionsmodelle einzusetzen (z.B. ATZBERGER 2000 ab). Die ermittelten Bestockungsdichten können unter Berücksichtigung der Dichte-Alter Beziehung auch zur Neugestaltung von Bestandsgrenzen verwendet werden. Da die Methode ebenfalls ungefähre Lagekoordinaten der einzelnen Baumkronen erfasst, ist es auch möglich, diese Informationen im Rahmen von Strukturuntersuchungen (i.e. räumliche

Verteilung der Baumstandorte) zu verwenden.

Danksagung

Die Arbeit wurde von der DFG im Rahmen des SFB 522 „Umwelt und Region“, im Teilprojekt B8 „Fernerkundliche Erfassung, Quantifizierung und Modellierung umweltrelevanter Indikatoren und ihre Integration in ein Umweltinformationssystem“ gefördert. Für die gewährte Unterstützung bedanken sich die Autoren nachdrücklich. Die Autoren danken ebenfalls dem Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz für die Bereitstellung der digitalisierten Orthophotos, Herrn ACHIM RÖDER (Universität Trier) für die Korrektur des Manuskriptes sowie Frau REBECCA RETZLAFF und Herrn JOACHIM HILL (Universität Trier) für die gewährte Unterstützung.

Literatur

- AKCA, A., HILDEBRANDT, G., HUSS, J., KENNEDY, H. & RHODY, B., 1984: Luftbildmessung und Fernerkundung in der Forstwirtschaft. – H. Wichmann Verlag, Karlsruhe, 406 S.
- Arbeitskreis Standortkartierung, 1985: Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke in der Bundesrepublik Deutschland. – Landwirtschaftsverlag Münster Hiltrup, Münster.
- ATZBERGER, C. & SCHLERF, M., 2002: Einsatz Neuronaler Netze zur empirischen Schätzung forstlicher Bestockungsdichten aus hyperspektralen Fernerkundungsdaten. – MÜLLER, RUMPF & MONHEIM (Hrsg.): Umwelt und Region – Aus der Werkstatt des Sonderforschungsbereichs 522, Trier, Selbstverlag, 197–206.
- ATZBERGER, C., 2000a: INFORM: Ein invertierbares Forstreflexionsmodell zur fernerkundlichen Bestimmung biophysikalischer Größen. – In: ALBERTZ (Hrsg.): Photogrammetrie und Fernerkundung – Neue Sensoren – Neue Anwendungen. – Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, **8**: 163–173.
- ATZBERGER, C., 2000b: Development of an invertible forest reflectance model: The INFOR-model. – In: BUCHROITHNER (Hrsg.): A decade of trans-european remote sensing cooperation. – Proceedings of the 20th EARSeL Symposium,

- 14–16 June 2000, Dresden, Balkema Publishers, Lisse, 39–44
- CHEN, J.M. & LEBLANC, S.G., 1997: A four-scale bidirectional reflectance model based on canopy architecture. – *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, **35**(5): 1316–1337.
- GOUGEON, F.A., 1995: A crown-following approach to the automatic delineation of individual tree crowns in high spatial resolution aerial images. – *Canadian Journal of Remote Sensing*, **21**(3): 274–284.
- HARALICK, R.M. & SHAPIRO, L.G., 1985: Survey, image segmentation techniques – *Comput. Vis. Graph. Image Process.*, **29**: 100–132.
- HARALICK, R.M. & SHAPIRO, L.G., 1992: *Computer and Robot Vision*. – Volume I, Addison-Wesley, 28–48.
- KOROL, R.L., MILNER, K.S. & RUNNING, S.W., 1996: Testing a mechanistic model for predicting stand and tree growth. – *Forest Science*, **42**(2): 139–153.
- LARSEN, M., 1997: Crown modelling to find tree top positions in aerial photographs. – *Third International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition*. – Copenhagen, Denmark, 428–435
- PAL, N.R. & PAL, S.K., 1993: A review on image segmentation techniques. – *Pattern Recognition*, 1277–1294.
- POLLOCK, R.J., 1998: Individual tree recognition based on a synthetic tree crown image model. – In: HILL & LECKIE (Hrsg.): *Automated Interpretation of High Spatial Resolution Digital Imagery for Forestry*. – Pacific Forestry Centre, Victoria, British Columbia, 25–34.
- PRATT, W.K., 1991: *Digital Image Processing*. – John Wiley & Sons, 698 S.
- SAUERBORN, K., TISCHER, M. & GAITSCH, R., 1998: Wege zur Nachhaltigkeit in Forst- und Holzwirtschaft. Umweltgerechte Wirtschaftsentwicklung durch Nutzung der Schlüsselressource Holz. – *TAURUS-Diskussionspapier Nr. 2*, 64 S.
- SCHLERF, M., ATZBERGER, C. & HILL, J., 2002: Fernerkundliche Kartierung von Baumarten und Altersstufen unter Verwendung von Hyperspektraldaten und Ortholuftbildern. – In: MÜLLER, RUMPF & MONHEIM (Hrsg): *Umwelt und Region – Aus der Werkstatt des Sonderforschungsbereichs 522*, Trier, Selbstverlag, 175–182.
- The Mathworks, 2000: *The MathWorks, Inc.*, 3 Apple Hill Drive, Natick, MA 01760-2098.

Anschriften der Autoren:

- Dr. rer. nat. CLEMENT ATZBERGER, Abteilung Fernerkundung, Universität Trier, Geozentrum H-812, D-54286 Trier.
Tel.: ++49-651-201-4596, Fax: ++49-651-201-3815, e-mail: atzberge@uni-trier.de
- Dipl.-Geogr. MARTIN SCHLERF, Abteilung Fernerkundung, Universität Trier, Geozentrum H-809, D-54286 Trier.
Tel.: ++49-651-201-4593, Fax: ++49-651-201-3815, e-mail: schlerf@uni-trier.de

Manuskript eingereicht: Dezember 2001

Angenommen: Januar 2002

Zur Erfassung langjähriger Landschaftsveränderungen aus historischen und aktuellen Luftbildern und Karten

RALF KALKE, HARTMUT KENNEWEG, Berlin & ECKHARDT SEYFERT, Potsdam

Zusammenfassung: Für historische Landschaftsanalysen liegt in Deutschland ein reichhaltiges und qualitativ hochwertiges Angebot an Luftbildern und Karten vor. Vermessungsämter und Archive bergen Material in einem Umfang, der selbst auf Landesebene schwer vollständig zusammenzufassen ist. Eine typische Nutzergruppe, die sich sowohl dem aktuellen als auch dem historischen Material widmet, ist im weitesten Sinne der Raumplanung zuzuordnen.

Im folgenden Beitrag wird geschildert, welche Daten das Landesvermessungsamt Brandenburg einem Projekt der TU Berlin zur Verfügung stellen konnte, das langjährige Veränderungen auf einem Truppenübungsplatz zu erfassen und zu diagnostizieren hatte, welche Bedeutung Veränderungsnachweisen in der Landschaftsplanung beigemessen wird und schließlich, wie die Luftbilder und Karten mit einem nicht photogrammetrischen Verfahren ausgewertet wurden.

Summary: *The documentation of long-time changes in landscape with historical and present aerial photographs and maps.* In German Survey Offices and archives exist a large and high-quality fund of aerial photographs and maps for historical landscape analysis. A typical user with a high interest in current and historical material is related to landscape planning and geography.

The following article describes the kind of data offered from the Survey Office of Brandenburg to a project of the Technical University of Berlin. In the project the long-time changes on a military training area had to be acquired and to evaluated. An explanation about the importance of change detection in the field of landscape planning will follow.

Finally a non-photogrammetric procedure is described to assess actual and historical aerial photographs in a simple digital manner.

1 Datenmaterial des Landes Brandenburg

Das Landesvermessungsamt Brandenburg übernahm bei seiner Gründung im März 1991 die Originale der Topographischen Kartenwerke 1:10000, 1:25000, 1:50000 und 1:100000 sowie die Original Luftbildfilme von den bis dahin zuständigen Stellen und Einrichtungen.

1.1 Topographische Kartenwerke

Bei den Unterlagen für die Topographischen Kartenwerke handelte es sich um die Originale der vorhergehenden Laufendhaltungsperiode, also Unterlagen aus dem Zeitraum von 1985–1990. Entsprechend den in der

DDR gültigen Vorschriften zur Geheimhaltung militärischer Objekte existierten die Topographischen Kartenwerke ab dem Maßstab 1:25000 flächendeckend in den zwei Formen „Ausgabe Staat“ (AS) und „Ausgabe für die Volkswirtschaft“ (AV). Die Kartenwerke im Maßstab 1:10000 lagen nicht flächendeckend vor. AS und AV ergänzten sich so, dass eine annähernde Flächendeckung erreicht wurde. Von den durch die GUS genutzten Truppenübungsplätzen lagen keine Topographischen Karten in diesem Maßstab vor.

Es ist darauf hinzuweisen, dass sich die beiden Kartenwerke nicht nur in ihrem Inhalt unterschieden, sondern auch unterschiedliche geodätische Bezugssysteme zur Grundlage hatten. Die Topographischen

Karten der Ausgaben AS bezog sich auf das Ellipsoid von Krassowski mit dem Zentralpunkt Pulkovo. Die Abbildung ist eine konforme querachsige Zylinderprojektion (Gauß-Krüger-Abbildung) im 6°-Meridian-Streifensystem mit einem längentreuen Mittelmeridian. Für die Topographischen Karten der Ausgabe AV hatte man den geodätischen Bezug (Referenzellipsoid von Bessel mit Zentralpunkt Rauenberg, auch als „Potsdam Datum“ bekannt, mit einer Gauß-Krüger-Abbildung im 3°-Meridian-Streifensystem) der „Messtischblätter“ von vor 1945 beibehalten. Allerdings wurde ein neuer Kartenblattschnitt und ein anderer Zeichenschlüssel eingeführt (KRAKAU 1994).

Beide Kartenwerke unterlagen einem fünfjährigen Laufendhaltungszyklus, der so organisiert war, dass alle in den Topographischen Karten 1:10 000 darzustellenden topographischen Veränderungen in den topographischen Originalen dieses Maßstabes erfasst wurden und anschließend der kartographischen Bearbeitung, entweder der Ausgabe AS bzw. AV im Basismaßstab und den Folgemaßstäben übergeben wurden.

Mit der Gründung des Landesvermessungsamtes Brandenburg wurde die Umstellung der Kartenwerke auf den Duktus und den Blattschnitt der Bundesrepublik Deutschland für die gesamte Maßstabsreihe begonnen. Eine genaue Beschreibung dieser Kartenwerke ist in den Musterblättern (z. B. LVermA 1996) der Topographischen Karten zu finden.

Den Musterblättern ist auch eine Gegenüberstellung der alten und neuen Kartenzeichen zu entnehmen (Kartenzeichen-Nr.). Das hat sich insbesondere für Auswertungen, die sich über mehrere „kartographische Epochen“ erstrecken, zur Erstellung der Interpretationsschlüssel als hilfreich erwiesen.

Auf der Grundlage der aktualisierten und umgestellten Topographischen Karten TK10-Normalausgabe und von Luftbildkarten TK10L begann man 1992 mit den Digitalisierungsarbeiten für das Digitale Landschaftsmodell (DLM) zur Umsetzung des Projektes ATKIS. Digitalisiert wurden alle die im Objektartenkatalog ausgewähl-

ten Objekte der ersten Erfassungsstufe. Die Kriterien für die Erfassung orientierten sich am Inhalt der TK25.

Bedingt durch die mangelnde Genauigkeit der verwendeten TK10N und der TK10L als Digitalisieruvorlage, konnte die für das Projekt ATKIS angegebene Genauigkeitsanforderung von $< \pm 3$ m (für Verkehrswege) nicht erfüllt werden. Durch einen aufwändigen Bearbeitungsschritt, der so genannten „Lageverbesserung“, wurden die Daten der ersten Erfassungsstufe (DLM25/1) mit neu berechneten digitalen Orthophotos verschnitten und deren Lage mit den lagerichtigeren Konturen der Orthophotos in Übereinstimmung gebracht. Bei den Arbeiten zur zweiten Ausbaustufe des DLM sollen neben der Aktualisierung des DLM25/1, der Erfassung neuer Objektarten und Attribute auch noch die Erfassungskriterien (Mindestflächen, -breiten und -längen) verfeinert werden, so dass die digitale Ableitung einer TK10 bereits aus diesem Datenbestand möglich wird (SEYFERT 1997).

1.2 Luftbildunterlagen

Noch vor der Gründung des Landesvermessungsamtes begann man mit der Übernahme der Luftbilder, die für die Laufendhaltung der topographischen Karten angefertigt worden waren. Das betraf für Brandenburg hauptsächlich die Befliegungen ab 1981. Die Bildmaßstäbe dieser zyklischen Befliegungen waren 1:12 500, 1:18 000, 1:27 000 oder 1:34 000.

In den darauf folgenden Jahren wurden weitere Luftbildunterlagen übernommen oder, in Abstimmung mit anderen Landesbehörden, gezielt für das Land angekauft. So konnten 85 Kartenblätter aus dem Luftbildkartenwerk 1:25 000 des Deutschen Reiches (Entstehung zwischen 1936 und 1943) und so genannte Kriegsluftbilder der US-Luftwaffe (CARLS, GLASER & HECK 2000) einschließlich der Bildflughachweise beschafft werden. Die Kriegsluftbilder liegen nicht flächendeckend vor, haben keinen einheitlichen Aufnahmemaßstab und sind auch hinsichtlich der Bildqualität sehr un-

terschiedlich. Aus dem Jahr 1953 liegt für den größten Teil der Landesfläche (LVermA 2001) eine Befliegung der sowjetischen Armee im Maßstab 1 : 22 000 vor. Hervorzuheben ist dabei das Bildformat von 30 cm × 30 cm. Angaben zur inneren Orientierung der Aufnahmen fehlen.

Seit 1990 wurden durch das Landesvermessungsamt Bildflüge in den Maßstäben 1 : 18 000 und 1 : 34 000 für die Aktualisierung der TK 10 oder die Herstellung der digitalen Luftbildkarte TK 10DL in Auftrag gegeben. Die TK 10DL liegt digital vor, kann aber auch als Druck abgegeben werden. Zusätzlich wurden, abgestimmt mit anderen Landesbehörden, Landesbefliegungen realisiert. So gab es in den Jahren 1991/92 eine CIR-/SW-Befliegung im Maßstab 1 : 10 000. Die Schwarz-Weiß-Befliegung wurde in den Jahren 1996 bis 1998 wiederholt.

Der landesweit in den Jahren 1992 und 1993 durchgeführte CIR-Bildflug 1 : 10 000 dient u. a. als Basis der digitalen Biotop- und Nutzungstypenkarte 1 : 10 000 und ist dem Landesvermessungsamt überstellt worden. Er dokumentiert den Landschaftszustand vor den Entwicklungen der Nachwendezeit und markiert einen Meilenstein der Landesaufnahme (Landesumweltamt 1995).

2 Zur Bedeutung historischer Landschaftsveränderungen für planerische Zwecke

Die räumliche Planung (Raumordnung, Bauleitplanung) einschließlich der meisten Fachplanungen (z. B. für Verkehrswege) ist zukunftsorientiert und berücksichtigt historische Landschaftszustände prinzipiell nur insoweit, als sie ihr Vorgaben machen bzw. Lasten und Hindernisse auferlegen. Dies geschieht auf Grund rechtlicher Verpflichtungen, die sich aus dem 13. Grundsatz (§ 2, Abs. 1 BNatSchG) ableiten, der den besonderen Schutz der Kulturlandschaften, einschließlich ihrer Vielfalt, Eigenart und Schönheit zum Gegenstand hat. Ein Beispiel für solche Vorgaben kann die i. d. R. erforderliche Beschränkung der Siedlungserweiterung auf Flächen im Anschluss an bereits bestehende Siedlungen genannt werden,

während der Außenbereich frei gehalten werden soll. Altlasten oder bergbaubedingte Bodensenkungen repräsentieren typische Fälle der Belastung von Planungsgebieten. Historische Bauwerke oder wertvolle Biotope können Hindernisse für die bautechnisch optimale Trassenführung einer neuen Straße sein. Das Planungsgebiet der Denkmalpflege kann den Hauptzielen der räumlichen Planung entgegenstehen, ist aber überschaubar und beansprucht (außer dem Umgebungsschutz für bestehende Monumente) keine Entwicklungsgebiete. Die mit dem Bundesnaturschutzgesetz von 1976 eingeführte Landschaftsplanung stellt mit ihren speziellen Instrumenten auf mehreren Planungsebenen wesentlich weitergehende Gebietsansprüche, die im nachfolgenden Abschnitt darzustellen sein werden.

2.1 Landschaftsplanung und Veränderungsnachweise

Aus dem vielfältigen Arbeitsbereich der Landschaftsplanung sollen hier nur einige Beispiele herausgegriffen werden, die auf die Analyse historischer Landschaftszustände und damit auf Veränderungsnachweise angewiesen sind.

Landschaftsplanung gliedert ihr umfangreiches und interdisziplinäres Arbeitsfeld thematisch nach „Schutzgütern“ (Boden, Wasser, Luft, Pflanzen und Tiere, Landschaftsbild), „Landschaftspotenzialen“ (z. B. Ertragspotenzial) oder „Landschaftsfunktionen“ (z. B. Abflussregulationsfunktion, GRUEHN & KENNEWEG 1998). Unabhängig vom thematischen Ansatz gehört die Beseitigung von negativen ökologischen Folgen technisch dominierter Planungen durch „Renaturierungsmaßnahmen“ zu den Standardaufgaben der Landschaftsplanung. Insbesondere verpflichtet die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung zur Vermeidung oder Kompensation von „erheblichen und nachhaltigen“ Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft. Die Entwicklungsziele sind in diesen Fällen zu einem erheblichen Teil Rekonstruktionsziele, die sich an früheren Landschaftszuständen orientieren müssen. Beispiele:

- Wiedervernässung trockengelegter Niederungen und Moore;
- Bodenschutz: Erosionsschutz; Sanierung bzw. Berücksichtigung von Altlasten;
- Wiederbewaldung unrentabel gewordener Landwirtschaftsflächen;
- Entsiegelung unnötig versiegelter Flächen;
- Rekonstruktion von Hecken als Biotopverbundstruktur;
- Ausbaggern zugeschütteter Kleingewässer.

Durch den 1980 eingeführten 13. Grundsatz im § 2 des BNatSchG, der die Erhaltung historischer Kulturlandschaften zur besonders hervorgehobenen Aufgabe der Landschaftsplanung macht, bekommt die historische Landschaftsanalyse prinzipiell erheblichen Stellenwert. In umfangreichen Arbeiten zeigen BECKER 1998 für schleswig-holsteinische Landgemeinden und BACHER 1999 für das Oderbruch, dass die ernst gemeinte Umsetzung dieser Leitidee nicht nebenbei durchführbar ist, sondern vorausgehende umfangreiche Studien an historischem Daten-, Karten- und Luftbildmaterial benötigt. Es gibt, wie auch andere Autoren vorher feststellten (z. B. WÖBSE 1994), erheblichen Forschungsbedarf und noch größere Umsetzungsdefizite auf diesem Gebiet, die im Wesentlichen auf fehlende Finanzierungsmöglichkeiten zurückgeführt werden. Die Einführung rationeller Vergleichs- und Analysemethoden für multitemporale Fernerkundungsaufzeichnungen mit Luftbildern, die teilweise bis in die 20er Jahre des letzten Jahrhunderts zurückreichen, ist daher eine wichtige Voraussetzung für Fortschritte beim umsichtigen Kulturlandschaftsschutz.

2.2 Der Sonderfall der Truppenübungsplätze

In Folge der politischen Veränderungen während der 90er Jahre wurden zahlreiche Truppenübungsplätze, auch solche, die sehr lange unter militärischer Nutzung standen, nicht mehr für diese Zwecke benötigt. Diese zusammenhängenden großen Areale setzen sich teilweise aus ehemaligen Kulturland-

schaften zusammen (abgesiedelte Dörfer oder Gehöfte sind teilweise noch vorhanden oder erkennbar), großenteils aber wurden sie in einer mit ziviler Nutzung nicht vergleichbaren Art behandelt und unterliegen seit der Aufgabe der militärischen Nutzung einer nicht weiter vom Menschen beeinflussten natürlichen Sukzession. Das gilt auch für große bebaute Teilflächen. Wegen militärischer Geheimhaltung sind im zivilen Bereich nur wenige Karten und Luftbilddokumente verfügbar, die die Entwicklung dieser Flächen nachvollziehbar machen könnten. Planerisch sind diese Flächen allein wegen ihrer Flächengröße von erheblichem Interesse. Eine bauliche und sonstige wirtschaftliche Nachnutzung im Zuge der Konversionsplanung muss sich mit der Altlastenproblematik und der Ablegenheit bzw. Unwirtlichkeit vieler dieser Standorte auseinandersetzen. Die Wiederherstellung der vormilitärischen Kulturlandschaft kann ein Leitbild für die Konversionsplanung sein bzw. Anhaltspunkte für ein solches geben (BÜSCHING 2000, THORMEYER 2000). Die Landschaftsplanung sieht in den ehemaligen Truppenübungsplätzen vornehmlich Kernzellen einer natürlichen Entwicklung, die der ungesteuerten oder teilgesteuerten Entwicklung, also dem Naturschutz-Leitgedanken des Prozessschutzes unterliegen sollten (DEMUTH u. a. 2000). Dauerbeobachtung (Monitoring), sicher vielfach mit Hilfe von Fernerkundungsmethoden, ist aus der Sicht der Landschaftsplanung dort wichtig. Die rückblickende Dauerbeobachtung, also die historische Landschaftsanalyse, ist auch für die Landschaftsplanung bedeutsam, um die standörtlichen Gegebenheiten verstehen und die Entwicklung richtig beurteilen zu können; militärische Altlasten sind natürlich auch vom Naturschutz und der Landschaftsplanung zu berücksichtigen.

2.3 Die Auswertung historischer Fernerkundungsdaten für Planungszwecke

Jede heutige Auswertung von Fernerkundungsaufzeichnungen für Zwecke einer historischen Landschaftsanalyse muss i. d. R.

davon ausgehen, mit Daten arbeiten zu müssen, die für den Auswertezweck nicht optimal sind. Vielmehr besteht die Notwendigkeit, einen möglichst vielseitigen und aussagekräftigen, multitemporalen Bild- und Kartenfundus zusammenzustellen, aus dem je nach Planungsebene, Zielsetzung und Eignung eine Auswahl vorgenommen werden kann.

Eine Militär-Aufnahme bei Schneelage wird in der Regel kaum geeignet sein für Vegetationsstudien, auf einer LANDSAT-MSS-Szene der 70er Jahre mit einer Bodenauflösung von ca. 70 m ist es hoffnungslos, Heckenstrukturen rekonstruieren zu wollen. Nur in besonderen Glücksfällen wird es beispielsweise gelingen, anhand alter Stereo-Aufnahmen zufällig abgebildete Giftfässer einzumessen, die in 6 m Tiefe unter einer heute überbauten ehemaligen Kiesgrube liegen (KENNEWEG 1996). Da für viele alte Luftbildaufnahmen die Daten der inneren Orientierung nicht bekannt sind, ist eine Auswertung nach hochgenauen Ansprüchen, wie sie mit photogrammetrischen Geräten prinzipiell möglich sind, von vornherein auszuschließen. Eine Lage(un)genauigkeit im Meterbereich muss wahrscheinlich akzeptiert werden. Die Aufbereitung mehrerer multitemporal aufgenommener Datensätze, ergänzt um Kartendarstellungen, in einer Rasterdatei mit einer Pixelgröße im Bereich von 1–3 m kann vielen Ansprüchen genügen, wie nachfolgend gezeigt wird.

3 Zur Erfassung von Landschaftsveränderungen aus Luftbild- und Kartenmaterial

Die Vielzahl der verfügbaren Materialien kann für Anwender, die nicht über eine gute Auswahl von photogrammetrischer Technik verfügen, ein Problem aufwerfen. Die bei historischem Material üblichen Luftbildformate und kartographischen Darstellungsweisen erlauben es nicht, mit nur einem, zurzeit modernen Gerät, eine umfassende und zweckmäßige Auswertung vorzunehmen; umfassend im Sinne der Sichtbarmachung aller vorhandenen Karten- und Luftbildinhalte im Ergebnisbild und zweckmäßig im

Sinne der schnellen und freien Kombination der Karten- und Luftbildinhalte.

Dem Kartieren von Landschaftszuständen sind auch noch zwei inhaltliche Mängel immanent, auf die u. a. BLASCHKE 1997 und FRITSCH et al. 1998 bereits näher eingingen.

So müssen „unscharfe“ natürliche Zustände und Objekte i. d. R. durch scharfe Grenzen repräsentiert werden. Nicht nur, dass bei der Erfassung und Umzeichnung in eine Auswertekarte geometrische Fehler in Kauf genommen werden müssen, sondern die Vektordarstellungen vermitteln beim Betrachter auch eine weder beabsichtigte, noch real vorhandene Lagegenauigkeit.

Zum Zweiten leidet das übliche Verfahren auch an einem Mangel an Nachvollziehbarkeit. Die ausgewerteten Luftbilder sind meist nicht orthorektifiziert. D. h., sie weisen je nach Aufnahmebedingungen die durch Gelände und Überflug verursachten Verzerrungen auf, die der Interpret bei der Auswertung am Gerät korrigieren muss. Die dann einmal vom Interpreten festgelegten räumlichen und inhaltlichen Merkmale sind dann bei vergleichenden Auswertungen kaum noch zu verifizieren, wenn nicht das gesamte Ausgangsmaterial nochmals zur Verfügung steht.

Diesen Defiziten steht aber der enorme Informationsgehalt besonders der Luftbilder, aber auch der Karten gegenüber. Die Diskrepanz zwischen gut zugänglichem Datenangebot einerseits und vergleichsweise zurückhaltender Nutzung andererseits ist sicher auch Folge des Aufwandes, der für eine umfassende Auswertung zu betreiben ist.

Somit kann man einen historisch-geographischen Vergleich anhand von Luftbild- und Kartenmaterial durchaus noch nicht als allgemein etabliertes, schnell verfügbares Handwerk bezeichnen. Demgegenüber werden die Verfahren der Satellitenfernerkundung mit unterschiedlichen Daten, Maßstäben und Zielstellungen immer erfolgreicher angewandt, vgl. u. a. BANZHAF/KASPERIUS 1998, KUSSEROW/ HAENISCH 1999, JÜRGENS 2000. Manche Projekte sind bereits explizit auf Monitoring orientiert, z. B. CORINE, MoBio und MOMSIS.

3.1 *Ein digitales Verfahren zum Vergleich analoger Bild- und Kartenmaterialien*

Mit einem vergleichsweise einfachen und gerätetechnisch anspruchslosen Verfahren kann eine Auswertung erfolgen, die für die meisten geographischen und planerischen Anforderungen hinreichend ist, auch wenn es photogrammetrischen Ansprüchen nicht voll gerecht werden kann.

Dabei werden die analogen Daten digital aufbereitet, um visuell oder rechnergestützt zur Auswertung zu gelangen. Der Prozess umfasst:

1. Scannen und ggf. Bildkorrekturen
2. Georeferenzieren
3. Entzerren und ggf. Mosaikbildung
4. Erzeugung von Bildkompositen
5. Auswerten des Bildkomposites

Nachfolgend soll der Ablauf in wesentlichen Zügen und einige Erfahrungen näher geschildert werden.

3.1.1 *Vorüberlegungen*

Zuvor sind Überlegungen hinsichtlich der Sichtbarkeit der auszuwertenden Objekte insbesondere in den Luftbildern (radiometrische und geometrische Auflösung vs. Datenumfang) zweckmäßig. Nicht „so viel wie möglich“ sollte angestrebt werden, sondern in Erwartung der Entstehung und weiteren Verarbeitung mehrkanaliger Bilder „so viel wie nötig“.

So unterscheiden sich die notwendigen optischen Auflösungen für eine Analyse größerer Strukturen (Verteilung: Wald, Siedlung, Feld usw.) von Untersuchungen kleinerer und einzelner Objekte und Strukturen (z. B. Bodenveränderungen, Hecken, Flächennutzung innerhalb von Siedlungen). Zur Einschätzung der tatsächlichen Sichtbarkeit sind bekanntlich nicht nur die Korngröße des Films bzw. die Kantenlänge des Bodenpixels ausschlaggebend, sondern auch die Bedingungen der Wahrnehmbarkeit und Interpretierbarkeit des Objektes in seiner Umgebung (vgl. die „Bildgestalt“ in HILDEBRANDT 1996).

Die Digitalisierauflösung muss andererseits gewährleisten, dass ein relevantes Objekt durch eine ausreichende Anzahl von Pixeln erfasst wird, um den Rand des Objektes auch bei Entstehung von Mischpixeln letztendlich einem Pixel zuordnen zu können.

3.1.2 *Scannen*

Dieser Vorgang ist Büroalltag, sollte auf Grund der Bedeutung der räumlichen Position der Pixel aber durch einen Test des Gerätes vervollkommen werden. Als Testfigur bietet sich z. B. ein Siemensstern an, der auf verschiedenen Stellen des Gerätes aufgelegt auch die eine oder andere (bisher nicht vermutete) geometrische Schwäche zu Tage fördern kann.

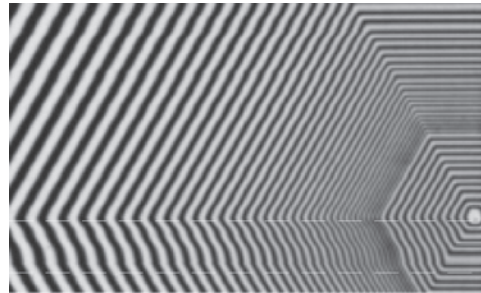


Abb. 1: Bildfehler des HP ScanJet IIcx am unteren Rand des Bildträgers (horizontaler Punktversatz im markierten Bereich).

Sollte das Material nicht vollständig auf dem Scanner Platz finden (z. B. Karten und großformatige Luftbilder), dann müssen diese in Teilen aufgenommen und einzeln behandelt werden. Dabei ist u. a. darauf zu achten, dass die Funktion des Scanners zur automatischen Anpassung von Kontrast und Helligkeit abgeschaltet wird, um Inhomogenitäten bei der späteren Mosaikbildung zu vermeiden.

3.1.3 *Georeferenzieren*

Auch dieser Vorgang ist hinreichend bekannt. Bildpunkten in Karten und Luftbildern werden mittels geeigneter Software geographische Koordinaten zugewiesen. Bei historischem Luftbildmaterial kann dies

aber schwierig und zeitaufwändig sein, da man in stark verändertem Gelände Passpunkte nur schwer lokalisieren kann. Eine Luftbildkarte kann hierbei sehr hilfreich sein, da sich in ihr u. U. alte Landschaftsstrukturen wiedererkennen und georeferenziert entnehmen lassen (Bild-auf-Bild-Entzerrung). Ist das nicht möglich, müssen Versuche unternommen werden, in denen zwischen Zuverlässigkeit des Passpunktes und resultierendem RMS-Fehler abgewogen wird. Um Entzerrungsfehler auf Grund des radialen Punktversatzes zu minimieren, sollten nur Passpunkte verwendet werden, die in einer mittleren Geländeebene liegen.

Bei Karten sollte ebenfalls, wenn möglich, mit dem bereits georeferenzierten digitalen Material der Vermessungsbehörden gearbeitet werden. Historische Karten müssen jedoch umsichtig selbst bearbeitet werden. Dabei ist über die zu wählenden Passpunkte (Gitterkreuze oder „robuste“ Kartenobjekte) für jede historische Karte spezifisch zu entscheiden.

3.1.4 Entzerren und Mosaikbildung

Luftbilder und Karten werden nun auf ein gemeinsames Koordinatensystem entzerrt. Das entspricht einem in der Fernerkundung üblichen Resampling, wobei hier nochmals an die Zusammenhänge zwischen Ausgangsmaßstab des Luftbild- und Kartenmaterials, der (physikalischen!) Auflösung des Scans und dem resultierenden Ergebnis (Pixelgröße und Entzerrungsfehler) erinnert werden soll. Die fotografischen Bedingungen historischer Luftbilder (mehrfaches Umkopieren und Papierverzug) und deren geometrische Unbestimmtheit münden schnell in unvermeidbaren RMS-Fehlern von mehreren Metern. Im Falle der Luftbildkarte des Deutschen Reichs tritt zusätzlich die Unkenntnis über die Produktion dieses entzerrten und montierten Luftbildmosaiks hinzu.

Die digitalen Karten müssen ggf. auch einer Koordinatentransformation unterzogen werden. Die Standard-Bildverarbeitungsprogramme bieten nicht immer alle notwendigen Modelle. Hilfreich können

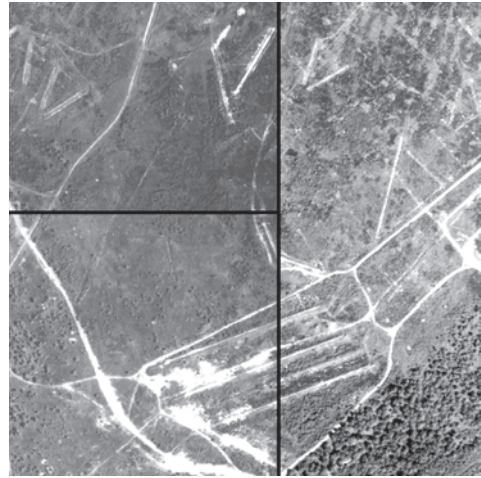


Abb. 2: Detail aus Luftbildmosaik.

hierbei z. B. Programme wie TRANSDAT oder WGEO werden.

Die Erzeugung von Bildmosaiken wird je nach räumlichem Bedarf vorgenommen. Da sich geometrische Abweichungen zwischen den Bildübergängen (Spannungen) auf Grund der nur angenäherten Entzerrung ergeben, sollten diese auch nicht verschwiegen, sondern bewusst kenntlich gemacht werden.

3.1.5 Kompositbildung und -auswertung

Die geometrisch und radiometrisch aufbereiteten Karten- und Luftbildszenen werden nun jeweils einem Bildkanal eines n-kanaligen Bildes zugewiesen. Es entsteht ein georeferenzierter und visuell optimierter Fundus, aus dem je nach Auswerteziel beliebige Ebenen (Kanäle) ausgewählt und einem Kanal eines RGB-Bildes zugeordnet werden kann. Ergebnis ist ein Bild, das am Rechner wahlweise als Farbkomposit oder einkana-

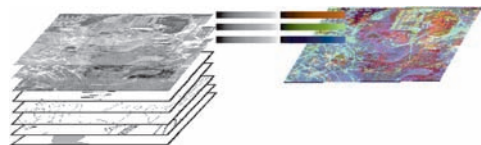


Abb. 3: Prinzip der Kompositbildung.

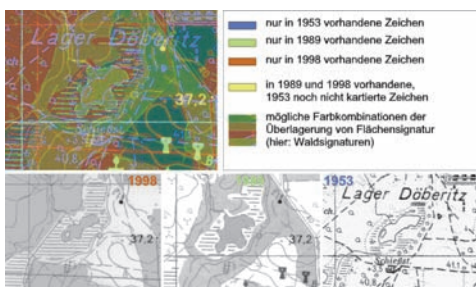


Abb. 4: Kartenkomposit.

lig als Grauwertbild betrachtet und zur Optimierung digital weiterverarbeitet werden kann.

Je nach Zusammenstellung der Kompositen resultiert für den Betrachter ein anfangs mehr oder weniger verständliches Bild. Werden nur Karten kombiniert, sind die Farbstellungen leicht den Kanälen (Karten) zuzuordnen. Mischfarben resultieren aus Grautönen, lasierenden Farben, Schraffuren u. Ä.



Abb. 5: Luftbildkomposit.

Schwieriger ist das Lesen eines Luftbildkomposites in dieser Form. Das eingängige RGB-Farbmodell gestattet aber auch hier ein rasches Verständnis. So ist schnell klar, dass dominant rote Bereiche resultieren, wenn im roten Kanal hohe Grauwerte (hohe Reflexion) bei deutlich geringeren Werten in den Kanälen blau und grün vorliegen. In dem Fall könnte es sich um einen Bereich handeln, der im roten Kanal offene Sandfläche zeigt, während in den anderen Szenen geringer reflektierende Vegetation vorherrscht.

Nach einem derartigen Schlüssel lassen sich auch die RGB-Mischfarben erklären und interpretieren. Dieser Vorgang sollte aber vorwiegend der visuellen Interpretation vorbehalten bleiben, da aus o. g. Gründen die radiometrischen Bedingungen der Aufnahmen nicht vergleichbar gemacht werden können, um darauf eine rechnergestützte Klassifizierung aufzubauen. Insofern ist die intelligente und erfahrene Interpretation Voraussetzung für ein solides Auswertergebnis.

Näheres zum Interpretationsvorgang:

http://www.tu-berlin.de/fb7/ile/fg_natur/fprojekte/Projekt.html

Je nach Auswertezweck sind verschiedene Kombinationen der Bild- und Kartenebenen sinnvoll. Aus dem Fundus sind direkt jeweils drei Ebenen auszuwählen und den RGB-Kanälen zuzuordnen. Dieser Vorgang ist gut zu handhaben, da durchgängig nur mit Rasterdaten gearbeitet wird. Durch Vorverarbeitung der Bildkanäle sind auch Kombinationen von mehr als drei Bildebenen leicht herzustellen.

3.2 Auswertebispiel Dallgow-Döberitz

Ehemalige Truppenübungsplätze (TÜP) der DDR waren Mittelpunkt vieler Untersuchungen, galten sie doch bis 1990 für die meisten Planer und Fernerkundler als black box, da Luftbilder dieser Bereiche ab 1958 geschwärzt und Karten nicht auf dem aktuellen Stand bzw. stark generalisiert waren. Daher rührt ein weiter bestehendes Defizit an Kenntnissen zur Genese dieser Flächen,

die sowohl Altlasten als auch Refugien bedrohter Pflanzen und Tiere bergen.

3.2.1 *Material und Verarbeitungsprozess*

Zunächst standen nur CIR-Bilder des Jahres 1992, die russische Befliegung 1953, die deutsche Luftbildkarte 1941 sowie die TK 25 (AS) vom LVA Brandenburg zur Verfügung. Später konnten zusätzlich noch historische Karten von 1903, 1939 und 1956 (Staatsbibliothek zu Berlin) als auch die vom LVA erstellten Luftbildkarten von 1993 und 1996 einbezogen werden. Bislang letztes aktuelles Fundstück (Berlin-Archiv) ist eine flächendeckende Ballon-Luftbildkarte des TÜP aus dem Jahre 1923.

Die Unterschiedlichkeit der Maßstäbe, Formate, Kontraste und kartographischen Bedingungen muss hier nicht betont und kann nicht näher erläutert werden. Jedes Material erforderte eine eigene geometrische und radiometrische Behandlung, um in ein aufschlussreiches Komposit einfließen zu können. Insofern handelt es sich nicht um ein formalisiertes und operationalisiertes Verfahren.

Die Luftbilder wurden mit 400 dpi eingelesen, was auf Grund der Bildmaßstäbe zu Pixelgrößen zwischen 0,8 m (Szene 1992) und 2,8 m (Szene 1941) führte. Die Georeferenzierung erwies sich mit den anfangs verfügbaren Materialien (ohne GPS-Einsatz) trotz einfachen und bekannten Reliefs als schwierig. Überraschenderweise haben sich einige alte Wegekrenzungen (durchaus nicht alle) und bestimmte Vegetationsgrenzen als passpunktfähig erwiesen, da sie in aktuellen Luftbildern wiederzufinden waren. Besondere Vorsicht ist offenbar beim Abgreifen von Gebäudeecken aus Karten geboten. Im Falle des TÜP Dallgow-Döberitz sind diese besonders unzuverlässig kartiert. Auch das beliebte Passpunktobjekt „einzeln stehender Baum“ kann ggf. auf Grund kartographischer Verdrängung problematisch sein.

Ungleich leichter und zuverlässiger ist die Georeferenzierung, wenn auf ein Orthobild

oder ein Produkt wie die TK-L aufgebaut werden kann.

Die Luftbilder und Karten wurden anschließend auf eine gemeinsame optische Auflösung (Pixelgröße) von 2,8 m umgerechnet, da das für die Auswertung der ca. 50 km² großen Fläche hinreichend und zur Datenreduzierung notwendig war.

3.2.2 *Ergebnisse und Interpretationsbeispiele*

Die systematische Auswertung aller Szenen ist noch nicht abgeschlossen. Zusammenfassend kann man aber davon ausgehen, dass über den Untersuchungszeitraum zwischen 1941 und 1992 ein lokal außerordentlich reger Nutzungswandel stattgefunden haben muss.

Es sind neben flächenhaften Erweiterungen beispielsweise von Schießplätzen auch „Brachfallen“ von zuvor militärisch genutzten Flächen zu erkennen, die heute selbst im aktuellen Luftbild nur noch mit Mühe erkennbar sind. Bodenuntersuchungen, besonders bei einigen dieser Flächen, sind angebracht. Auffällig ist auch eine Verlagerung von Panzertrassen um einige Meter neben die alten, besonders im Zeitraum zwischen 1953 und 1992.

Andere Flächen zeigen demgegenüber eine nahezu ungestörte natürliche Entwicklung, die sich in einem mehr oder weniger intensivem Aufwuchs von Wald oder Vorwaldstadien dokumentiert. Inwieweit die gelegentlich auf diesen Flächen tätigen Forstbetriebe Einfluss ausübten, kann nur noch vermutet werden. Hier finden sich Areale, die sich für den militärischen Übungsbetrieb wenig eignen – besonders auf Grund verminderter Tragfähigkeit des Grundes (Feuchträume). Natürlich und anthropogen verursachte schwankende Wasserstände in diesen Gebieten sind von den Sowjets z.T. reguliert worden, was bei der Bewertung der Natürlichkeit berücksichtigt werden muss.

Bereiche mit Trocken- und Magerstatus sind – so weit sich das aus den Bildern entnehmen lässt – in der Regel auch militärisch genutzt worden. D.h., sie sind durch Fahrzeuge oder Truppen häufig so intensiv

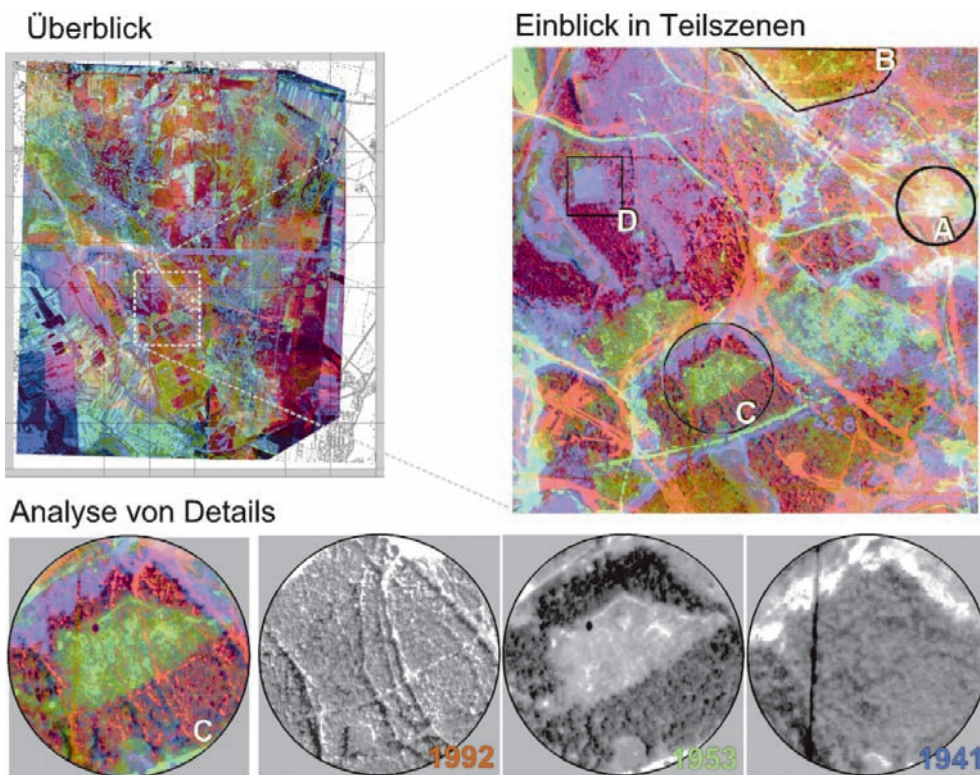


Abb. 6: Ergebnisbeispiel für Überblick – Teilszene – Detail „C“.

genutzt worden, dass hier nicht von einer natürlich offen gebliebenen Landschaft gesprochen werden kann. Die Flächen eigneten sich offensichtlich auf Grund ihrer vergleichsweise schwachen Neigung zur Verbuschung besonders gut für militärische Übungen.

Exemplarisch für die Möglichkeiten der Auswertung der Luftbildkomposite soll hier die Zusammenstellung des Überblicks (ca. 50 km²), einer Teilszene (ca. 4 km²) und eines Details (ca. 4 ha) stehen.

4 Fazit

In verschiedenen Anwendungsbereichen besteht ein vielfältiger Bedarf an vergleichenden Auswertungen von historischem und aktuellem Luftbild- und Kartenmaterial. Dieser kann zum Teil auch jenseits photogrammetrischer Genauigkeit mit einfacher

digitaler Bildentzerrung und Weiterverarbeitung befriedigt werden.

Das einfache, relativ schnell durchführbare und bereits mehrfach erprobte Verfahren (u. a. SCHMALZ 2000, NOCKER 2000, RIEPE 2001) ist geeignet, Bild- und Kartenmaterial für viele Nutzer ohne entsprechende photogrammetrische Technik mit vertretbarem Aufwand auswertbar zu machen, da Veränderungen hinreichend genau und grafisch prägnant sichtbar werden. Auch den sich rasch verändernden Entwicklungen der Datenaufnahme und Bildanalyse wird das Verfahren gerecht, da es allein auf Rasterdaten aufbaut.

Das Auswertziel sollte bestimmen, wie weit man dem „Segen“ der digitalen Bildverarbeitung weiter nachgeht (z. B. Maskieren, Schwellenwertoperationen, Kantenextraktionen usw.). In Anbetracht der Überraschungen, die bei der großflächigen und

räumlich detaillierten Auswertung möglich sind, sowie dem breiten historisch-geographischen und planerischen Anwendungsfeld erscheinen viele Methoden der Bild- und Geoinformationsverarbeitung angebracht.

Der begründeten Forderung erfahrener Interpreten nach einer „ganzheitlichen Luftbildinterpretation“ (SCHNEIDER 1989, nach TROLL 1942) – heute eher als „interdisziplinär“ bezeichnet – könnte man weiter entgegenkommen, da sowohl die Urdaten als auch fachspezifische Interpretationen mehreren Nutzern gleichzeitig zugänglich und verifizierbar gemacht werden können.

Literatur

- BACHER, S., 1999: Kulturhistorische Landschaftselemente in Brandenburg – Entwässerungssysteme am Beispiel des Oderbruchs. – Verlag für Wissenschaft und Forschung, Berlin.
- BANZHAF, E. & KASPERIUS, H. D., 1998: Erfassung und Auswertung der Landnutzung und ihrer Veränderungen mit Methoden der Fernerkundung und geographischen Informationssystemen im Raum Halle-Leipzig-Bitterfeld. – UFZ-Bericht; 174 S., Umweltforschungszentrum Leipzig–Halle–Bitterfeld.
- BECKER, W., 1998: Die Eigenart der Kulturlandschaft. – Bedeutung und Strategien für die Landschaftsplanung. – Verlag für Wissenschaft und Forschung, 281 S., Berlin.
- BLASCHKE, T., 1997: Map Algebra und Fuzzy Logic in Behörden? Potenzial und Akzeptanz von GIS-Analysen bei Einbeziehung von räumlicher Unschärfe. – Geo-Informationssysteme, **10** (6): 3–12.
- BÜSCHING, J. P., 2000: Konversion der Militärflächen auf der Halbinsel Wustrow – Landschaftsplanerisches und Städtebauliches Konzept für den Kasernenkomplex. – Dipl.-Arbeit TU Berlin, FB 7, Institut für Landschaftsentwicklung, FG Landschaftsplanung/Landschaftspflege und Naturschutz, 97 S.
- CARLS, H.-G., GLASER, R. & HECK, H.-G., 2000: Luftbilder 1938–1958 zur Bundesrepublik Deutschland. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation, **2000** (1): 33–48.
- DECKER, A., DEMUTH, B., FÜNKNER, R. & BAYER, C., 2001: Planerische Bewältigung der Folgen von Natura 2000 und der EU-Agrarpolitik für die Kulturlandschaft – Prozessschutzansätze als Instrument von Naturschutz und Landschaftsplanung? – Natur und Landschaft, **76**(11): 469–476.
- FRITSCH, D., GLEMSER, M., KLEIN, U., SESTER, M. & STRUNZ, G., 1998: Zur Integration von Unsicherheit bei Vektor- und Rasterdaten. – Geo-Informationssysteme, **11** (4): 26–35.
- GRUEHN, D. & KENNEWEG, H., 1998: Berücksichtigung der Belange von Naturschutz und Landschaftspflege in der Flächennutzungsplanung. – Angewandte Landschaftsökologie **17**, 516 S., Bad Godesberg.
- HAACK, E., 1996: Dokumentation über die Herstellung und Fortführung der amtlichen topographischen Kartenwerke der ehemaligen DDR (1945–1990). – Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen. R.1.(116.), 59 S., Frankfurt/ M..
- HILDEBRANDT, G., 1996: Fernerkundung und Luftbildmessung für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. – 1. Aufl., 676 S., Wichmann, Heidelberg.
- JÜRGENS, C., 2000: Change Detection – Erfahrungen bei der vergleichenden multitemporalen Satellitenbilddauswertung in Mitteleuropa. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation, **2000** (1): 5–18.
- KENNEWEG, H., 1996: Methodische Beiträge der Luftbildmessung und der Luftbildinterpretation bei der Altlastensuche. – UBA-Materialiensammlung. „Möglichkeiten und Grenzen der luftbildgestützten Erfassung und Erstbewertung von Altlastverdachtsflächen“, Berlin, 66–71.
- KRAKAU, W., 1994: Die großmaßstäbigen topographischen Kartenwerke 1:10000 und 1:25000 des Landes Brandenburg. – Kartographische Nachrichten, **44** (2): 45–54.
- KUSSEROW, H. & HAENISCH, H., 1999: Monitoring the dynamics of „tiger bush“ (brousse tigrée) in the West African Sahel (Niger) by a Combination of Landsat MSS and TM, SPOT, arial and kite photographs. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation, **1999** (2): 77–94.
- Landesumweltamt Brandenburg, 1995: Biotopkartierung Brandenburg. – Kartieranleitung. – 2. Aufl.; 128 S., Potsdam.
- Landesvermessungsamt Brandenburg, 1996: Musterblatt für die Topographische Karte 1:10000. – 1. Aufl., 100 S., Potsdam.
- Landesvermessungsamt Brandenburg, 2001: Bildflugübersicht; Potsdam.
- NOCKER, U., 2000: Landnutzungsplanung in Savannengebieten, Beitrag der digitalen Fernerkundung zum Nachweis von Veränderungen und der Erfassung planungsrelevanter Daten. – Dipl.-Arbeit TU Berlin, FB 7, Institut für Landschaftsentwicklung, FG Landschaftsplanung/Landschaftspflege u. Naturschutz; 96 S.

- OSTER, M. & SPATA, M., 1999: Welche Auswirkungen auf die topographischen Landeskartenwerke Deutschlands hat die Umstellung auf ein neues Koordinatensystem und auf eine neue Abbildung? – Kartogr. Nachrichten. **49** (3): 110–115.
- RIEPE, E., 2001: Image Fusion. Verbesserte Luftbildauswertung im Rahmen der Altlastenerfassung insbesondere bei großflächigen militärischen Altlasten. – Dipl.-Arbeit BTU Cottbus, Lehrstuhl Altlasten.
- SCHMALZ, D., 2000: Auswirkungen agrarpolitischer Entscheidungen in Peru auf die Landnutzungsstrukturen im südlichen peruanischen Andenhochland. – Internet-Veröffentlichung. – in: Landschaftsplanung.NET, Ausgabe 03/2000, http://www.lapla-net.de/texte/03_00/schmalz/schmalz.pdf
- SCHNEIDER, S., 1989: Die „Geographische Methode“ in der Luftbildinterpretation – nur eine historische Reminiszenz? – Bildmessung und Luftbildwesen, **57** (4): 139–148.
- SEYFERT, E., 1994: Die Aufgaben des Landesluftbildarchivs. – Brandenburg Kommunal, Nr. **9**: 14–15.
- SEYFERT, E., 1997: Der weitere Aufbau von ATKIS im Land Brandenburg. Vermessung Brandenburg. – Sonderheft 1997, ATKIS-Workshop: 5–13.
- THORMEIER, K., 2000: Konversion der Militärflächen auf der Halbinsel Wustrow – Konzept zur Umsetzung des Arten-, Biotop- und Landschaftsschutzes. – Dipl.-Arbeit TU Berlin, FB 7, Institut für Landschaftsentwicklung, FG Landschaftsplanung/Landschaftspflege u. Naturschutz, 120 S.
- WÖBSE, H.H., 1994: Schutz historischer Kulturlandschaft. – Beiträge zur räumlichen Planung, **37**, Hannover, 124 S.

Anschriften der Verfasser:

Dr. rer. nat. RALF KALKE
 TU Berlin, Inst. für Landschafts- und Umweltplanung. Sekr. FR 2–6, Franklinstr. 28/29, D-10587 Berlin.
 Tel.: 030-314 73 215, Fax: 030-314 23 507
 e-mail: kalke@ile.tu-berlin.de
http://www.tu-berlin.de/fb7/ile/fg_natur/fprojekte/pro_kalke.htm

Prof. Dr. rer. nat. HARTMUT KENNEWEG
 TU Berlin, Inst. für Landschafts- und Umweltplanung. Sekr. FR 2–6, Franklinstr. 28/29, D-10587 Berlin.
 Tel.: 030-314 73 491, Fax: 030-314 23 507
 e-mail: kenneweg@ile.tu-berlin.de
<http://www.tu-berlin.de/~lln>

Dr.-Ing. ECKHARDT SEYFERT
 Landesvermessungsamt Brandenburg
 Heinrich-Mann-Allee 103, D-14473 Potsdam
 Tel.: 0331-8844-113, Fax: 0331-8844-126
 e-mail: Eckhardt.Seyfert@LVERMAP.brandenburg.de, <http://www.lverma-bb.de/>

Manuskript eingereicht: November 2001
 Angenommen: November 2001

CORONA-Satellitenbilder als Grundlage zur Erstellung Digitaler Höhenmodelle (DHM)

ANGELA ALTMAIER & CHRISTOPH KANY, Bonn

Zusammenfassung: Digitale Höhenmodelle (DHM) werden heute verstärkt für Untersuchungen in den Umweltwissenschaften eingesetzt, beispielsweise für Erosions- und Abflussstudien. Die dafür nötigen Luftbilder oder Karten liegen jedoch – teils aus finanziellen Gründen – nicht für alle Gebiete der Erde vor. So ebenfalls nicht für das IMPETUS-Projektgebiet in Marokko. Daher bieten hierfür Stereo-Satellitenbilder des Kamerasystems CORONA mit einer räumlichen Auflösung von 1,8 m eine ausgezeichnete Grundlage. Die Software-Programme IMAGINE OrthoBASE Pro™ oder VirtuoZo 3.2 ermöglichen nun, daraus automatisch Digitale Höhenmodelle zu erstellen, mit einer mittleren Höhenabweichung von kleiner 20 m. Aus den Höhenmodellen und den photogrammetrisch aufbereiteten Daten lassen sich u. a. Orthophotos generieren, die dann beispielsweise für die Erstellung von thematischen Karten oder zur Berechnung von Landnutzungsänderungen über mehrere Jahre verwendet werden können.

Summary: *Digital Elevation Models (DEMs) based on CORONA satellite images.* Digital Elevation Models are used for various analysis in environmental science, e. g. for erosion and water studies. Aerial photographs and maps which are necessary for the extraction of DEMs often do not exist, sometimes because of financial reasons. This situation can be found in Morocco concerning the project IMPETUS. Therefore the stereo satellite images of CORONA give a great chance for DEM extraction as they have a ground resolution of 1.8 m. The software programmes ERDAS-Orthobase-Pro and VirtuoZo 3.2 now make it possible to extract DEM automatically of these satellite images with a mean height difference of less than 20 m. These DEMs could be used afterwards to create orthophotos, e. g. to generate thematic maps or land use classifications of several years.

1 Einleitung

Für viele Fragestellungen der Umweltanalyse und der Umweltwissenschaften sind Digitale Höhenmodelle (DHM) zu einer wesentlichen Grundlage geworden. So bilden sie beispielsweise den Ausgangspunkt für Analysen zu Erosions- und Abflussdynamik, Vegetationsänderung oder Strukturwandel. Dazu kann einerseits die 3D-Sichtweise des Höhenmodells als solche in verschiedenen Software-Programmen ausgewertet werden (z. B. durch digitales Erfassen von Geländekanten). Andererseits können aus Höhen-

modellen und den photogrammetrisch aufbereiteten Bilddaten Orthophotos erstellt werden, die wiederum die Grundlage zu thematischen 2D-Auswertungen und kartographischen Darstellungen bieten. Bei beiden Auswertemethoden des Digitalen Höhenmodells spielt meist die zeitliche Veränderung eine große Rolle: Aussagen von Höhenmodellen oder Orthophotos aus verschiedenen Jahren oder Jahrzehnten können miteinander verglichen werden, beispielsweise von den IKONOS-Satellitenbildern bis zu den 30 Jahre älteren CORONA-Satellitenbildern.

1.1 Forschungsprojekt und DHM-Einsatz

Diese genannten Einsatzmöglichkeiten eines DHM sowie das aktuelle Forschungsvorhaben IMPETUS waren technische wie auch ideelle Motivationsgründe für die vorliegende Arbeit. IMPETUS steht dabei für ‚Integratives Management-Projekt für einen Effizienten und Tragfähigen Umgang mit Süßwasser in West-Afrika‘ (IMPETUS 2001 b). Es handelt sich dabei um ein interdisziplinäres und anwendungsbezogenes Forschungsvorhaben, dessen Ziel in der Einrichtung eines nachhaltigen Wassermanagements in Westafrika besteht. Voraussetzungen, Einflussfaktoren und Umsetzungsmöglichkeiten dieses Managements werden beispielhaft an zwei Einzugsgebieten in Westafrika erforscht. Eines der Einzugsgebiete liegt mit dem Fluss Drâa in Süd-Marokko. Es beginnt am Südabhang des Atlasgebirges und erstreckt sich bis in Wüsten-Übergangsbereiche an der marokkanisch-algerischen Grenze (Abb. 1). Motivationsgründe zur Einrichtung des IMPETUS-Forschungsprojektes sind mögliche Wechselwirkungen zwischen den Klimaten Afrikas und Europas mittels atmosphärischer Telekonnectionsprozesse sowie Zu-



Abb. 1: Einzugsgebiet des IMPETUS-Projektes in Marokko (in schwarz) (IMPETUS 2001a, S. 8).

sammenhänge zwischen den langanhaltenden Dürreperioden nördlich und südlich der Sahara. Daher bilden der hydrologische Kreislauf und das Frischwasserdargebot den Ausgangspunkt der Untersuchungen. Dabei besteht ein besonderes Interesse in der Unterscheidung von klimatologischen und sozioökonomischen Einflussfaktoren auf den Wasserkreislauf, ihres Ursprungs und ihrer Auswirkungen.

Für die Forschungsarbeiten fast aller Bereiche dieses IMPETUS-Projektes bieten Digitale Höhenmodelle wiederum eine Analysegrundlage, ähnlich wie sie eingangs allgemein skizziert wurde. Hydrologische wie geologische, meteorologische wie städtebauliche Arbeitsbereiche benötigen Digitale Höhenmodelle als Ausgangspunkt für Studien zu beispielsweise Abfluss-, Erosions- oder Bebauungsänderung.

1.2 Neue Methode der DHM-Generierung

Üblicherweise stellen Karten und Luftbilder die Ausgangsmaterialien für die Erstellung von Digitalen Höhenmodellen dar. Für Marokko sind Luftbilder und Kartenmaterialien jedoch kaum vorhanden. Nur für einige Teile des Forschungsgebietes existieren topographische Karten im Maßstab 1 : 100 000 aus den 1960er Jahren. Zu den Ursachen für das Fehlen dieser Grundlagen gehören zum einen finanzielle Probleme, zum anderen sicherheitspolitische Restriktionen. Dennoch ist wachsendes Interesse an GIS- und Fernerkundungsmethoden und der Beginn von Arbeiten in diesen Bereichen in vielen marokkanischen Institutionen festzustellen.

Vor diesem Hintergrund bietet eine neue Methode zur DHM-Generierung große Vorteile: Die DHM-Erstellung mittels der hochauflösenden CORONA-Bilder. Diese Bilder wurden vom CORONA-Satelliten von 1960–1972 im panchromatischen Bereich als Stereo-Bilder mit einer Auflösung von 1,8 m aufgenommen. Sie sind seit 1995 beim USGS (United States Geological Survey) preisgünstig zu beziehen. Besonders für Länder wie z. B. Marokko bieten diese CORONA-Bilder eine Alternative zur her-

kömmlichen DHM-Generierung. Erst wenige Software-Programme machen heute eine Generierung von Digitalen Höhenmodellen aus CORONA-Bildern möglich.

In der vorliegenden Untersuchung wurden daher zwei unterschiedliche Software-Programme, IMAGINE OrthoBASE Pro von ERDAS und VirtuoZo 3.2, für ein Teilgebiet des Drâa-Einzugsgebietes getestet und ihre Ergebnisse bezüglich Genauigkeit und Aufwand evaluiert.

Insgesamt ist eine DHM-Erstellung im Hinblick auf das gesamte IMPETUS-Projektgebiet, das Drâa-Einzugsgebiet, ange-dacht. Da das Drâa-Einzugsgebiet nicht nur große Ausmaße annimmt, sondern auch weit in das Atlasgebirge hineinreicht, steht

demnach bei der Erstellung eines DHM die Berücksichtigung eines großen und komplex strukturierten Gebietes im Vordergrund. Wie sich im Laufe der Arbeit zeigen wird, folgen daraus bestimmte Restriktionen und Voraussetzungen für die Anwendung der Software-Programme. Somit besteht das Ziel, ein DHM für ein möglichst großes Gebiet unter möglichst geringem zeitlichen und finanziellen Aufwand (z. B. nur ein Feldaufenthalt, möglichst geringe, jedoch genaue DGPS-Vermessung) zu erstellen.

1.3 Testgebiet

Für erste Tests zur Erstellung eines DHM mit der genannten Software wurde jedoch nur ein kleiner Ausschnitt des Drâa-Einzugsgebietes als Untersuchungsgebiet ausgewählt. Dieses Testgebiet befindet sich am südlichen Abhang des Atlasgebirges wenige Kilometer nördlich des kleinen Ortes Skoura und besitzt eine Größe von ca. 100 km² (Abb. 2, 3, 4). Für die DHM-Generierung wurde das Testgebiet in eine Nord- und eine Südhälfte gesplittet, da es auf den Afterward-CORONA-Bildern auf zwei Streifen zu liegen kam (siehe unten). Geologisch befindet sich das Testgebiet im Übergangsbereich vom Hohen Atlas zum Becken von Ouarzazate. Der Hohe Atlas besteht aus einem varizischen Grundgebirgssockel mit einem aufgelagerten mesozoischen Deckge-

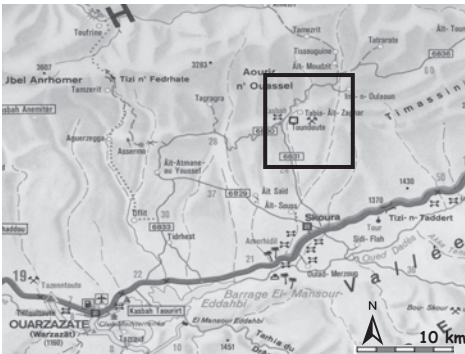


Abb. 2: Testgebiet Skoura, Marokko (umrahmt) (RV-Verlag o. J.).



Abb. 3: Blick in das Testgebiet gegen Norden (Foto: A. Altmaier).



Abb. 4: Blick in den Nordteil des Testgebietes gegen Nordosten (Foto: A. Altmaier).

birge und beinhaltet hauptsächlich Sand- und Kalkstein. Das Becken von Ouarzazate zieht sich südlich entlang dieses Hohen Atlas-Gebirges und enthält eine Füllung aus Kalk-, Sand-, Silt- und Tonstein. Aus hydrologischer Sicht gehört das Testgebiet zu einer Region unterdurchschnittlicher Regenmenge. Dadurch ist die natürliche mediterrane Vegetation im Testgebiet nur punktuell vorhanden oder fehlend, eine fluviale Erosion findet kaum statt. Die ackerbaulich genutzten Flussoasen bilden somit den meist einzigen vorhandenen Vegetationsbereich. Entlang dieser Flussoasen lassen sich nur vereinzelt kleine Dörfer in der typischen Lehm-bauweise finden. Für die GPS-Vermessung erwies sich die Vegetationsarmut und die geringe Besiedlungsdichte als Vorteil. Ebenso waren durch die geringe Vegetation und Erosion kaum negative Genauigkeitseinflüsse auf die DHM-Generierung vorhanden (IMPETUS 2001a).

2 CORONA – Satellitenbilder und GPS-Vermessung

2.1 CORONA-Satellitenbilder

Als Datengrundlage der DHM-Erstellung dienen Luftbilder des CORONA-Satelliten. Dieser stellt die erste Generation der US-Foto-Aufklärungs-Satelliten dar, gebaut von der US-Air Force und der US-Central Intelligence Agency (CIA). Der CORONA-Satellit nahm von 1960-1972 panchromatische Stereo-Bilder in einer maximalen Auflösung von ca. 1,8 m aus einer Höhe von 150 km auf (DAY et al. 1998, RUFFNER 1995, McDONALD 1995a, McDONALD 1995b, TRAPPAN et al. 2000). Dazu wurden von zwei Kameras, die in einem 30°-Winkel zueinander geneigt sind, gleichzeitig so genannte Forward- (in 15° gegen Flugrichtung geneigte Kameras) und so genannte Afterward-Bilder (in 15° zur Flugrichtung geneigt) erstellt (Tab. 1, Abb. 5). Anlass der Lancierung des CORONA-Satelliten war die Erforschung strategischer Waffenvorkommen der ehemaligen Sowjetunion. Darüber hinaus dienten die CORONA-Bilder

Tab. 1: Aufnahmeparameter des CORONA-Satelliten (USGS 2001).

System	CORONA KH-4B
Aufnahmedatum	Mai 1972
Kameratyp	Panchromatisch
Filmbreite	70 mm
Größe des aufgenommenen Gebietes	14 km × 188 km
Brennweite	60,69 cm
Bildauflösung	160 L/mm
Bodenauflösung	1,8 m
Flughöhe	150 km

der Kartenproduktion für das US-Verteidigungsministerium und anderen kartographischen Programmen der US-Regierung. Auf Grund der militärpolitischen Intention lag der Schwerpunkt der CORONA-Aufnahmen im Bereich Osteuropa und Asien. 1995 wurden die verfügbaren CORONA-Bilder von der US-Regierung für den öffentlichen Gebrauch freigegeben und können nun beim USGS erworben werden (USGS 2001). Die Aufnahmen liegen je nach Mission in unterschiedlichen Qualitäten vor. 40% der Bilder sind auf Grund einer starken Bewölkung nur bedingt nutzbar. Die in dieser Arbeit verwendeten CORONA-Bilder entstammen jedoch der letzten CORONA-

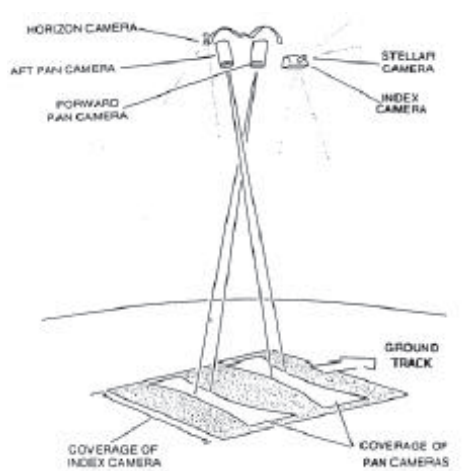


Abb. 5: CORONA-Kamerasystem (CAMPBELL 1996).

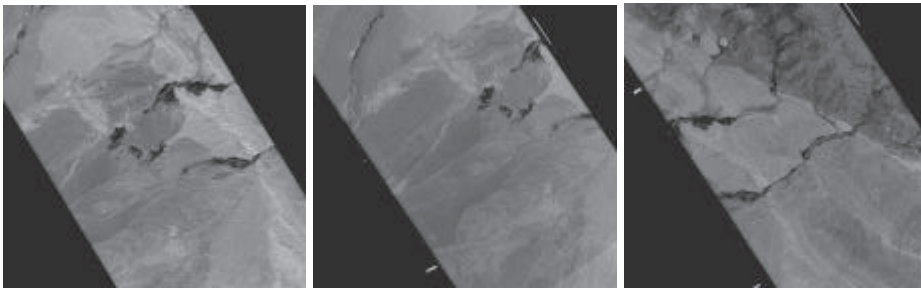


Abb. 6: Forward- und Afterward-Corona-Bilder (zweigeteilt) des Testgebietes in Marokko.

Mission, die zu den sehr erfolgreichen gehört und sich durch eine gute Bildqualität auszeichnet. Die benachbarten Filmstreifen überschneiden sich zu ca. 10 % in Nordsüd-Flugrichtung (USGS 2001). Somit ist eine vollständige Abdeckung des überflogenen Gebietes gesichert und eine Weiterverarbeitung benachbarter Filmstreifen möglich. Allerdings treten teilweise geometrische Verzerrungen oder Maßstabsdifferenzen zwischen den Stereopaaren auf (GOOSSENS et al. 2000).

Die verwendeten CORONA-Bilder wurden mit einem Desktop-Scanner in einer Auflösung von 1600 dpi und 2400 dpi für die weitere Verarbeitung gescannt.

Im Forward-CORONA-Bild liegt das gesamte Testgebiet auf einem Filmstreifen, im Afterward-Bild jedoch auf zwei benachbarten Streifen geteilt in Nord- und Südhälfte (ca. 30 % und 70 % der Fläche) (Abb. 6).

2.2 GPS-Vermessung

Als zweite Datengrundlage wurde im Projektgebiet eine GPS-Vermessung (Global Positioning System) mit einem Differenziellen GPS des Leica 300-Systems im März 2001 durchgeführt. Die aufgenommenen Daten dienen im Weiteren dem Vergleich für die Abschätzung der Höhenabweichung des automatisch mittels Software generierten DHM. Während der GPS-Vermessung wurden einerseits „Passpunkte“ an markanten Stellen aufgenommen, die anschließend in den Software-Programmen im digitalen CORONA-Bild als Ground Control Points

(GCP) gesetzt werden konnten. Andererseits wurden Hang- und Talkanten eingemessen, um daraus ein „Referenz-DHM“ zu Vergleichszwecken zu erstellen. Diese Einmessung erfolgte sowohl zu Fuß (in 10–20 m Abständen) als auch per Geländewagen (in 50 m Abständen), um eine Erfassung des gesamten Gebietes in relativ kurzer Zeit zu realisieren (Abb. 7, 8). Insgesamt wurden auf diese Weise ca. 5000 Punkte für das gesamte Testgebiet aufgenommen. Die Genauigkeit der Punkte liegt dank des DGPS im Zentimeterbereich. Während sich die Vegetationsarmut als günstig für die GPS-Vermessung erwies, wirkten die Unwegsbarkeit des Geländes, welches kaum durch Straßen



Abb. 7: Wege der GPS-Vermessung im Testgebiet von Skoura (in schwarz).



Abb. 8: GPS-Aufnahme mit dem DGPS Leica 300 in Marokko (Foto: A. Altmaier).

erschlossen ist, sowie die zeitlichen Restriktionen eher gegenteilig. Für die Aufnahme der Passpunkte mussten markante Stellen gefunden werden, die sich seit der CORONA-Bildaufnahme 1972 nicht verändert haben und somit sowohl heute als auch in den Luftbildern wiederzufinden waren. Dazu eigneten sich am besten Weg- oder Weg-Fluss-Kreuzungen. Da sich das Gebiet jedoch strukturell seit den CORONA-Aufnahmen verändert hat und da gewisse Höhenlagen oder abgelegene Gebiete nur schwerlich zu erreichen waren, konnten nicht in allen Teilbereichen des Testgebietes GCPs aufgenommen oder metergenau in den CORONA-Bildern wiedergefunden werden. Dies erwies sich jedoch in der folgenden DHM-Generierung (Triangulation) mittels Software als eine Grundvoraussetzung. Daher konnten nur bestimmte GCPs für eine erfolgreiche DHM-Erstellung verwendet werden.

3 Digitales Höhenmodell und Orthophoto

3.1 Digitales Höhenmodell

Zur automatischen Generierung des DHM wurden alternativ die zwei Software-Programme OrthoBASE Pro von ERDAS und VirtuoZo 3.2 eingesetzt. Auf Grund der oben dargestellten Zweiteilung des After-

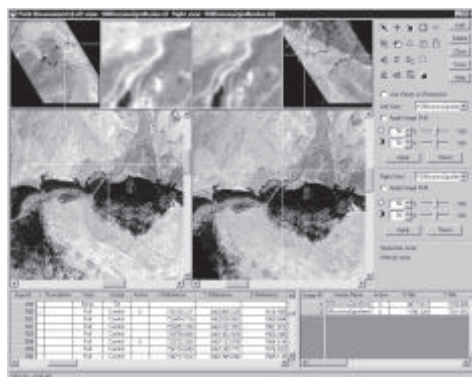


Abb. 9: Tie Points und GCPs in der OrthoBASE Pro-Arbeitsfläche.

ward-CORONA-Bildes für das Testgebiet wurden zwei separate DHM, für den Nordteil sowie den Südteil, mit OrthoBASE Pro erstellt und anschließend zu einem Mosaik zusammengefügt.

Der Vorteil der verwendeten Programme für die Auswertung von CORONA-Bildern liegt in der Möglichkeit, mit nur wenigen Kamera- und Bilddaten zu arbeiten. Da von CORONA auf Grund der nicht-metrischen Kamera nur ausgewählte Kamera- und Satellitendaten (z. B. Brennweite) bekannt sind, erlaubt OrthoBASE Pro ein Arbeiten mit der Eingabe von nur drei Parametern: Flughöhe von 150 km, Brennweite von 610 mm und Pixelgröße je nach Scan-Auflösung. In VirtuoZo 3.2 sind keine Input-Parameter erforderlich (SCHMIDT et al. 2001, GOOSSENS et al. 2001).

In OrthoBASE Pro werden nach der Eingabe der Input-Parameter die Forward- und Afterward-CORONA-Bilder eingeladen. Für diese beiden Satellitenbilder gilt es nun, ihre relative Orientierung zueinander und ihre absolute Orientierung zur Erde herzustellen (Abb. 9, HEIPKE 1997). Die relative Orientierung setzt die Bildkoordinaten beider Satellitenbilder in Beziehung. Dazu werden automatisch Tie Points als Verknüpfungspunkte in beiden Bildern gesetzt. Für den Nordteil des Testgebiets setzte OrthoBASE Pro ca. 200 Tie Points, für den Südteil ca. 400, meist gleichmäßig über die Fläche verteilt. Die Tie-Point-Suche erfolgt in

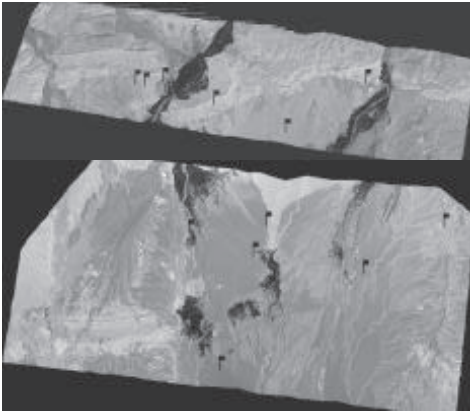


Abb. 10: Lage der GCPs im Nord- und Südteil des Projektgebietes.

OrthoBASE Pro automatisch über ein strukturbezogenes relationales Matching-Verfahren, welches auf den Beziehungen zwischen Objekten basiert und keine Orientierungsparameter benötigt (WANG o.J.). Tie Points besitzen nur Bildkoordinaten, ihre Erdkoordinaten müssen im Weiteren in der absoluten Orientierung berechnet werden.

Zur absoluten Orientierung bedarf es der Eingabe von mindestens drei Ground Control Points (GCP): zwei vollständige GCPs mit xyz-Koordinaten und ein GCP mit alleiniger z-Koordinate. Das ergibt insgesamt sieben Werte. Diese sind bei der späteren Orientierungserstellung nötig zur Berechnung von sieben unbekanntem Parametern: dem Maßstabsfaktor (der die Maßstabsdifferenz zwischen Bild- und Erdkoordinatensystem beschreibt), xyz-Koordinaten (welche die Positionsdifferenzen zwischen Bild- und Erdkoordinatensystem definieren) und den drei Rotationswinkeln (die die Rotationsbeziehung zwischen Bild- und Erdkoordinatensystem definieren) (ERDAS 1999). Die GCPs besitzen Erdkoordinaten und stellen so die Beziehung der Satellitenbilder und Bildkoordinaten zur Erdoberfläche her. Im vorliegenden Projekt bedurfte es für den Nordteil sieben GCPs, für den Südteil sechs. Diese wurden nach Lagegenauigkeit in den CORONA-Bildern sowie nach guter Verteilung in möglichst allen

Höhenlagen und Bildbereichen ausgewählt (Abb. 10).

In der folgenden Triangulation berechnet OrthoBASE Pro über Kollinearitätsgleichungen und Parallaxendifferenzen die fehlenden Parameter der externen Orientierung (Brennpunkt und Rotationswinkel), die Erdkoordinaten der Tie Points sowie ein feingliedriges Punktenetz als Grundlage der DHM-Generierung (MIKHAIL et al. 2001). Aus diesem Punktenetz erstellt OrthoBASE Pro durch Interpolation ein Digitales Höhenmodell sowie die zugehörigen Höhenlinien, in ESRI Shapefile- und ASCII-Format (Abb. 11).

Zur Evaluation der erstellten DHM bezüglich ihrer Genauigkeit in Höhe (z-Richtung) und Lage (x,y-Richtung) wurde ein Vergleich erstellt zwischen dem Höhenmodell der OrthoBASE Pro-generierten Punkten und dem Höhenmodell der GPS-vermessenen Punkte.

Das DHM des Nordteils erreichte nach automatischen Berechnungen von OrthoBASE Pro eine mittlere relative Höhengenaugigkeit von 12,5 m sowie eine Lagegenauigkeit von 2,5 m in x-Richtung und 2,7 m in y-Richtung mit einem Gesamt-RMSE von 0,58. Diese Höhengenaugigkeit konnte durch einen absoluten Vergleich mit den GPS-vermessenen Punkten bestätigt werden: Dazu wurden die Höhenwerte von 113 GPS-vermessenen Punkten mit in der Lage gleichgelegenen OrthoBASE Pro-generierten Punkten verglichen. Die mittlere Höhengenaugigkeit erlangt hierbei 13,5 m (Abb. 12). Die Genauigkeitswerte variieren dabei je nach Bildbereich in Abhängigkeit der Lage der GCPs (Abb. 12): Große Höhenungenauigkeiten entstehen in GCP-entfernten Gebieten (z. B. Ostteil) sowie in Berggebieten mit geringer GCP-Abdeckung (GCPs siehe Abb. 10).

Die Berechnungen für den Südteil ergaben folgende Werte: eine mittlere relative Höhengenaugigkeit von 21,6 m sowie eine Lagegenauigkeit von 4,8 m in x-Richtung und 5,7 m in y-Richtung nach Berechnungen von OrthoBASE Pro. Der Vergleich mit 70 GPS-vermessenen Punkten ergab eine mittlere Höhengenaugigkeit von 18,7 m

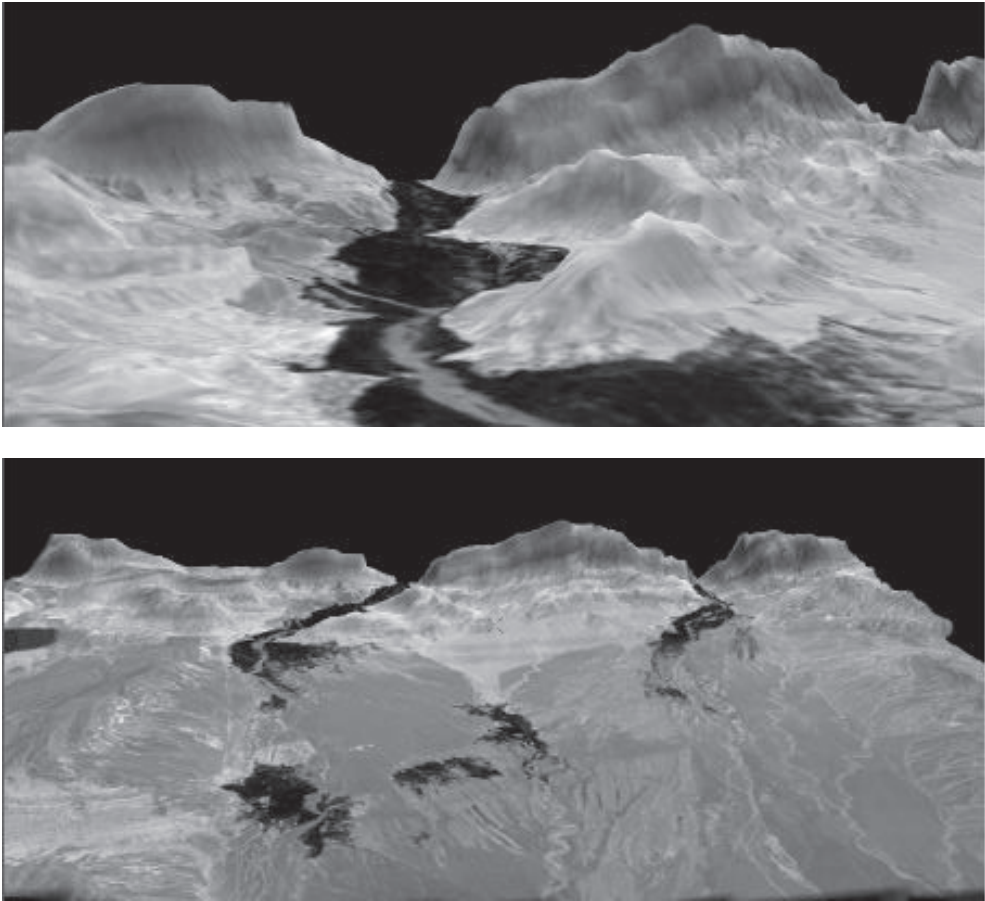


Abb. 11: Digitales Höhenmodell, erstellt mit OrthoBASE Pro von ERDAS, für das gesamte Testgebiet in Marokko (Mosaik): Gesamtansicht (unten) sowie Blick in den Nordteil (oben).

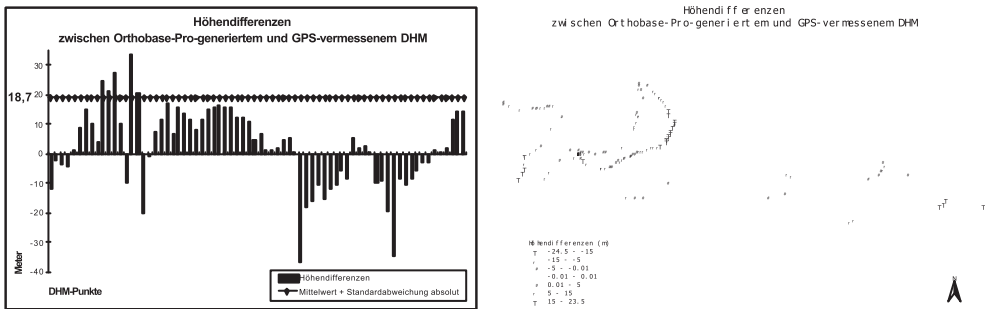


Abb. 12: Mittlere Höhengenaugigkeit des OrthoBASE Pro-generierten DHM für den Nordteil sowie räumliche Verteilung der Höhengenaugigkeit.

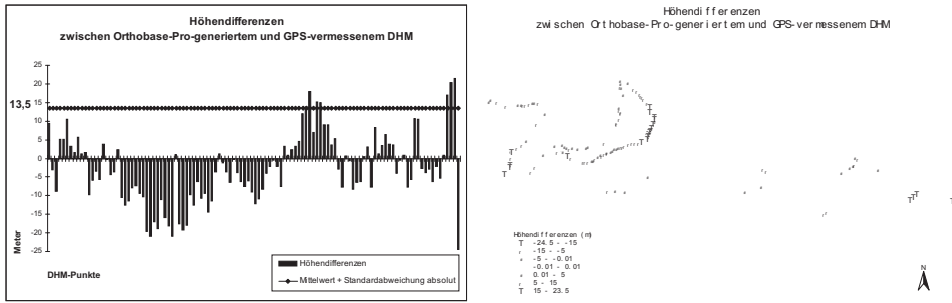


Abb. 13: Mittlere Höhengenaugigkeit des OrthoBASE Pro-generierten DHM für den Südteil sowie räumliche Verteilung der Höhengenaugigkeit.

(Abb. 13). Die etwas geringere Höhengenaugigkeit des Südteil-DHM im Gegensatz zum Nordteil-DHM liegt in der schlechteren GCP-Verteilung im Bezug auf die größere Fläche begründet: in den nicht abgedeckten Bildbereichen steigt die Höhengenaugigkeit auf über 30 m an (Abb. 13, 10):

Die Lagegenauigkeit des OrthoBASE Pro-generierten DHM konnte ebenfalls mit Hilfe eines Anaglyphenbildes, erstellt im ERDAS Stereo Analyst, visuell überprüft werden. Abb. 14 zeigt einen Ausschnitt aus dem Nordwestteil. Gleichzeitig ermöglicht dieses Anaglyphenbild eine 3D-Auswertung,

beispielsweise für Erosions- oder Abflussstudien mit Hilfe des digitalen Erfassens von Geländekanten.

Die mit OrthoBASE Pro erzielten Ergebnisse konnten in einem parallelen Test für den Nordteil mit der Software VirtuoZo 3.2 annähernd bestätigt werden. Das australische Programm verfolgt einen ähnlichen theoretischen und praktischen Ansatz wie OrthoBASE Pro. Im Vergleich mit den GPS-vermessenen Punkten konnte eine mittlere Höhengenaugigkeit von 19 m erreicht werden (Abb. 15, 16).

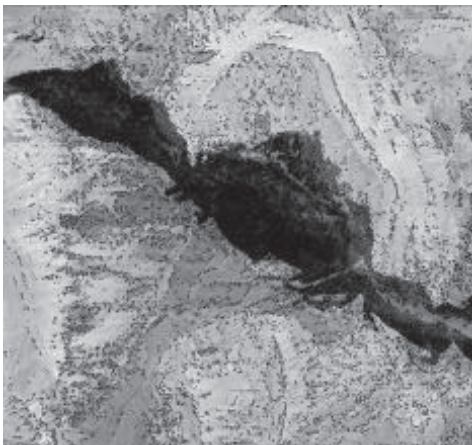


Abb. 14: Anaglyphenbild des OrthoBASE Pro-generierten DHM für den Nordteil (hier nur als sw-Druck).

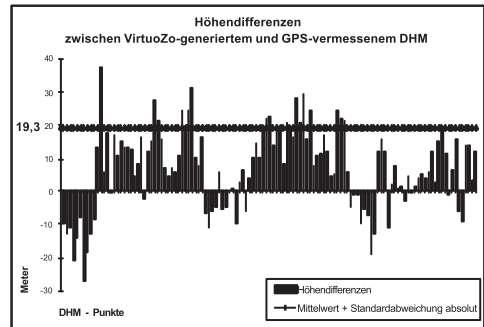


Abb. 15: Höhendifferenzen des VirtuoZo-generierten DHM für den Nordteil.



Abb. 16: Mit VirtuoZo 3.2 erstelltes DHM für den Nordteil des Testgebietes.

3.2 Abhängigkeit der DHM-Genauigkeit

Insgesamt konnte eine Abhängigkeit der DHM-Genauigkeit von folgenden Faktoren festgestellt werden: der GCP-Verteilung sowie -Genauigkeit und damit der Größe des Gebietes, dem Kontrastreichtum der Luftbild-Scans sowie der Übung und Erfahrung des Anwenders.

Besonders ausschlaggebend erwies sich die Verteilung und Genauigkeit der GCPs. In einem weiteren Test für den Nordteil konnte gezeigt werden, dass bei Konzentration der verwendeten GCPs in nur einem Teilbereich des Bildes für das Restgebiet des DHM sehr große Genauigkeitsabweichungen des generierten DHM von bis zu 60 m entstehen. In einem anderen Beispiel wirkten sich fehlende GCPs in den Bergregionen im Nordteil in einer extremen Lageverschiebung des Höhenzuges aus (Abb. 17). Wie bereits erwähnt, eignen sich außerdem nur metergenau in den CORONA-Bildern wiedergefundene GCPs für eine hochwertige DHM-Erstellung. Ein metergenaues Wiederfinden der GCP-Passpunkte im CORONA-Bild während des Feldaufenthaltes erweist sich jedoch oft als schwierig, da sich Strukturen seit der CORONA-Aufnahme verändert haben oder geeignete markante Punkte in den gering erschlossenen Berggebieten schwer zu finden sind. Zudem müssen

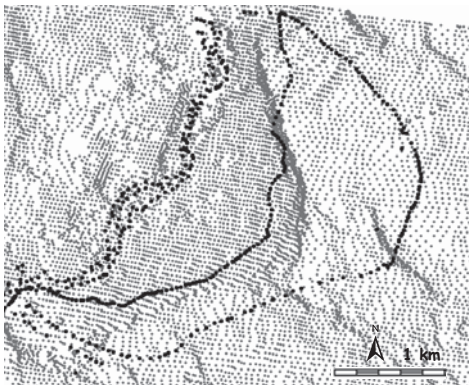


Abb. 17: Lageverschiebung des DHM-Höhenzuges (in grau) im Vergleich zu den GPS-vermessenen Punkten (in schwarz).

GCPs aus allen Höhenlagen und Bildbereichen vorhanden sein. Für größere Gebiete sind diese Eigenschaften der GCPs somit mit mehr Aufwand zu erfüllen als für kleinere, es sei denn, es ist nur eine gute bis mittlere Genauigkeit erwünscht.

Eine nicht unerhebliche Rolle für die Genauigkeit spielt ebenfalls die Qualität der Satellitenbilder-Scans, vor allem ihr Kontrastreichtum. Es konnte gezeigt werden, dass kontrastärmere Scans die Höhen-genauigkeit an den entsprechenden Stellen negativ beeinflussen.

3.3 Orthophotos

Mit der erfolgreichen DHM-Generierung sind die Voraussetzungen geschaffen für die Herstellung eines Satelliten-Orthophotos. Dabei wird das Satellitenbild über das Höhenmodell gelegt und lotrecht (orthogonal) zur Erdoberfläche abgebildet. Diese Orthophotos können sowohl aus den CORONA- als auch aus den IKONOS-Satellitenbildern hergestellt werden und anschließend als Grundlage für räumlich-zeitliche und thematisch-kartographische Analysen im interdisziplinären Einsatz dienen. Die CORONA-Satelliten-Orthophotos wurden in OrthoBASE Pro auf Grundlage der errechneten DHM erstellt. Dies ist ebenfalls für Mono-IKONOS-Satellitenbilder möglich, wenn ihnen ein Image Geometry Model (IGM) mit den nötigen Orientierungsparametern beigefügt ist. Dazu beinhaltet ERDAS 8.5 eine automatische Erkennung dieser von Space Imaging verschlüsselten IKONOS-Orientierungsparameter.

Das Genauigkeitspotenzial der CORONA-Orthophotos konnte durch einen visuellen Vergleich mit den GPS-vermessenen Punkten evaluiert werden. Für den Nordteil kann eine sehr hohe Genauigkeit erreicht werden: Ausgehend von einer aus dem Scanvorgang resultierenden Pixelgröße von ca. 4 m beträgt die Lagegenauigkeit der GPS-vermessenen Punkte ca. ein Pixel (Abb. 18) und damit ca. 4 m. Für den Südteil liegt die Genauigkeit des Orthophotos auf Grund des ungenaueren DHM etwas niedriger: Hier entsteht eine Differenz bezüglich der

GPS-vermessenen Punkte von ca. drei Pixeln und damit eine Genauigkeit von 10–15 m (Abb. 18).

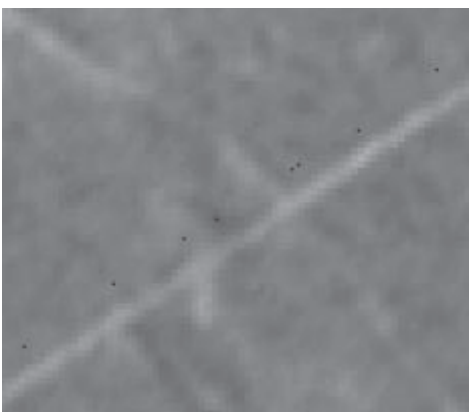
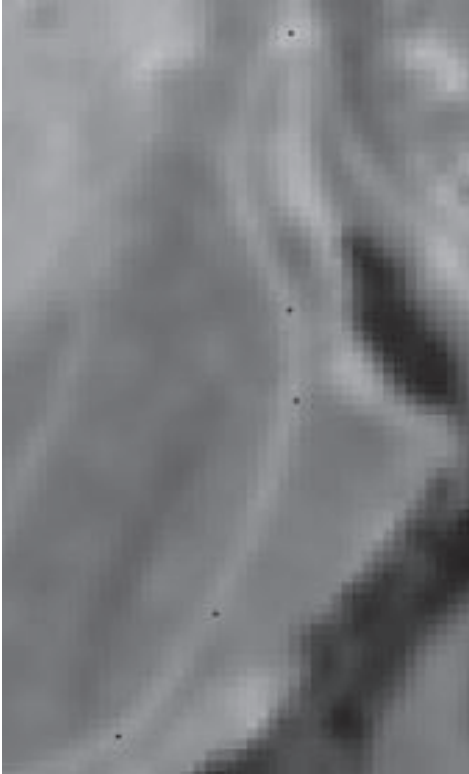


Abb. 18: CORONA-Satelliten-Orthophoto, erstellt in OrthoBASE Pro und überlagert mit GPS-vermessenen Punkten: Ausschnitt für den Nordteil (oben) und den Südteil (unten).

4 Resümee

Insgesamt stellen die verwendeten Software-Programme OrthoBASE Pro von ERDAS und VirtuoZo 3.2 eine einzigartige Möglichkeit dar, Digitale Höhenmodelle mit einer guten Genauigkeit ohne Totalvermessung aus CORONA-Bildern zu erstellen. Sicherlich kann dabei das in der dargestellten Arbeit durchgeführte Pilotprojekt in Südmarokko nur als ein Beispiel für den Einsatz der beschriebenen Software-Programme gelten und sollte daher nicht als ihre absolute Wertung angesehen werden. Das Ergebnis ist vielmehr vor dem Hintergrund der eingangs gestellten Zielsetzung zu sehen: möglichst große Genauigkeit bei möglichst geringem Aufwand und sehr großer Gebietsfläche. Diesbezüglich wurde in dieser Arbeit gezeigt, dass mit zwar nicht geringem Aufwand jedoch mittlere bis gute Ergebnisse selbst für größere Gebiete (100 km²) erzielt werden können. Die Modellierung des gesamten Projekt-Einzugsgebietes stellt jedoch weiterhin eine Herausforderung dar.

Selbst wenn heutige moderne Methoden wie HRSC und Laser Scanning die Möglichkeiten der DHM-Erstellung stark verbessern, so stellen die CORONA-Bilder dennoch weiterhin für bestimmte Gebiete, vor allem für Entwicklungsländer mit wenig Luftbild- und Kartenmaterial, eine preisgünstige Grundlage zur DHM-Generierung dar.

Danksagung

Für die Mithilfe zum Gelingen dieser Arbeit soll an dieser Stelle allen beteiligten Personen, Institutionen und Firmen ein herzliches Dankeschön ausgesprochen werden. Unterstützt wurde diese Arbeit vom BMBF (Projektnummer 07GWK02) und vom MSWF (Projektnummer 514-21200200), insbesondere von Herrn Prof. GUNTER MENZ und Dipl.-Geogr. MICHAEL SCHMIDT (RSRG Universität Bonn). Ein besonderer Dank gilt der Firma GEOSYSTEMS GmbH in Germering für die Bereitstellung der Software sowie der TU München (Herr CZAJA), der Leica-Vertretung Düsseldorf und Mün-

chen, Herrn FUHLBRÜGGE (Geodäsie Universität Bonn) und dem Vermessungsbüro Kany für GPS-Leihgaben und technische Beratung.

Literatur

- CAMPBELL, J.B., 1996: Introduction to remote sensing. – Taylor and Francis Ltd., London.
- DAY, D.A., LOGSDON, J.M. & LATELL, B., 1998: Eye in the sky, The story of the corona spy satellites. – Smithsonian, London.
- ERDAS (Hrsg.), 1999: ERDAS IMAGINE V8.4 OrthoBase™, Tour Guide. – Atlanta.
- GOOSSENS, R., DE MAN, J. & DE DAPPER, M., 2000: Research to possibilities of Corona-satellite-data to replace conventional aerial photographs in ge archaeological studies, practised on Sai, Sudan. – In: BUCHROITHNER, M.F., 2000: A decade of trans-european remote sensing cooperation. – Lisse/Netherlands, 257–262.
- GOOSSENS, R., SCHMIDT, M. & ALTMAIER, A., 2001: Extraction of a Digital Elevation Model (DEM) and ortho-images from CORONA KH4B data. – in press, Hannover.
- HEIPKE, C., 1997: Automation of interior, relative, and absolute orientation. – Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, **52**: 1–19.
- IMPETUS (Hrsg.), 2001a: IMPETUS Westafrika – Erster Zwischenbericht 2000. – Köln.
- IMPETUS (Hrsg.), 2001b: www.uni-koeln.de/globaler-wandel/impetus (Juli 2001).
- MCDONALD, R.A., 1995a: CORONA. – Photogrammetric engineering and remote sensing, **61**: 689–720.
- MCDONALD, R.A., 1995b: Opening the cold war sky to the public – declassifying satellite reconnaissance imagery. – Photogrammetric engineering and remote sensing, **61** (4): 385–391.
- MIKHAIL, E.M., BETHEL, J.S. & MC GLONE, J.C., 2001: Introduction to modern photogrammetry. – John Wiley and Sons, Inc., 479 S., New York.
- RUFFNER, K.C., 1995: Americas first satellite program. CIA history staff. – 362 S., Washington.
- RV-VERLAG (Hrsg.), o.J.: World-Länderkarte Marokko 1:800000. – Ostfildern.
- SCHMIDT, M., GOOSSENS, R. & MENZ, G., 2001: Processing techniques for CORONA satellite images in order to generate high-resolution digital elevation models (DEM). – Proceedings of the 21th EARSeL symposium, May 2001, Paris.
- TAPPAN, G.G., HADJ, A., WOOD, E.C. & LIETZOW, R.W., 2000: Use of Argon, Corona, and Landsat imagery to assess 30 years of land resource changes in west-central Senegal. – Photogrammetric engineering and remote sensing, **66** (6): 727–735.
- USGS (Hrsg.), 2001: <http://edcwww.cr.usgs.gov/webglis> (Juni 2001)
- WANG, J., o.J.: Fully Automatic Image Matching. – Atlanta.

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Geogr. ANGELA ALTMAIER
Geographisches Institut der Universität Bonn
Privat: Holzbachstr. 13
D-82110 Germering,
Tel.: 089-84 81 51 oder 0228-242 20 08
e-mail: angelaaltmaier@hotmail.com oder
a.altmaier@gmx.net

Vermessungstechniker CHRISTOPH KANY
Steinweg 32, D-53121 Bonn
Tel.: 0228-9628397 oder 0171-6120123
e-mail: christoph@kany.de

Manuskript eingereicht: Oktober 2001
Angenommen: November 2001

Ein 2.5D-GIS-Datenmodell durch Integration von DGM und DSM mittels Triangulationen – theoretischer und praktischer Vergleich von Algorithmen und ihrer Ergebnisse

ULRICH LENK & CHRISTIAN HEIPKE, Hannover

Zusammenfassung: Der Artikel untersucht verschiedene bestehende Ansätze zur Integration von triangulierten Geländemodellen (triangular irregular networks, TIN) und Digitalen Situationsmodellen (DSM) zur Ableitung eines integrierten Datenmodells. Es wird ein neuer Ansatz vorgestellt, der gegenüber den bestehenden Ansätzen explizit alle geometrischen Kombinationsmöglichkeiten berücksichtigt (DSM-Punkte auf TIN-Kanten und partielle Kollinearitäten zwischen Kanten des TIN und des DSM). Dieser hat darüber hinaus algorithmische Vorteile, da er bestehende topologische Strukturen in den Eingangsdatenbeständen nutzt. Eine geometrische Analyse der Ergebnisse zeigt, dass die neue Vorgehensweise (wie auch zwei der drei vorher diskutierten Ansätze) zu redundanten Daten im Ergebnis führt. Es werden daher das Datenmodell mit minimaler Anzahl von Knoten vorgestellt sowie Algorithmen, mit denen dieses berechnet werden kann. Es wird exemplarisch ein Vergleich der entstehenden Datenvolumina gegeben.

Abstract: *A 2.5D GIS data model by integrating DTM and 2D GIS data via triangulations – theoretical and practical comparison of algorithms and their outputs.* The article investigates several existing methods to integrate triangulated irregular networks (TIN) with digital situation models (2D GIS data). A new method is introduced which in contradistinction to existing methods considers all possible geometric combinations between input data sets (2D points on TIN edges, partial collinearity between edges of input data sets, degenerated quadrilaterals with a triangle as its convex hull). Besides these features, the new procedure has algorithmic advantages as it utilises existing topologies explicitly. A geometric analysis reveals that the new algorithm leads to redundant data (as indeed do two of the three other discussed methods). Therefore, the data model with minimal number of nodes is introduced as well as algorithms to compute it. Examples are given to highlight resulting data volumes of the different approaches.

1 Einleitung

Ein gegenwärtiger Forschungsschwerpunkt in der Geoinformatik ist die Weiterentwicklung der Datenmodelle von Geo-Informationssystemen (GIS) durch Berücksichtigung der Höhenkomponente. Bisher wird diese in GIS i. allg. als Digitales Geländemodell (DGM) getrennt von der Lageinformation (2D-Situationsmodell, d. h. Digitales Situationsmodell, DSM; vgl. HAKE & GRÜNREICH 1994) modelliert. Ein Beispiel ist das Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS; AdV 1989), bei dem die Erdoberfläche zweidimensional in diskrete Objekte eingeteilt und

durch die Objektbereiche 1000–5000 und 7000 modelliert wird, während das Relief zur Beschreibung der Geländeform durch das DGM und weitere Zusatzinformationen im Objektbereich 6000 modelliert wird.

Während die Entwicklung von 3D-Datenstrukturen häufig im Zusammenhang mit 3D Stadtmodellen thematisiert wird, ist die landesweite 2.5D-Modellierung der Landschaft seltener Gegenstand der Forschung. Dabei ist gerade diese vor dem Hintergrund der Kompatibilität mit den bestehenden Geobasisdatenbeständen und der damit einhergehenden Investitionssicherung interessant.

Zwei Formen der 2.5D-Integration werden von LENK (2001) untersucht und bewertet. Dabei handelt es sich zum einen um das Verfahren auf der Grundlage von Polynomflächenobjekten, das eine Verallgemeinerung der heute bei GIS-Analysen üblichen Höhenschichtobjekte darstellt. Mit letzteren wird das Relief auf der Grundlage von Höhenlinien in Schichten diskretisiert. Polynomflächenobjekte erweitern diesen Ansatz, indem als Funktionen für Objekte nicht nur konstante Höhen (Polynome 0.-ten Grades), sondern auch höhere Polynome zugelassen werden. Das andere kritisch betrachtete Verfahren beruht auf Triangulationen. Die Untersuchungen in LENK (2001) zeigen, dass das Verfahren mittels Triangulationen gegenüber dem mit Polynomflächenobjekten Vorteile aufweist, da es sich besser in bestehende Verfahren der Datenerfassung, der raum- und zeitbezogenen Datenmodellierung und -verwaltung, der Analyse sowie der Visualisierung einfügt. Diese Eigenschaften sind für Polynomflächenobjekte nur eingeschränkt gegeben. Dieser Beitrag beschränkt sich daher auf die Integration von DSM und DGM mittels Triangulationen.

2 Grundlagen

2.1 Terminologie

Einige Termini wurden bereits in Abschnitt 1 genutzt und sollen nun noch näher spezifiziert werden. Unter einem 2.5D-Modell wird die eindeutige Zuweisung eines Höhenwertes zu einer Lagekoordinate verstanden. Dies ist gegenüber dem 3D-Modell eine Einschränkung, da mit letzterer Form auch multiple Höhenwerte möglich sind, wie sie z. B. für Stadtmodelle (vertikale Wände, Überbauungen, Brücken, Tunnel etc.) notwendig sind. Unter einem DSM wird das Digitale Situationsmodell verstanden, mit dem die Landschaft rein zweidimensional dargestellt wird. Dem gegenüber steht das Digitale Landschaftsmodell (DLM), mit dem hier die höherdimensionale Modellierung der Landschaft gemeint ist. Häufig werden die Begriffe DSM und DLM synonym verwendet (z. B. HARBECK 2000), hier werden

die Begriffe jedoch getrennt voneinander betrachtet, um die Unterschiede bzgl. der Dimensionalität der Ansätze zu betonen.

2.2 Voraussetzungen aus der digitalen Geländemodellierung mittels Triangulationen

Grundlagen der Geländemodellierung mittels Triangulationen bzw. Delaunay-Triangulationen (DT) und bedingten (constrained) Delaunay-Triangulationen (CDT) finden sich in den Standardlehrbüchern der GIS-Literatur bzw. den Lehrbüchern der algorithmischen Geometrie. Insbesondere die CDT ist für die Berechnung integrierter Modelle wichtig. Einen ausgezeichneten Überblick zu Triangulationen i. allg. und DT geben BERN & EPPSTEIN (1995). Aus dem Bereich der Geländemodellierung finden sich bei KRAUS (2000) umfangreiche Darstellungen und Monografien, z. B. die Arbeiten von SCHNEIDER (1998), AUMANN (1994) oder BUZIEK (1994).

Ein wichtiger Algorithmus, der für die Integration von DSM und DGM verwendet wird, ist das inkrementelle Einfügen eines Punktes in eine bestehende Triangulation. Entsprechende Verfahren werden z. B. von DE BERG et al. (1997) vorgestellt. Ein einzufügender Punkt kann in ein Dreieck, auf eine bereits bestehende Kante oder, falls es sich nicht um geometrisch disjunkte Punktmenge handelt, auf einen existierenden Punkt fallen. Ein Punkt, der zusätzlich in eine Triangulation eingefügt wird, wird auch Steinerpunkt genannt (BERN & EPPSTEIN 1995).

2.3 Simpliziale Komplexe

Der Ansatz der objektstrukturierten Landschaftmodellierung mittels Dreiecken ist auch unter dem Stichwort der Simplizialen Komplexe bekannt. Diese bilden ein theoretisches Fundament, das nicht auf 2 bzw. 3 Dimensionen beschränkt ist. Für jede Dimension gibt es ein minimales Objekt, welches Simplex genannt wird. Für die Dimension 0 ist dies der Punkt, der 0-Simplex. Entsprechend stellt eine Kante zwischen zwei 0-Simplexen einen 1-Simplex dar und

ein Dreieck einen 2-Simplex. Objekte, die aus mehreren Simplexen zusammengesetzt sind, werden Simpliciale Komplexe (SK) genannt. Das bedeutet, dass ein Dreiecksnetz ein 2-simplizialer Komplex (2-SK) ist und ein räumlicher Körper, der aus Tetraedern zusammengesetzt ist, einen 3-SK darstellt. Für weitere grundlegende Definitionen wird auf entsprechende Literatur der Topologie verwiesen (z. B. DIECK 2000, JÄNICH 1984). Im Zusammenhang mit GIS werden SK u. a. von WORBOYS (1995) oder EGENHOFER et al. (1989) behandelt. 3D-Modellierungen mit SK werden von PILOUK (1996) und BREUNIG (2000, 1996) vorgestellt, wobei BREUNIG (2000) auch temporale Aspekte berücksichtigt.

2.4 Allgemeines integriertes Datenmodell

Das allgemeine Datenmodell, das mit einer dreiecksbasierten Modellierung der Landschaft verbunden ist, wird mit Abb. 1 in der Unified Modeling Language (UML, BOOCH et al. 1998) beschrieben. Ein punktförmiges Objekt wird einem Knoten (0-Simplex) im integrierten Modell zugeordnet. Ein linienförmiges Objekt wird durch eine oder mehrere Kanten (bzw. 1-SK) und ein flächenhaftes Objekt durch ein oder mehrere Dreiecke im Datenbestand, d. h. 2-SK, repräsentiert. Der Einfachheit halber wird hier auf weitere Beziehungen wie Überführungsrelationen, wie sie z. B. im ATKIS-Datenmodell enthalten sind, verzichtet. Erweiterungen sind ohne Probleme möglich und sollen daher hier nicht ausgeführt werden.

3 Bestehende Ansätze zur Berechnung eines integrierten Modells

3.1 Anforderungen an ein integriertes Modell

Berücksichtigt man, dass die Eingangsdaten DSM und DGM mit einer gewissen Genauigkeit erhoben wurden, so muss bei einer Integration der beiden Datensätze gesichert sein, dass sich die Qualität der Modellierung nicht verschlechtert. Das bedeutet, dass die Form der 2D-Geometrien erhalten bleiben muss bzw. diese in einem integrierten Modell enthalten sein müssen und die Geländeoberfläche, die durch das DGM beschrieben wird, darf sich hinsichtlich ihrer geometrischen Form durch den Integrationsprozess nicht verändern. Man kann in letzterem Fall von der Forderung nach der Invarianz der Oberflächenform sprechen.

3.2 Das Verfahren von PILOUK (1996)

PILOUK (1996; s. a. PILOUK & TEMPFLI 1993) beschreibt sein Verfahren zur Berechnung eines integrierten Modells wie folgt, wobei die Darstellung vereinfacht und nur unter den Aspekten der 2.5D-Modellierung wiedergegeben wird:

- a) Strukturierung von 2D-Daten räumlich begrenzter Objekte.
- b) Bezug von Geländedaten im Gitter- oder TIN-Datenformat.
- c) Interpolation der Höhenkoordinate für jeden Knoten in den 2D-Daten, der noch keine Höheninformation besitzt.

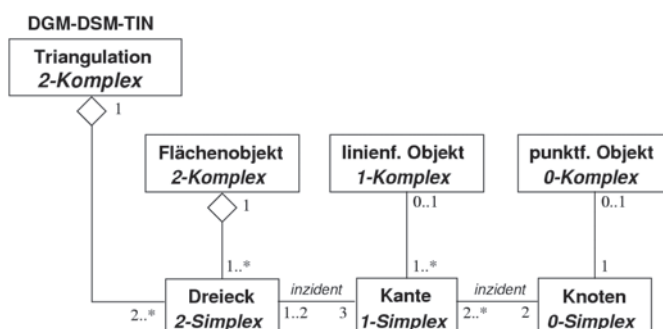


Abb. 1: 2.5D-GIS-Datenmodell mittels Simplicialer Komplexe.

- d) Falls es sich bei den Geländedaten um ein Gittermodell handelt, wird dies nun in ein TIN überführt, ggf. kann eine Datenreduzierung durchgeführt werden.
- e) Bildung der Vereinigungsmenge der Knoten des TIN mit den Knoten der 2D-Daten.
- f) Alle 2D-Objekte werden durch bedingte Triangulation in das TIN integriert, wobei die Kanten der 2D-Daten als Bedingungen in die Triangulation eingeführt werden.

Das Ergebnis ist eine objektstrukturierte 2.5D-Modellierung der Erdoberfläche durch 2-SK.

3.3 Der Ansatz von KLÖTZER (1997)

Das Verfahren von KLÖTZER (1997) bzw. KLÖTZER & PLÜMER (1997) wurde vor dem Hintergrund der Arbeiten von PLÜMER & GRÖGER (1997) entwickelt, die einen landkartenbasierten Ansatz der Modellierung von Geodaten diskutieren. Im Gegensatz zu den analogen Medien der Kartographie handelt es bei den „Landkarten“ dort um zweidimensionale grafentheoretische Konstrukte zur Geodatenmodellierung, die hier nicht weiter diskutiert werden (vgl. PLÜMER & GRÖGER 1997).

KLÖTZER (1997) erweitert das Konzept der Landkarte auf der Grundlage von Triangulationen um die Höhenkomponente und fordert, dass die Oberflächenform des DGM-TIN durch die Integration der Landkarten nicht verändert werden darf (vgl. Abs. 3.1). Seine Vorgehensweise dabei ist wie folgt:

- a) Inkrementelles Einfügen aller Knoten der Landkarte in das DGM-TIN unter Wiederherstellung der DT.
- b) Einrechnen der Kanten der Landkarte in das DGM-TIN unter Berechnung von Schnittpunkten (Steinerpunkten) zwischen den bereits bestehenden Kanten im TIN und den Landkartenkanten. Das Delaunaykriterium (DK) ist nach dem Einfügen der Punkte nicht mehr gültig, da eine Überprüfung des DK unterbleibt.

Unglücklicherweise ist durch die Wiederherstellung der DT in Schritt a) ein Verfahrensfehler gegeben, da durch diese Wiederherstellung eine Veränderung der Oberflächenform des DGM-TIN an den Enden der Landkartenkanten verursacht wird. Falls jedoch die Überprüfung des DK unterbleibt, so handelt es sich um ein Verfahren, das der von KLÖTZER (1997) gestellten Anforderung der Invarianz der Oberflächenform an eine Integration entspricht. Daher wird diese Vorgehensweise bei der weiteren Diskussion als das korrigierte Verfahren nach KLÖTZER (1997) bezeichnet.

Ein ähnliches Verfahren der Einrechnung von Geometrien in einen 2-SK wird von EGENHOFER et al. (1989) beschrieben, wobei diese nur ein 2D-Datenmodell diskutieren und nicht eine Erweiterung bestehender 2D-Datenstrukturen um die Höhenkomponente verfolgen. Daher soll hier auf dieses Verfahren nicht weiter eingegangen werden, es wird in LENK (2001) ausführlich diskutiert.

3.4 Das Verfahren von ABDELGUERFI et al. (1997)

Ein weiteres Verfahren der Integration von 2D-Geoinformation mit TIN stellen ABDELGUERFI et al. (1997) vor. Ihre Arbeiten bewegen sich vor dem Hintergrund, dass für die Modellierungs- und Simulationsarbeiten der US-Streitkräfte deren bisher verwendetes ebenenbasiertes Datenaustauschformat Vector-Product-Format (VPF) als nicht mehr ausreichend eingestuft wird. Sie stellen einen erweiterten Ansatz, das Extended-Vector-Product-Format (EVPF) vor. Dabei wird jedem flächenhaften Objekt (polygon) eine Anzahl von Dreiecken zugewiesen. Ihre Vorgehensweise ist wie folgt (ABDELGUERFI et al. 1997):

- a) Bestimmung der Dreiecke, die Punkte des jeweiligen Objektumrings enthalten.
- b) Verschneidung des Objektes mit diesen Dreiecken. Es entstehen ein oder mehrere Teilpolygone auf der Grundlage der DGM-TIN-Kanten.
- c) Polygontriangulation der entstehenden Teilpolygone (child polygons) mit einem Verfahren, das bei O'ROURKE (1998) beschrieben wird.

3.5 *Diskussion der bestehenden Ansätze*

Berücksichtigt man, dass die Forderung der Invarianz der Geländeoberfläche durch die Integration von DSM und DGM-TIN erfüllt werden soll, so muss das Verfahren von PILOUK (1996) für diesen Zweck kritisch betrachtet werden. Durch das Einführen der DSM-Kanten als bedingte ungeteilte Kanten kann es zu deutlichen Veränderungen in der Oberflächenform kommen, wie leicht an einem Beispiel dargestellt werden kann. Angenommen, eine Straße durchquert ein Tal in Querrichtung und als Knoten gibt es nur Punkte auf den angrenzenden Bergrücken. In diesem Fall wird das Tal durch den Algorithmus von PILOUK (1996) von einem neu entstandenen Damm geteilt werden. Durch das Verfahren von PILOUK (1996) wird nur gesichert, dass die 2D-Geometrien in dem integrierten Modell repräsentiert sind, die Oberflächenform des Geländes verändert sich jedoch. Die Vorgehensweise von PILOUK (1996) kann nur zum Ziel führen, wenn DGM und DSM gemeinsam bereits als 2.5D-DLM, z. B. photogrammetrisch erfasst werden. In diesem Fall ist jedoch keine Integration mehr notwendig.

Das korrigierte Verfahren nach KLÖTZER (1997) und die Vorgehensweise von ABDELGUERFI et al. (1997) erfüllen dem gegenüber die Forderung nach der Invarianz der Oberflächenform, da bei ihnen die DSM-Kanten durch existierende TIN-Kanten geteilt werden, allerdings haben sie algorithmische Defizite und berücksichtigen nicht explizit alle geometrischen Kombinationsmöglichkeiten, die sich bei der Integration von DSM und DGM-TIN ergeben können. Diese Restriktionen werden im Folgenden detaillierter ausgeführt.

3.5.1 *Spezielle geometrische Konstellationsmöglichkeiten*

Eine Situation, die bei der Integration von DGM-TIN und DSM auftreten kann, ist die partielle Kollinearität von Kanten in den Eingangsdatensätzen. Dies impliziert, dass Knoten sich an geometrisch identischen Po-

sitionen in der Ebene befinden können bzw. ein Knoten auf eine bestehende Kante des jeweils anderen Datensatzes fallen kann. Weiter können degenerierte Vierecke auftreten, deren konvexe Hülle ein Dreieck bildet. Insbesondere die geometrische Identität von Punkten ist ein Fall, der in der algorithmischen Geometrie kaum erwähnt wird, da die Ansätze dort von disjunkten Punkten in der Ebene ausgehen. Diese Fälle werden bei KLÖTZER (1997) nicht berücksichtigt bzw. vom Ansatz her ausgeschlossen. Die Vorgehensweise von ABDELGUERFI et al. (1997) ist hier in ihrer Stabilität und Robustheit direkt abhängig von der Implementierung der Verschneidungsoperation. Falls diese Fälle nicht berücksichtigt werden, kann es zu fehlerhaften Ergebnissen kommen.

3.5.2 *Algorithmische Aspekte*

Neben den Aspekten der Robustheit der Ansätze zeigen die Verfahren algorithmische Defizite, da alle bisher existierenden Ansätze der Integration von DGM-TIN und DSM die existierenden Datenstrukturen nicht für eine effiziente Vorgehensweise nutzen. KLÖTZER (1997) fügt zunächst alle Knoten der Landkarte in das DGM-TIN ein, bevor die Integration der Landkartenkanten erfolgt. Hierfür muss die Zugriffsdatenstruktur im Dreiecksnetz entsprechend häufig genutzt werden. Die räumliche Zugriffszeit im Dreiecksnetz stellt das Hauptunterscheidungsmerkmal bei inkrementellen Einfügeoperationen dar, da das beeinflusste Gebiet für einen einzufügenden Punkt für alle verschiedenen Verfahren gleich ist. Über räumliche Suchverfahren in Dreiecksnetzen berichten u.a. DEVILLERS et al. (2001) und DEVILLERS (1997). Durch das Einfügen eines Punktes einer Linie in ein Dreiecksnetz ist mindestens ein Dreieck bekannt, das sich in der Nähe des nächsten Punktes der Linie befindet. Dieses Dreieck kann als guter Startwert für eine topologische Wanderung im Dreiecksnetz (vgl. DEVILLERS et al. 2001) genutzt werden, um schnell ohne Nutzung der räumlichen Zugriffsdatenstruktur des Dreiecksnetzes den Einfügeort des nächsten Punktes der Linie

mit dem nächsten einzufügenden Punkt C der Linie berechnet werden, kann somit bestimmt werden, in welchem der 9 prinzipiell möglichen geometrischen Örter (mit Unterfällen) sich der Einfügeort des Punktes C befindet. Falls er nicht im Sektor des Dreiecks liegt, mit dem die Determinanten berechnet wurden, rotiert das Verfahren um den aktuellen Punkt und testet den zu prüfenden Linienpunkt mit einem der adjazierenden Dreiecke (Fälle 5a/b und 8a/b/c). Da die Fortbewegung im Dreiecksnetz (und auch die Rotation um den Punkt) die Topologie des TIN nutzt, wird der Algorithmus hier als radial-topologischer Algorithmus (RTA) bezeichnet. Mit ihm können stückweise lineare Geometrien in ein Dreiecksnetz eingerechnet werden, indem dieses entlang der Geometrien traversiert wird. Dabei wird die Höhe der 2D-Punkte bzw. der berechneten Schnittpunkte zwischen 2D-Geometrien und bestehenden Dreieckskanten (Fall 7, es wird ein Schnittpunkt mit der Kanten gegenüber berechnet) linear im TIN interpoliert. Falls eine partielle oder vollständige Kollinearität zwischen dem aktuell einzufügenden Liniensegment 9-C und Kanten im DGM-TIN existiert, wird diese mit dem beschriebenen Verfahren aufgedeckt bzw. beim Einrechnen des Liniensegmentes berücksichtigt (Fälle 2a/b, 3a/b und 4a/b). Im Fall 1 befindet sich der Punkt C im inzidierenden Dreieck selber und im Fall 6 auf der Kante, die dem zuletzt eingefügten Punkt in dem Dreieck gegenüberliegt.

4.2 Geometrische Analyse

Bei der grundlegenden Erläuterung des RTA wurde nur ein einzelnes Dreieck, der entsprechende Sektor, betrachtet. Nun soll anhand von Abb. 3a) untersucht werden, wie sich der RTA bei der Navigation im TIN verhält. Eine DSM-Geometrie tritt von Nordosten in ein DGM-TIN-Dreieck ein. Die Punktnummern wurden in der Reihenfolge des Einfügens vergeben, diese kann anhand von Abb. 2 nachvollzogen werden.

Zunächst wird Punkt 1 als Eintrittsschnittpunkt zwischen der DSM-Geometrie und dem DGM-Dreieck angelegt. Danach wird Punkt 2 als Knickpunkt der DSM-Geometrie eingefügt und im Anschluss Punkt 3 als Schnittpunkt zwischen der Kante, die beim Einfügen von Punkt 1 angelegt wird, bestimmt. Entsprechend ergeben sich die Punkte 4, 5 und 6. Die Punkte 1 und 6 werden als Schnittpunkte der DSM-Kante mit den Kanten des originären Dreiecks berechnet und sind damit zur morphologischen Beschreibung der DSM-Geometrie notwendig. Die Punkte 2 und 4 stellen Knickpunkte dar, die zur lagemäßigen Beschreibung der DSM-Geometrie erforderlich sind. Nur die Punkte 3 und 5 sind weder zur Tessellation der Ebene noch zur morphologischen Beschreibung des Geländes notwendig, sie stellen daher redundante Daten dar. Ein mögliches redundanzfreies Ergebnis ist mit Abb. 3b) gegeben.

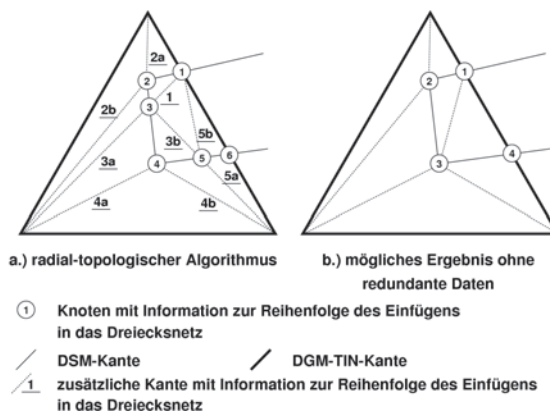


Abb. 3: Geometrische Analyse des radial-topologischen Algorithmus.

5 Das Datenmodell mit minimaler Anzahl von Knoten und seine Berechnung

5.1 Datenmodell

Aus den oben dargestellten Untersuchungen ist ersichtlich, dass ein Steinerpunkt im Modell mit minimaler Anzahl von Knoten nur eingeführt werden darf, wenn er als Schnittpunkt zwischen der einzufügenden DSM-Geometrie und einer Kante des originären DGM-TIN berechnet wird. Ein Schnittpunkt mit Kanten, die im Verlauf des Einrechnens der DSM-Geometrie gebildet werden, ist nicht zulässig. Die Anzahl der Knoten ist auf diese Art eindeutig festgelegt.

Abb. 4 beschreibt das entsprechende Datenmodell in der UML. Die Schnittpunktbedingung der Steinerpunkte ist als {and}-Bedingung zwischen den inzidierenden Kanten eingeführt. Das DGM-TIN wird zur morphologisch qualitativ hochwertigen Geländemodellierung als CDT berechnet, das integrierte Modell (DGM-DSM-TIN) wird als integrierte CDT (ICDT) bezeichnet.

5.2 Algorithmen zur Berechnung des minimalen Modells

Prinzipiell ist bei der Entwicklung eines Verfahrens zur Berechnung der ICDT zwischen direkten und indirekten Verfahren zu unterscheiden. Ein möglicher Algorithmus zur direkten Berechnung der ICDT ist mit dem Verfahren von ABDELGUERFI et al. (1997) gegeben. Es gelten die oben angegebenen Restriktionen hinsichtlich der Berücksichtigung möglicher geometrischer Konstellationen und der algorithmischen Effizienz des Ansatzes.

Nachdem der RTA als effizientes Verfahren der Integration von DSM und DGM vorgestellt wurde, liegt es nahe, diesen hinsichtlich seiner Eignung für eine Modifikation zu untersuchen. Bei der direkten Berechnung ist ein Problem, dass der Anfangspunkt einer DSM-Geometrie i. allg. nicht auf die Kante eines Dreiecks des DGM-TIN fällt. Zur Vermeidung redundanter Information muss beim Auftreffen der DSM-Geometrie auf eine Kante des DGM-TIN überprüft werden, ob vorher redundante Knoten berechnet wurden. Diese müssten dann gelöscht werden. Für den Fall, dass

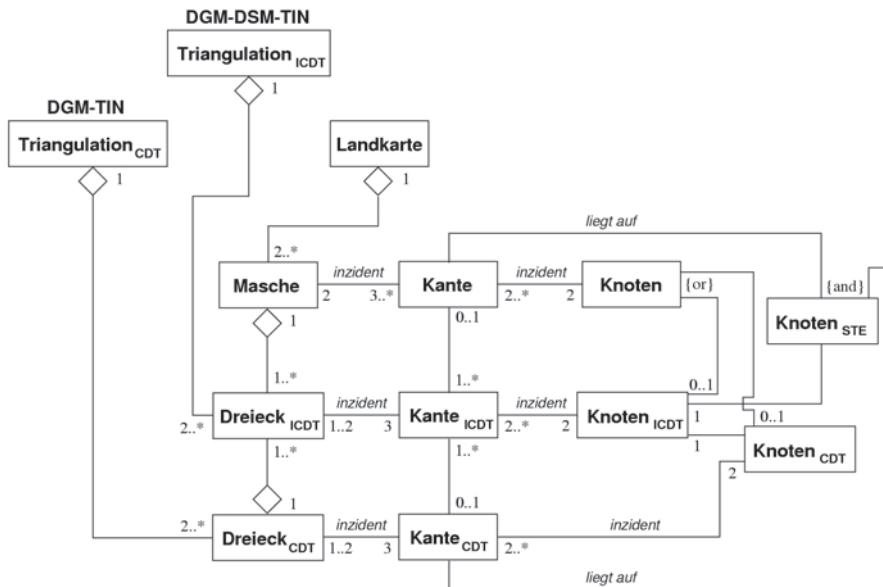


Abb. 4: Das Datenmodell mit minimaler Anzahl von Knoten als UML-Diagramm.

die DSM-Geometrie in dem zu verlassenden Dreieck ihren Startpunkt hat, muss die hineinragende DSM-Teilgeometrie beim Löschen erhalten bleiben, damit nach Abschluss der Integration die DSM-Geometrie vollständig im integrierten Modell enthalten ist. Im weiteren Verlauf kann dann mit dem einfachen RTA fortgefahren werden, wobei immer beim Verlassen eines Dreiecks des originären DGM-TIN getestet werden muss, ob vorher redundante Knoten gebildet wurden, ggf. müssen sie gelöscht werden. Dies kann dadurch erfolgen, dass aus der originären DSM-Teilgeometrie und dem DGM-TIN-Dreieck in Verbindung mit den Schnittpunkten zwischen diesen die lokale Dreiecksvermaschung mit einer Polygontriangulation redundanzfrei berechnet wird. Die Behandlung der Teilgeometrien an den Enden ist jedoch nur mit einer aufwändigen Datenstruktur und der Berücksichtigung von etlichen Sonderfällen möglich.

Eine andere Möglichkeit ist mit einem indirekten Verfahren gegeben. Zunächst wird mit dem RTA ein Zwischenmodell berechnet, aus dem im Anschluss redundante Daten entfernt werden. Zu löschende Knoten werden bei der Berechnung des Zwischenmodells als solche markiert, wenn bei der Berechnung eines Schnittpunktes (Abb. 2, Fall 7) die $\{and\}$ -Bedingung in Abb. 4 nicht eingehalten wird, oder sie müssen anderweitig durch Kollinearitätstests gefunden werden. In beiden Fällen wird das Zwischenmodell zum Löschen entlang der DSM-Geometrien traversiert. Wenn das Löschverfahren auf einen zu löschenden Punkt trifft, wird einmal um diesen rotiert, um die inzidierenden geometrischen Elemente in Puffern zu speichern. Nach dem Löschen des Punktes werden beide Seiten der wiederhergestellten (Teil-)Kante mit einer Polygontriangulation neu vermascht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es in dem Polygon auf Grund der Berechnung von Schnittpunkten entlang einer DSM-Kante zu kollinearen Punkten kommen kann. Sie können unter Verwendung von Determinanten (s. o.) identifiziert werden. Entsprechend muss das Polygontriangulationsverfahren in der Lage sein, eine gültige lokale

Dreiecksvermaschung unter Beachtung der Kollinearitäten zu erzeugen. Das Verfahren berechnet das minimale Modell, wobei für jede linienhafte DSM-Geometrie die räumliche Zugriffsdatenstruktur des TIN genau zweimal genutzt wird. Demgegenüber benötigt der einfache RTA nur einen räumlichen Zugriff für jede DSM-Geometrie bzw. bei dem korrigierten Verfahren nach KLÖTZER (1997) erfolgt ein räumlicher Zugriff für jeden DSM-Punkt (also auch für die Knickpunkte), bevor die Anfangspunkte von DSM-Kanten erneut aufgesucht werden müssen, damit die Integration der DSM-Kanten in das integrierte Modell erfolgen kann.

6 Ergebnisse von Testrechnungen

Tab. 1 enthält numerische Ergebnisse zu Testrechnungen, die für ein Gebiet in der Leineau südlich von Hannover durchgeführt wurden. Der korrigierte Algorithmus von KLÖTZER (1997) wurde nicht direkt in seiner beschriebenen Form implementiert, sondern auf der Grundlage des RTA, wobei vor dessen Anwendung alle Punkte des DSM inkrementell eingefügt und alle weiteren Steinerpunkte mit dem RTA berechnet wurden. Mit dieser Vorgehensweise ergibt sich das Ergebnisdatenvolumen des korrigierten Ansatzes von KLÖTZER (1997, wobei auf Grund der Verwendung des RTA im zweiten Schritt alle geometrischen Konstellationsmöglichkeiten berücksichtigt werden, s. o.). Eine grafische Wiedergabe der Daten und Modelle erfolgt in den Abb. 5

Tab. 1: Eingangsdatsätze und integrierte Modelle für das Testgebiet Leine.

Datensatz	Knotenanzahl absolut
DSM	947
DGM-TIN	1103
Minimales integriertes Modell	3143
Integriertes Modell mit dem RTA	3863
Integriertes Modell mit dem korrigierten Verfahren nach KLÖTZER (1997)	3985

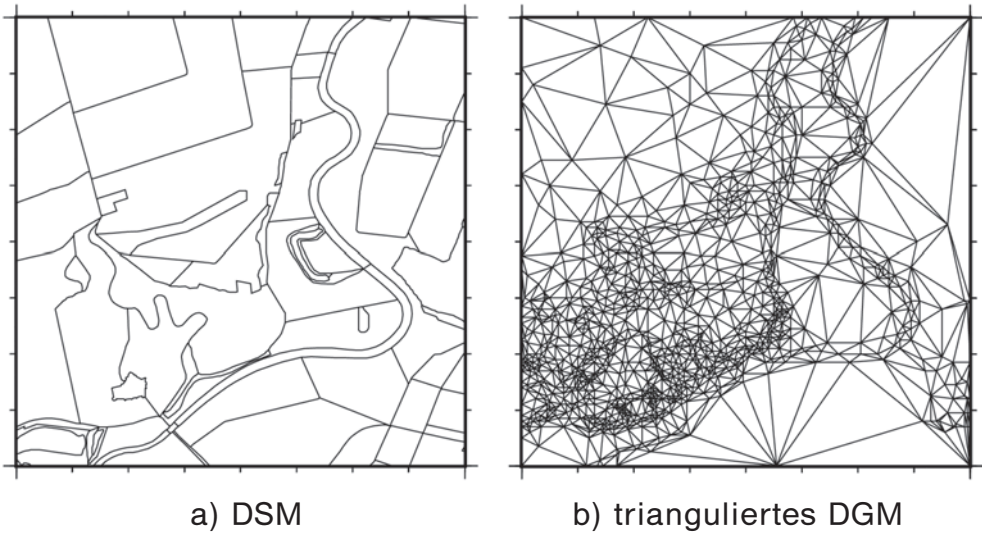


Abb. 5: DSM und DGM Eingangsdaten für Testrechnungen im Leinegebiet südlich von Hannover.

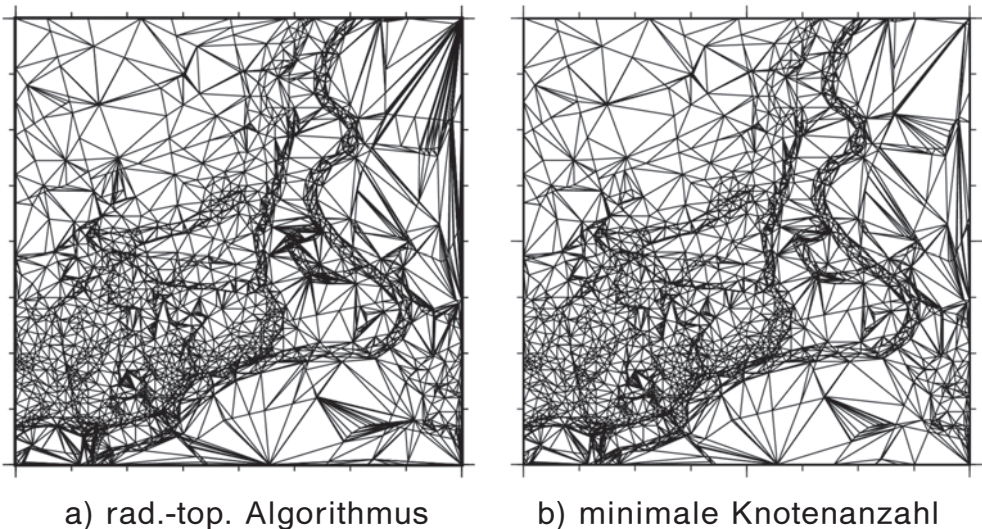


Abb. 6: Morphologisch identische integrierte Modelle: Ergebnis mit dem RTA und das Modell mit minimaler Anzahl von Knoten.

und 6. Auf eine Abbildung des Ergebnisses mit dem korrigierten Ansatz nach KLÖTZER (1997) wird verzichtet, da die Unterschiede zum Ergebnis des RTA auf Grund der großen Punktzahl visuell kaum wahrnehmbar sind. Bei dem verwendeten DSM handelt es sich um Geometrien, die auf der Grundlage des ATKIS-DSM25/1 entstanden. Die unterschiedliche Dichte der Punkte

in den integrierten Modellen zeigt sich besonders bei großen Dreiecken des DGM-TIN (unten bzw. rechts oben in den Abbildungen) und im Bereich des Leinealtarms in der Mitte der Abbildungen.

Bei den Ergebnissen in Tab. 1 zeigt sich, dass das redundante Datenvolumen des RTA nahezu 20% erreichen kann. Bei weiteren Beispielen in LENK (2001) ergeben

sich teilweise noch größere Redundanzen. Durch das Einfügen aller DSM-Punkte vor der Integration der DSM-Kanten steht bei der Berechnung von weiteren Steinerpunkten eine maximale Anzahl von Kanten als Schnittpunktscandidaten zur Verfügung, daher erzielt der korrigierte Algorithmus von KLÖTZER (1997) das maximale Datenvolumen in dem Beispiel.

7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Es wurden verschiedene Wege zur Berechnung von integrierten triangulierten Landschaftsmodellen aufgezeigt sowie deren Ergebnisse verglichen. Es zeigt sich, dass es bedingt durch die verwendeten Algorithmen zu einer hohen Redundanz im integrierten Modell (mehr als 20%) kommen kann. Daher wird die Verwendung des redundanzfreien Modells empfohlen.

Verfahrensbedingt handelt es sich bei den beschriebenen Vorgehensweisen um Methoden, die ähnlich wie eine Verschneidung von Geodaten arbeiten. Bisher wurde eine geometrisch-semantische Konsistenz der Daten vorausgesetzt. Ggf. sollte in einer Erweiterung der beschriebenen Ansätze daran gedacht werden, hier eine Überprüfung der Daten während der Integration vorzunehmen. Denkbar sind z. B. Neigungsschwellwerte für Straßen, damit diese im Modell überhaupt befahrbar sind. Zusätzlich sollte zur weiterführenden Datenreduktion eine mögliche Redundanz in den Eingangsdaten (DGM und DSM) berücksichtigt werden (vgl. LENK, 2001).

Dank

Die hier vorgestellten Untersuchungen wurden mit Mitteln aus dem Stipendienprogramm der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück, gefördert. Bei den verwendeten topographischen Daten handelt es sich um ATKIS-DGM5 und DSM25/1 Daten der Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen (LGN), die freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurden.

8 Literatur

- ABDELGUERFI, M., COOPER, E., WYNNE, C. & SHAW, K., 1997: An Extended Vector Product Format (EVPF) suitable for the representation of three-dimensional elevation in terrain databases. – *Int. J. Geographical Information Science*, **11** (7): 649–676.
- AdV (Hrsg.), 1989: ATKIS-Gesamtdokumentation. – Hannover, Bonn.
- AUMANN, G., 1994: Aufbau qualitativ hochwertiger digitaler Geländemodelle aus Höhenlinien. – Diss., TU München, DGK, Reihe C, Nr. 411, München.
- DE BERG, M., VAN KREVELD, M., OVERMARS, M. & SCHWARZKOPF, O., 1997: *Computational Geometry – Algorithms and Applications*. – Springer Verlag, Berlin, Heidelberg u. a.
- BERN, M. & EPPSTEIN, D., 1995: *Mesh Generation and Optimal Triangulation*. – In: DU, D. Z. & HWANG, F. K. (Eds.), 1995: *Computing in Euclidean Geometry*. – (2nd Edition), Lecture Notes Series on Computing, Vol. 4: 47–123, World Scientific, Singapore, New Jersey, London, Hong Kong.
- BOOCH, G., RUMBAUGH, J. & JACOBSEN, I., 1998: *Unified Modeling Language User Guide*. – Addison-Wesley, Reading, Massachusetts u. a.
- BREUNIG, M., 2000: *On the way to Component-Based 3D/4D Geoinformation Systems*. – Lecture Notes in Earth Sciences 94, Springer Verlag, Berlin.
- BREUNIG, M., 1996: *Integration of Spatial Information for Geo-Information Systems*. – Lecture Notes in Earth Sciences 61, Springer Verlag, Berlin.
- BUZIEK, G., 1994: *Analyse und Optimierung hydrografischer Punktfelder als Grundlage der Modellierung des Unterwasserreliefs*. – Wiss. Arb. d. Fachr. Vermess. d. Uni. Hannover Nr. 197, Diss., Universität Hannover.
- DEVILLERS, O., 1997: *Improved Incremental Randomized Delaunay Triangulation*. – Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA), Sophia Antipolis, France, Rapp. de rech. no 3298.
- DEVILLERS, O., PION, S. & TELLAUD, M., 2001: *Walking in a Triangulation*. – Inst. Nat. de Recherche en Informatique et en Automat. (INRIA), Sophia Antipolis, France, Rapport de recherche no 4120.
- DIECK, T., 2000: *Topologie*. – Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- DU, D. Z. & HWANG, F. K. (Eds.), 1995: *Computing in Euclidean Geometry*. – (2nd Edition), Lecture Notes Series on Computing, Vol. 4,

- World Scientific, Singapore, New Jersey, London, Hong Kong.
- EGENHOFER, M. J., FRANK, A. U. & JACKSON, J. P., 1989: A Topological Data Model for Spatial Databases. – Proc. First Symp. SSD'89, Santa Barbara, CA, USA, 271–286.
- HAKE, G. & GRÜNREICH, D., 1994: Kartographie. – Walter de Gruyter, Berlin.
- HARBECK, R., 2000: Das topographische Geoinformationssystem ATKIS – Stand und Entwicklung aus Sicht der AdV. – DVW-Schriftenr. 39/2000:9–21, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart.
- JÄNICH, K., 1984: Topologie. – Springer Verlag, Berlin.
- KLÖTZER, F., 1997: Integration von triangulierten digitalen Geländemodellen und Landkarten. – Unveröff. Diplomarbeit, Inst. f. Informatik, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.
- KLÖTZER, F. & PLÜMER L., 1997: Homogene Verknüpfung des digitalen Geländemodells mit ATKIS-DLM-Daten. – Vortrag 34. Sitzung der AG „Automation in der Kartographie (AGA)“ am 7./8.10.1997 an der TU Dresden.
- KRAUS, K., 2000: Photogrammetrie, Bd. 3, Topographische Informationssysteme. – Dümmler Verlag, Köln.
- LENK, U., 2001: 2.5D-GIS und Geobasisdaten – Integration von Höheninformation und Digitalen Situationsmodellen. – Wiss. Arb. Fachr. Vermess. Univ. Hannover Nr. 244 und Deutsche Geodät. Komm. bei der Bayer. Akad. d. Wiss., Reihe C, Nr. 546. Diss., Univ. Hannover, im Druck.
- O'ROURKE, J., 1998: Computational Geometry in C. – 2nd Edition, Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- PILOUK, M., 1996: Integrated Modelling for 3D GIS. – PhD Thesis, ITC Publ. Series No. 40, Enschede, The Netherlands.
- PILOUK, M. & TEMPFLI, K., 1993: An integrated DTM-GIS data structure: a relational approach. – In: Proceedings 11th Internat. Symp. on Computer Assisted Cartography (AUTOCARTO 11), Minneapolis, Minnesota, USA, 278–287.
- PLÜMER, L. & GRÖGER, G., 1997: Achieving Integrity in Geographic Information Systems – Maps and Nested Maps. – GeoInformatica 1 (4): 345–367.
- SCHNEIDER, B., 1998: Geomorphologisch plausible Rekonstruktion der digitalen Repräsentation von Geländeoberflächen aus Höhenliniendaten. – Geoprocessing Series Vol. 35, Dissertation, Universität Zürich.
- WORBOYS, M. F., 1995: GIS – A Computing Perspective, Taylor & Francis, London.

Anschriften der Verfasser:

Dipl.-Ing. ULRICH LENK, PgDipHS
 Institut für Kartographie und Geoinformatik
 Universität Hannover
 Appelstr. 9A, D-30167 Hannover
 Tel.: 0511-762-3589, Fax: 0511-762-2780
 e-mail: Ulrich.Lenk@ikg.uni-hannover.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. CHRISTIAN HEIPKE
 Institut für Photogrammetrie und GeoInformation,
 Universität Hannover
 Nienburger Str. 1, D-30167 Hannover
 Tel.: 0511-762-2482, Fax: 0511-762-2483

Manuskript eingereicht: Dezember 2001
 Angenommen: Dezember 2001

Bericht

Workshop an der FH Oldenburg: „Photogrammetrie und Laser- Scanning für Facility Management und As-Built-Dokumentation“ Oldenburg, 31. 1.–1. 2. 2002

Zu diesem Workshop hatten das Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG) und das Institut für Mess- und Auswertetechnik (IMA) der Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelms-haven und die Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (DGPF) eingeladen. Dass die Veranstalter mit ihrem Thema ins Schwarze getroffen haben, konnte man alleine schon an der großen Resonanz von über 120 Teilnehmern aus 6 Nationen erkennen. Wie Prof. Dr.-Ing. T. LUHMANN (IAPG) in seiner Eröffnungsrede erklärte, füllte sich der Veranstaltungssaal etwa zur Hälfte mit Vertretern aus dem Bereich Hochschule und zur Hälfte mit Systemanbietern, Dienstleistern und Anwendern. Der zweitägige Workshop wurde in einer sehr kompakten Form angeboten, was eine unkomplizierte und kostengünstige Teilnahme ermöglichte. Der Schwerpunkt der 19 Vorträge lag, der Aktualität des Themas angepasst, im Bereich des Laser-Scannings, weniger bei der Weiterverarbeitung der Daten.

Die Vorträge wurden über beide Tage begleitet von einer Fachausstellung, in der alle wichtigen Anbieter von Laserscannern vertreten waren. Die Firma Riegl aus Österreich stellte an ihrem Stand den neuen LMS-Z420 mit gesteigerter Genauigkeit vor. Ebenso war die Firma Callidus mit ihrem Laserscanner vertreten. Zoller + Fröhlich stellten zum ersten Mal in der Öffentlichkeit den IMAGER 5003 vor. Leica Geosystems präsentierten ihr etabliertes Gerät zusammen mit der neuesten Version ihrer Modellierungs-Software. Ebenfalls zum ersten Mal präsentiert wurde der neue Scanner GS 100 des französischen Anbieters Mensis. Zu den Laserscanner Herstellern gesellte sich

noch Minolta mit einem Laser-Streifenprojektionssystem für kleinere Objekte (ca. 1 m). Die Ausstellung war abgerundet durch verschiedene Software-Anbieter und Dienstleister.

In der ersten Sitzung wurden durch zwei einführende Vorträge die Grundlagen im Bereich CAFM und Laser-Scanning gelegt. Prof. Dr.-Ing. H. RUNNE (FH Anhalt) führte in die Welt des Facility Managements ein, beleuchtete die geschichtliche Entwicklung, die Begriffswelt und den weiten Anwendungsbereich dieser Disziplin, der auch außerhalb des reinen Gebäude Managements liegt. Bereits in diesem ersten Vortrag wurde das Problem aufgezeigt Daten zwischen verschiedenen Softwaresystemen auszutauschen, unter Beibehaltung nicht nur der Geometrie, sondern auch der Topologie, Semantik und anderer Attribute. Diese Problematik wurde im weiteren Verlauf der Veranstaltung auch von anderen Vortragenden immer wieder bedauert. Prof. Dr.-Ing. habil. WOLFGANG NIEMEIER (TU Braunschweig) beschrieb, auch für den technisch unvorbelasteten Zuhörer verständlich, die grundlegenden Funktionsweisen der verschiedenen Laserscanner Typen und gab einen Überblick über die am Markt verfügbaren Geräte. Anhand von Beispielen erläuterte er typische Vorgehensweisen und Anwendungsmuster. Leider hat sich im Bereich des Laser-Scannings noch keine einheitliche Begriffswelt etabliert, sodass durchaus ähnliche Konzepte bei verschiedenen Herstellern mit unterschiedlichen Bezeichnungen angeboten werden.

Die weiteren Vorträge des ersten Tages in der zweiten Sitzung, geleitet von Prof. Dr.-Ing. H.-J. PRZYBILLA (Uni Essen), widmeten sich den photogrammetrischen Verfahren zur Objektaufnahme. Sowohl der aktuelle Stand der digitalen Nahbereichsphotogrammetrie und praktische Anwendungsbeispiele als auch neue Ansätze und Entwicklungen wurden den Zuhörern vorgestellt. Den Abschluss dieser Sitzung bildete der Vortrag

von Dr.-Ing. R. SCHWERMANN (RWTH Aachen), der eine erste Kombination aus photogrammetrischem Verfahren (Monoplotting) und Laser-Scanning vorstellte und das von ihm mitentwickelte System präsentierte. Dieser Vortrag bildete somit die Überleitung zu den Vorträgen am zweiten Tag.

Die Mehrzahl der Teilnehmer nahm das Angebot an, den Abend bei einem gemeinsamen Abendessen in der beschaulichen Altstadt Oldenburgs zu verbringen und in angenehmer Atmosphäre vertiefende Gespräche in kleinen Gruppen zu führen.

Die von den Teilnehmern vielleicht mit größter Spannung erwarteten Vorträge zur Leistungsfähigkeit moderner 3D Laserscanner eröffneten den zweiten Tag des Workshops. Unter der Leitung von Prof. W. NIEMEIER wurden die Scannersysteme von Zoller + Fröhlich, Callidus und Leica Geosystems präsentiert. Das Callidus System wurde von Prof. Dr.-Ing. J. MUCKE (IMA) vorgestellt, die übrigen Systeme jeweils von Repräsentanten des Herstellers (O. SCHOCK, Leica Geosystems; Dr. C. FRÖHLICH, Zoller + Fröhlich). Daher ergab sich nicht unbedingt die Möglichkeit eines objektiven Vergleichs der Systeme. Es kann jedoch zusammenfassend gesagt werden, dass für den Anwender eine Palette von Systemen mit einem gewissen Reifegrad zum operationellen Einsatz bereit steht. Laserscanner mit einer Punktrate von teilweise über 1000 Punkte pro Sekunde sind in der Lage, innerhalb weniger Minuten ein Objekt mit einer Scandichte von über einer Millionen Punkten abzubilden. Angesichts dieser Datenmenge und der Struktur der Daten wird die Software zur Weiterverarbeitung der Punktwolke zu einem zentralen Bestandteil eines Systems. Ein Aspekt, der gerade im letzten Vortrag dieser Sitzung von O. BRINGMANN (Kubit) vertieft wurde.

Prof. H. RUNNE leitete die Sitzung zur Anwendung von Laser-Scanning. Im Vortrag von F. KERN (TU Braunschweig) wurde ein zweites System zur integrierten Auswertung von Laserscanner- und Messbilddaten vorgestellt, das an der TU Braunschweig entwickelt wurde und frei verfügbar ist. Das momentan wohl bedeutsamste Anwendungsgebiet des Laser-Scannings, der Anlagenbau, wurde im Detail im Vortrag von M. MASCH (AGENS) vorgestellt. Hier zeigt sich, wie auch in anderen Anwendungen, dass die vergleichsweise kurze Aufnahmezeit vor Ort, von einer deutlich längeren Auswertephase im CAD gefolgt wird. Der Einsatz eines Laserscanners im Stahlwerk wurde von Prof. Dr.-Ing. R. STAIGER (Uni Essen) vorgestellt. Besonders interessant waren die in diesem Vortrag detailliert dargelegten und durch Zahlenwerte belegten Aussagen zur Genauigkeit des Geräts im praktischen Einsatz.

Die letzte Sitzung der Veranstaltung war einigen alternativen Lösungskonzepten gewidmet, zu denen die Generierung von Panoramen (Prof. Dr.-Ing. G. POMASKA, FH Bielefeld) und die Integration von Panoramabildverbänden und photogrammetrischer Bündelblockausgleichung (W. TECKLENBURG, IAPG) gehören. Auch die Anwendungen der Tachymetrie und der Laserinterferometrie wurden jeweils in eigenen Vorträgen behandelt.

Zum Abschluss gebührt den Verantwortlichen für ihre gelungene Veranstaltung großes Lob. Die rege Teilnahme und die interessanten Beiträge haben die Veranstalter um Prof. T. LUHMANN dazu bewogen diesen Workshop im nächsten Jahr zu wiederholen und als eine regelmäßig wiederkehrende Veranstaltung zu etablieren.

JAN BOEHM, Stuttgart

Persönliches

OTTO HOFMANN zum 80. Geburtstag

OTTO HOFMANN wurde am 11. Juli 1922 in Dippoldiswalde im Erzgebirge geboren. Nach Abitur und Wehrdienst von 1941 bis 1945 studierte er von 1946 bis 1950 Vermessungswesen an der TU Dresden. Die 36 jährige Berufstätigkeit wurde in Bildmessung und Luftbildwesen 1987, S. 162, ausführlich dargestellt und gewürdigt. In Kürze: 1951–1961 VEB Carl Zeiss Jena, 1957 Promotion an der TU Dresden, 1962 Flucht in die Bundesrepublik Deutschland, 1962/63 Zeiss-Aerotopograph München, 1964 privates Vermessungsbüro, 1965–1987 Bölkow, später MBB.

Dr. HOFMANN hat die Entwicklung der analytischen Stereoauswertung mitgestaltet und die digitale Bildaufnahme mit CCD-Zeilensensoren maßgeblich beeinflusst. Seine Arbeiten führten zum Bau des KARTO-SCAN und der digitalen EOS-Kamera. Die danach entstandene MOMS-01-Kamera wurde 1983 und 1984 erfolgreich vom Space-Shuttle aus eingesetzt. Im Jahr 1979 fand OTTO HOFMANN eine Lösung für die strenge Rekonstruktion räumlicher Objekte aus digitalen Zeilenbildern.

Das auf dem Einsatz einer Dreizeilen-Kamera beruhende DPS-Verfahren war ein Meilenstein auf dem Weg zur rein digitalen Photogrammetrie.

Die Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung hat ihm in Anerkennung seiner Verdienste 1988 die Albrecht-Meydenbauer-Medaille verliehen.

Nach seinem Ausscheiden bei MBB 1987 arbeitete Dr. HOFMANN bis 1992 als freier Mitarbeiter für MBB, später DASA. Er hat in dieser Zeit zu den Spezifikationen für MOMS-02 beigetragen und die technische

Entwicklung der digitalen DPA-Kamera bis zur ersten Erprobung geleitet. Seit 1993 bis heute arbeitet er in seinem Privatbüro für verschiedene Auftraggeber, u. a. für AMil-Geo. Unabhängig davon beschäftigt er sich mit der Weiterentwicklung der Dreizeilen-Technologie einschließlich der Einbeziehung von INS-Daten. Seit 1974 besteht eine sporadische Zusammenarbeit mit der Firma Wild, später Leica und LH-Systems, zuletzt in Verbindung mit der Dreizeilen-Kamera ADS 40.

Zu seinen Nebenbeschäftigungen zählt OTTO HOFMANN Tennisspielen und die Schriftleitung einer evangelischen Informationsschrift.

Seinen 80. Geburtstag kann der Jubilar gemeinsam mit seiner Gemahlin, seinen vier verheirateten Kindern, 20 Enkelkindern und seinem Urenkel feiern. Der Vorstand der DGPF und seine Kollegen danken ihm, gratulieren ihm und wünschen ihm herzlich alles Gute für die Zukunft.

HEINRICH EBNER, München

In memoriam Oberingenieur RUDOLF MEYER

Noch im Januar diesen Jahres anlässlich des Ehrenkolloquiums zum 90. Geburtstag von Prof. RÜGER konnten viele ehemalige Fachkollegen und Mitarbeiter Herrn Oberingenieur RUDOLF MEYER bei vermeintlich guter Gesundheit begrüßen. Zu spüren war sein lebhaftes Interesse an den aktuellen Entwicklungen des Fachgebietes sowie auch der leise Stolz auf die erfolgreiche Fortsetzung seines Lebenswerkes.

Um so größere Betroffenheit verursachte die Nachricht von seinem plötzlichen Ableben. RUDOLF MEYER ist am 21. Februar im Alter von 78 Jahren verstorben. Nach verschiedenen Tätigkeiten als Vermessungsingenieur im Markscheide- und Katasterwesen begann 1958 für RUDOLF MEYER ein 30 Jahre langes nachhaltiges Wirken für die Architekturphotogrammetrie. Am Lehrstuhl für Photogrammetrie der Technischen Hochschule Dresden widmete er sich intensiv der Entwicklung und Verbesserung von Geräten und Technologien. Sein vielleicht wesentlichster Beitrag dieser Zeit ist die Entwicklung numerischer Verfahren zur Auswertung von Amateuraufnahmen mit Hilfe der ersten verfügbaren Rechentechnik noch auf der Basis von Elektronenröhren. Damit ermöglichte er die erfolgreiche Rekonstruktion des verbrannten Orgelprospektes der Dresdner Hofkirche.

Das Ingenieurverständnis von RUDOLF MEYER, seine wissenschaftliche Neugier ver-

bunden mit organisatorischem Talent und einem Quantum Hartnäckigkeit kam dann dem Aufbau der MESSBILDSTELLE am Institut für Denkmalpflege zugute, zu deren Leiter er am 1. April 1968 berufen wurde. Als Aufgabe dieser neuen Einrichtung wurde die Pflege und Nutzung des übernommenen historischen Bildarchivs der ehemaligen Königlich Preußischen Messbildanstalt sowie die aktive Fortsetzung der Aufnahmetätigkeit definiert. Damit wurde bewusst an die Tradition des Werkes ALBRECHT MEYDENBAUERS angeknüpft. RUDOLF MEYER hat sich außerordentlich mit dieser Aufgabe identifiziert und wohl auch MEYDENBAUER als sein Vorbild betrachtet. Seine intensiven Recherchen haben ihn zum besten Kenner der Biografie des Erfinders der Photogrammetrie und Gründers der historischen Messbildanstalt werden lassen. Die Buchveröffentlichung 1985 aus Anlass des 150. Geburtstages MEYDENBAUERS und die viel beachtete sehr umfangreiche Ausstellung zum 100. Jahrestag der Gründung der Königlich Preußischen Messbildanstalt haben neben etwa 30 weiteren Veröffentlichungen sehr zur Verbreitung des Anliegens der Architekturphotogrammetrie beigetragen.

Unschätzbare Verdienste hat sich RUDOLF MEYER durch die Entwicklung der technischen Grundlagen für die anschließend von ihm durchgeführte Sicherheitsverfilmung und damit dem Erhalt der ca. 19000 Negative des Meydenbauer-Archives erworben.

Entscheidende Beiträge zur Entwicklung des Fachgebietes hat RUDOLF MEYER durch den zur damaligen Zeit sehr unkonventionellen Einsatz von Luftbildauswertegeräten mit Schichtgravur für die Fassadenvermessung geleistet. Er baute die wohl erste Überweitwinkel-Messkammer AMK 7/1824 mit Negativformat 18 cm × 24 cm, propagierte erfolgreich die Nutzung entzerrter Messbilder zur effektiven Dokumentation der Fassaden historischer Stadtkerne und entwickelte ein Qualitätssicherungssystem für die systematische Messbilddokumentation von Denkmalen. Er hat die Arbeit der MESSBILDSTELLE ständig rationalisiert und durch seine Erfahrungen auch vielen

anderen Einrichtungen Beispiel geben können.

Dies geschah u. a. als Leiter des Fachausschusses Industriephotogrammetrie der Gesellschaft für Photogrammetrie der DDR, als Landesberichterstatter der Kommission V der ISPRS und als korrespondierendes Mitglied der CIPA. Als Leiter der Arbeitsgruppe Architekturphotogrammetrie des RGW pflegte er jahrelang einen intensiven Austausch unter Fachkollegen in den Ostblockländern.

Von 1977 an existierte die MESSBILDSTELLE in einer neuen Struktur, was leider die Trennung vom historischen Bildarchiv bedeutete. RUDOLF MEYER nutzte jedoch die neuen Möglichkeiten, um aus der kleinen Institutsabteilung einen wirtschaftlich arbeitenden, leistungsfähigen Betrieb mit 18 Mitarbeitern und vier regional verteilten Arbeitsstellen aufzubauen. Neben dem guten internationalen Ruf sind das wesentliche Grundlagen für die erfolgreiche Entwicklung nach der Umbildung in eine GmbH 1990 gewesen. Dafür sind ihm seine Nachfolger noch heute dankbar.

Als RUDOLF MEYER 1988 den verdienten Ruhestand und lang ersehnte Auslandsreisen antreten konnte, hatte er sein Vorbild, gemessen an der Anzahl der Aufnahmen, überrundet. Zu dieser Zeit befanden sich ca. 30000 Messbilder im Bestand, die in seiner 20-jährigen Tätigkeit von der MESSBILDSTELLE aufgenommen waren. 1992 wurde dieses „neue“ Archiv unter Schutz gestellt. Dieses „Denkmal“ wird noch lange an RUDOLF MEYER und sein Lebenswerk erinnern.

Fast seine gesamte berufliche Tätigkeit, über einen Zeitraum von 30 Jahren hat RUDOLF MEYER dem Erhalt, der Nutzung und der Fortführung der Werkes ALBRECHT MEYDENBAUERS gewidmet. Diese Leistung wurde 1996 durch die Verleihung der „Albrecht-Meydenbauer-Medaille“ durch die Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung gewürdigt.

Wir werden Oberingenieur RUDOLF MEYER mit Dankbarkeit in guter Erinnerung behalten.

ANDREAS BRUSCHKE, Dresden

Hochschulnachrichten

Technische Universität Berlin

Von der Fakultät für Bauingenieurwesen und Angewandte Geowissenschaften der Technischen Universität Berlin wurde M.Sc. LICHUN SUI am 15. Januar 2002 zum Dr.-Ing. promoviert. Das Thema seiner Dissertation lautet „Analyse von Laserscannerdaten mit digitalen Bildverarbeitungsmethoden“. Gutachter waren Prof. Dr.-Ing. JÖRG ALBERTZ, Prof. Dr.-Ing. LOTHAR GRÜNDIG und Dr.-Ing. ECKHARDT SEYFERT (LGB, Potsdam).

Zusammenfassung: Das Laserscanning ist ein leistungsfähiges Verfahren zur topographischen Geländeerfassung bzw. zur Herstellung aktueller Digitaler Höhenmodelle (DHM). Die Beschäftigung mit dem Laserscanning hat im Wesentlichen folgende Zielsetzungen: Zum Einen soll für Wald- und

Küstengebiete, in denen photogrammetrische Geländeaufnahmen schwierig oder nicht möglich sind, eine unmittelbare Erfassung der Geländeoberfläche ermöglicht werden. Zum Anderen lässt sich bei diesem weitestgehend automatisierten Messverfahren mit einer vollständig digitalen Auswertung der Messdaten eine schnelle Lösung mit geringem Personalaufwand erzielen. Insbesondere die steigende Nachfrage nach aktuellen Digitalen Höhenmodellen erfordert Aufnahmeverfahren, die die notwendigen Höhenpunkte mit hinreichender Genauigkeit auch für große Flächen und für schwierige Waldgebiete in angemessener Zeit liefern können.

Die mit Flugzeuglaserscannern gewonnenen Daten stellen zunächst unstrukturierte und unregelmäßig verteilte Punkthaufen

dar, die einer intensiven Nachbearbeitung bedürfen. Zur Nachbearbeitung von Laserpunkten ergibt sich als erste Aufgabe eine Separation der gewünschten Laserpunkte auf der Geländeoberfläche (Bodenpunkte) von den nicht verwertbaren Punkten (Nichtbodenpunkte). Eine weitere Aufgabe ist die Ableitung von Strukturlinien aus Laser-scannerdaten bzw. aus allgemeinen DHM-Daten.

Beim Erkennen und Trennen der Bodenpunkte von den für den DHM-Aufbau nicht relevanten Punkten werden unterschiedliche Verfahren untersucht, die auf mathematischer Morphologie und robuster Parameterschätzung basieren. Mit der Einführung der morphologischen Operation wird die Geländeoberfläche näherungsweise geschätzt. Dadurch werden dann Bodenpunkt- und Nichtbodenpunkthypothesen gebildet. Die anschließende Aufgabe besteht in der Modellierung der Geländeoberfläche und Hypothesentests. Dabei werden unterschiedliche robuste Schätzmodelle entwickelt und untersucht. Die verwendeten Modelle werden in verschiedenen Testgebieten mit zahlreichen Abbildungen verifiziert.

Strukturlinien spielen eine wichtige Rolle beim Aufbau von präzisen DHM. Das hier entwickelte Verfahren zur Ableitung von Strukturlinien basiert auf digitalen Bildverarbeitungsmethoden. Dabei werden die für die Bildverarbeitung gültigen Modelle erweitert. Das entwickelte und realisierte Verfahren besitzt hohe Erweiterbarkeit und Übertragbarkeit. Es erlaubt auf einfache Weise Erweiterungen für andere Anwendungsgebiete. Dies wird anhand von zahlreichen Beispielen und Abbildungen dargestellt. Die Genauigkeit der Ableitung von Strukturlinien wird durch die Bestimmung der Subpixelposition gesteigert.

Insgesamt zeigt die Arbeit zur Ableitung von Strukturlinien, dass durch die Einführung von digitalen Bildverarbeitungsmethoden in vielen Anwendungsgebieten gute Ergebnisse erzielt werden können, ohne objektspezifisches Wissen einsetzen zu müssen. Die Arbeiten könnten durch eine Optimierung der Algorithmen und Programme sowie in einer kompletten Implementierung

unter UNIX oder WINDOWS erweitert werden. Eine weitere Aufgabe besteht in der Integration von Wissen, beispielsweise von Fernerkundungsdaten oder Informationen der topographischen Karte.

Technische Universität Cottbus

Von der Fakultät für Architektur, Bauingenieurwesen und Stadtplanung der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus wurde Dipl.-Ing. **Ulrich Weferling** am 27. November 2001 zum Dr.-Ing. promoviert. Das Thema seiner Dissertation lautet „*Bauaufnahme als Modellierungsaufgabe*“. Gutachter waren Prof. Dr.-Ing. BERNHARD RITTER, Prof. Dr.-Ing. ADOLF HOFMANN und Prof. Dr.-Ing. JÖRG ALBERTZ (TU Berlin).

Zusammenfassung: Die Bauaufnahme ist eine der grundlegenden Methoden, um Informationen bestehender Bauwerke zu erfassen und damit eine Datengrundlage für weitergehende bauwerksbezogene Forschungen und Planungen aufbauen zu können. Die Vielfalt der Anwendungsfelder reicht von der historischen Bauforschung über die Denkmalpflege bis zur Bauwerksanierung und zum Facility Management. Trotz dieser grundlegenden Bedeutung werden Bauaufnahmen in den seltensten Fällen zweckbezogen unter Ausnutzung aller zur Verfügung stehender Ressourcen ausgeführt. Vielfach ist ein scheinbar unvereinbarer Konflikt zwischen traditionellen Bauaufnahmeformen im Handaufmaß und der modernen computergestützten Bauaufnahme mit geodätischen und photogrammetrischen Verfahren zu verzeichnen. Dieser Konflikt ist nicht zuletzt dadurch begründet, dass die Abhängigkeiten zwischen einer inhaltlich fachbezogenen Interpretation und der geometrischen Objektbeschreibung nicht hinreichend untersucht sind und dementsprechend auch keine Berücksichtigung im Prozess der Bauaufnahme finden.

Grundlage der in der Arbeit geleisteten Methodenbewertung und Strategieentwicklung ist ein Verständnis, das die Bauaufnahme als komplexen, allumfassenden Modellierungsvorgang versteht, bei dem von dem

vielschichtigen Originalbauwerk eine auf eine bestimmte Fragestellung ausgerichtete Modellierung vorzunehmen ist.

Als allgemeine Bewertungsgrundlage zur Evaluierung der Bauaufnahmefethoden werden zunächst die grundsätzlichen Prinzipien von Modellierungsvorgängen behandelt sowie deren Anwendbarkeit auf die Bauaufnahme nachgewiesen. Hierbei wird herausgearbeitet, dass die in der ‚Allgemeinen Modelltheorie‘ formulierten Erkenntnisse nicht nur den theoretischen Hintergrund für Bauaufnahmeprozesse bilden können, sondern dass darüber hinaus eine Evaluierung der Bauaufnahmefethoden unter modelltheoretischen Fragestellungen wesentliche Konflikte beseitigen und eine effektive Bauaufnahmestrategie ermöglichen kann.

Auf diesem modelltheoretischen Fundament erfolgt die Einführung in die wichtigsten Anwendungsgebiete der Bauaufnahme, die in ihren Anliegen vorgestellt und auf ihren besonderen Bezug zur Bauaufnahme hin untersucht werden.

Von der Wahl des Koordinatensystems bis zur Form der Ergebnispräsentation werden die für alle Bauaufnahmefethoden notwendigen Grundlagen separat von den eigentlichen Verfahren in ihrer Bedeutung aufgearbeitet. Diese Trennung ermöglicht eine systematische und komprimierte Auseinandersetzung mit den allgemein gültigen methodischen Grundsätzen der Bauaufnahme. Dadurch wird neben den Fachanforderungen eine zweite wesentliche Basis für einen zielgerichteten Einsatz der zur Verfügung stehenden Bauaufnahmeverfahren geschaffen.

Mit dem Handaufmaß und den verschiedenen tachymetrischen und photogrammetrischen Aufnahmeverfahren werden die einzelnen Bauaufnahmefethoden nicht nur in ihren Prinzipien dargelegt, sondern auch mit praktischen Hinweisen für eine sachgerechte Anwendung in der Bauaufnahme versehen. Darüber hinaus wird jedes Verfahren in seinem Nutzungspotenzial für die Bauaufnahme bewertet.

Aus den Untersuchungen zur Modelltheorie, zu den Anwendungsgebieten und zu

den Methoden und Verfahren der Bauaufnahme folgt die zwingende Erkenntnis, dass eine unter fachlichen Gesichtspunkten vollzogene inhaltliche Modellierung nicht von der geometrischen getrennt werden kann – und umgekehrt. Folgerichtig wird abschließend eine methodenintegrierende, interdisziplinäre Bauaufnahmestrategie formuliert, in der die Stärken der einzelnen Bauaufnahmefethoden zu einem umfassenden Bauaufnahmekonzept zusammengefasst werden. Es wird ein abgestuftes Vorgehen im Einsatz geodätischer und photogrammetrischer Bauaufnahmefethoden vorgeschlagen, bei dem die Möglichkeiten der Geometriebestimmung als effektives Werkzeug für eine fachbezogene Modellierung genutzt werden können. Hierbei können alle zur Verfügung stehenden Ressourcen angepasst und damit nutzbringend in die Bauaufnahme eingebracht werden. Insgesamt kann damit eine größere Akzeptanz der computergestützten Bauaufnahmefethoden erzielt werden, sodass letztlich eine höhere Qualität der Bauaufnahme in allen Anwendungsbereichen sicherzustellen ist.

Universität Stuttgart

Von der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität Stuttgart wurde Dipl.-Phys. **ANDREAS REIGBER** am 15. Februar 2001 zum Dr.-Ing. promoviert. Das Thema seiner Dissertation lautet „*Airborne Polarimetric SAR Tomography (Flugzeuggestützte polarimetrische SAR Tomographie)*“. Gutachter waren Prof. Dr.-Ing. ALFRED KLEUSBERG, Prof. Dr.-Ing. PHILIPP HARTL, Prof. Dr.-Ing. ERIK GRAFARENDE und Prof. Dr. WOLFGANG MARTIN BOERNER (University of Chicago).

Zusammenfassung: SAR-Tomographie ist ein Verfahren bei dem, durch Bildung einer zusätzlichen synthetischen Apertur in Elevation, eine echte dreidimensionale Abbildung der Szene erreicht wird. Die Arbeit stellt diese neuartige Technik in Theorie und Experiment vor. In einem theoretischen Teil wird zuerst eine generelle dreidimensionale Beschreibung des tomographischen SARs, basierend auf physikalischer Wellenausbrei-

tung, vorgestellt. Aufbauend auf dieser allgemeinen Formulierung wird dann, mit Hilfe einer genauen Modellierung des tomographischen Signals, eine hoch optimierte Verarbeitungsmethode für den Spezialfall der Multibaseline-Tomographie abgeleitet. Des Weiteren wird auch eine neuartige Unterdrückung von Nebenzipfeln auf Grund ungleichmäßiger Verteilung der Flugbahnen entwickelt.

Im Anschluss daran wird die weltweit erste polarimetrische tomographische Prozessierung von SAR Daten eines flugzeug-

getragenen Sensors vorgestellt. Eine ausführliche Datenanalyse beweist den stark erweiterten Informationsgehalt von tomographischem SAR verglichen mit konventionellem SAR. Interessante Erkenntnisse über das Rückstreuverhalten von Waldgebieten werden mit vertikalen Streuprofilen gewonnen, die aus dem tomographischen Bild erzeugt werden können. Abschließend wird ein Ausblick auf zukünftige Konfigurationen zur flugzeug- und satellitengestützten Umsetzung der SAR-Tomographie gegeben.

Mitteilungen der DGPF

PFG ab 2002 mit 7 Heften im Jahr

Der Vorstand der DGPF hat auf seiner Sitzung am 25./26.1.2002 in Neubrandenburg beschlossen, dass beginnend mit Jahrgang 2002 zusätzlich zu den bisher erscheinenden 6 Heften der Zeitschrift PFG ein 7. Heft herausgegeben wird.

Die Erweiterung des PFG-Jahresumfangs ist *ohne eine Erhöhung des Jahresmitgliedsbeitrags* möglich, weil der mehrjährige Prozess der finanziellen Konsolidierung der DGPF in diesem Jahr erfolgreich abgeschlossen werden kann.

Die Erweiterung soll dazu beitragen, den wissenschaftlich-technischen Informationsumfang der PFG-Jahresausgabe zu erweitern und die Aktualität der Fachbeiträge in der Zeitschrift zu erhöhen.

Das PFG-Heft 7/2002 wird folgende Beiträge enthalten:

- Berichte von der 22. Wissenschaftlich-Technischen Jahrestagung der DGPF
- Arbeitskreise der DGPF
- Berichterstatte der DGPF für die ISPRS-Kommissionen I bis VII
- Selbstdarstellung der Korporativen Mitglieder der DGPF
- Liste der Korporativen Mitglieder der DGPF
- Mitgliederbewegung der DGPF
- Publikationen der DGPF

- Vorankündigungen von Veranstaltungen
- PFG-Autorenhinweise
- Satzung der DGPF
- Zum Titelbild
- Inhaltsverzeichnis PFG-Jahrgang 2002, Hefte 1–7

Selbstdarstellungen der Korporativen Mitglieder

Wie in den vergangenen Jahren, so wird auch 2002 allen Firmen, Behörden und Hochschulen, die Korporatives Mitglied der DGPF sind, die Möglichkeit zur eigenen Darstellung in der Zeitschrift *Photogrammetrie • Fernerkundung • Geoinformation* gegeben. In diesem Jahr und auch in den folgenden werden die Beiträge im neu geschaffenen Heft 7 (siehe oben) abgedruckt.

Für alle Korporativen Mitglieder soll damit mehr Beständigkeit und ein höherer Wirkungsgrad der „Selbstdarstellungen“ erreicht werden.

Mit der Konzentration dieser Veröffentlichungen auf Heft 7/2002 ergibt sich auch ein anderer Einreichungstermin für die Manuskripte. Redaktionsschluss für die Selbstdarstellungen ist der 1. September 2002. Alle Korporativen Mitglieder erhalten dafür im Juli eine individuelle schriftliche Einladung.

AK Internationale Standardisierung und Normung

Auf seiner Sitzung am 25./26.1.2002 hat der Vorstand der DGPF beschlossen, den neuen *Arbeitskreis „Internationale Standardisierung und Normung“* einzurichten. Dieser Arbeitskreis bietet ein Informations- und Diskussionsforum für die wichtigen und breit angelegten internationalen Normungsvorhaben für die Fachgebiete Photogrammetrie und Fernerkundung. Exemplarisch seien die folgenden Teilthemen genannt: Sensormodelle, Datenmodelle, Metadaten und Terminologie. Enge Verbindungen existieren bereits von dem neuen Arbeitskreis zu den Projektteams des ISO/TC211 „Geographic information – geomatics“, zur Arbeitsgruppe II/4 „Image data standards“ der ISPRS, zum Arbeitsausschuss 03.02 „Photogram-

metrie und Fernerkundung“ des Normenausschusses Bauwesen im DIN und zum OpenGIS Consortium.

Druckschriften-Versand der DGPF

Die Bestellung und der Versand von Tagungsbänden der DGPF „*Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung*“, ISSN 0942-2870, Bd. 1–10 (so weit noch vorhanden), erfolgt über:

Prof. Dr.-Ing. JÖRG ALBERTZ
Technische Universität Berlin, EB 9
Strasse des 17. Juni, D-10623 Berlin
Tel.: 030-314-23331, Fax: 030-314-21104
e-mail: albertz@fgk.tu-berlin.de

Dr. KLAUS-ULRICH KOMP, Präsident

Vorankündigungen

2002

7.–8. Juli: Joint ISPRS-ICA Workshop „**Multi-Scale Representation of Spatial Data**“ in **Ottawa**, Kanada. Auskünfte durch: Prof. Dr. Monika Sester, ikg, Universität Hannover, e-mail: monika.sester@ikg.uni-hannover.de und www.ikg.uni-hannover.de/isprs

8.–12. Juli: ISPRS Symposium Com. IV: „**GeoSpatial Theory, Processing and Applications**“ und 10. Konferenz **Spatial Data Handling 2002** des Canadian Institute for Geomatics in **Ottawa**. Auskünfte durch: Pres. Dr. Costas Armenakis, Tel.: +1-613-992 44 87, Fax: +1-613-995 41 27, e-mail: armenaki@nrcan.gc.ca, www.geomatics2002.org, <http://www.commission4.isprs.org/wg3>, oder: Tom Herbert, Tel.: +1-613-224 98 51, Fax: +1-613-224 95 77, e-mail: exdircig@netrover.com, Admin CIG e-mail: admincig@netrover.com, www.geomatics2002.org/ und <http://www.geomatics2002.org/submissions/index.e.asp>

15.–16. August: International Workshop on **Mobile and Internet GIS** der ISPRS WG IV/2, II/1, II/5, II/6 in **Wuhan**, China. Auskünfte durch: Ms. Lite Shi, Tel.: +86-27-8788-1292, Fax: +86-27-8786-3229, e-mail: lilyshi@hp01.wtusm.edu.cn, www.geostar.com.cn/wgweb/Activities.htm

18.–23. August: **Leica Geosystems User Group Meeting** (UGM '02) der GIS & Mapping Division in **San Diego**, California, USA. Auskünfte durch: Leica Geosystems, GIS & Mapping Division, 2801 Buford Highway, Atlanta, Georgia 30329. Tel.: 1-404-248-9000, Fax: 1-404-248-9909, www.gis.leica-geosystems.com

20.–23. August: ISPRS Symposium Com. II: „**Integrated System for Spatial Data Production, Custodian and Decision Support**“ in **Xian**, China. Auskünfte durch: Dr. JIE JIANG, Tel.: +86-10-68 48 32 18, Fax: +86-10-68 42 41 01, e-mail: isprs2@nsdi.gov.cn oder: Mr. XINHU CHEN, Tel.: +86-10-68

42 40 76, Fax: +86-10-68 42 41 01, e-mail: isprs2@nsdi.gov.cn, <http://isprs.2.nsd.gov.cn/>, <http://www.commission2.isprs.org/>

2.–6. September: **ISPRS Symposium Com. V in Corfu**, Griechenland. Auskünfte durch: Pres. Prof. Petros Patias, Tel.: +30-31-99 61 16, Fax: +30-31-99 61 28, e-mail: patias@topo.auth.gr und: Prof. Alexandra Koussoulakou, Com. V Secretary, Tel.: +30-31-99 61 38 Fax: +30-31-99 61 28. e-mail: kusulaku@eng.auth.gr, www.erasmus.gr/isprs/index.htm

9.–13. September: ISPRS Symposium Com. III, PCV '02 „**Photogrammetric Computer Vision 2002**“, in **Graz**, Österreich. Auskünfte durch: Pres. Prof. Franz Leberl, Institut für Maschinelles Sehen und Darstellen, TU Graz, A-8010 Graz, Inffeldgasse 16, Tel.: +43-316 873 5011, Fax: +43-316 873 5050, e-mail: leberl@icg.tu-graz.ac.at oder: office@icg.tu-graz.ac.at, <http://www.icg.tu-graz.ac.at/pcv02>

10.–11. September: AAPR '02 „**Vision with Non-Traditional Sensors**“, **26th Workshop of the Austrian Association for Pattern Recognition (AAPR)** in **Graz**, Österreich. Auskünfte durch: Prof. Franz Leberl, Institut für Maschinelles Sehen und Darstellen, TU Graz, A-8010 Graz, Inffeldgasse 16, Tel.: +43-316 873 5011, Fax: +43-316 873 5050, e-mail: leberl@icg.tu-graz.ac.at, www.commission3.isprs.org/

16.–18. September: ISPRS Symposium Com. VI „**New Approaches for Education and Communication**“ in **São José dos Campos**, Brazil. Auskünfte durch: Pres. Dr. Tania Maria Sausen, Tel.: +55-12-345 68 62, Fax: +55-12-345 68 70, e-mail: taniamaria@inpe.br, www.inpe.br/isprs/events.htm und: www.commission6.isprs.org/

16.–19. September: Global Spatial Data Infrastructure Conference **GSDI 6 Conference – from Global to Local** in **Budapest**. Auskünfte durch: Karen Levoleger, Tel.: +31-55-528 57 46, Fax: +31-55-355 73 62, e-mail: eurogi@euronet.nl, www.eurogi.org/

17./18. September: 39. Sitzung der AG **Automation in der Kartographie** in **München**, Bayerisches Landesvermessungsamt, Alexandrastr. 4, 80538 München. Auskünfte durch: Inst. f. Kartographie und Geoinformation der Uni Bonn, Meckenheimer Allee 172, 53115 Bonn, Tel.: 0228-73 35 27, Fax: 0228-73 77 56, e-mail: koch@mail.ikg.uni-bonn.de

17.–20. September: **X Congress of Quantitative Methods, Geographical Information Systems and Remote Sensing** in **Valladolid**, Spanien. Auskünfte durch: José Luis García Cuesta, Tel.: +34-983-42 30 00 ext.6585, Fax: +34-983-42 31 49, e-mail: Xcoloquio.GMCSIGT@fyl.uva.es, www.gramola.fyl.uva.es/geografia/Xcongreso/in-dexhtm

18.–20. September: 2nd SIG Workshop on **Remote Sensing for Developing Countries** with a special session on SRTM data in **Bonn**. Auskünfte durch Prof. Gunter Menz, e-mail: menz@rsrg.uni-bonn.de, Tel.: 49-228-739 700, Fax: 49-228-739 702, www.rsrg.uni-bonn.de/earsel_2002/index.htm

23.–27. September: 9th International Symposium of SPIE **Remote Sensing 2002** in **Agia Pelagia**, Kreta, Griechenland. Veranstalter: SPIE in Kooperation mit ISPRS, NASA und EOS. Leiter des Symposiums: Hatem Nasr, vMonitor-Houston, Texas. Auskünfte durch: SPIE, e-mail: spie@spie.org, Tel.: +1-360-676 32 90, Fax: +1-360-647-14 45, e-mail: spie@spie.org, www.spie.org/conferences/calls/02/rs

24.–26. September: **22. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF**

- „Zu neuen Märkten
- auf neuen Wegen
- mit neuer Technik“

in **Neubrandenburg**. Auskünfte durch: Dr. Klaus-Ulrich Komp, Präsident DGPF, e-mail: Praesident@dgpf.de, Dr.-Ing. Manfred Wiggenhagen, Sekretär DGPF, e-mail: sekretaer@dgpf.de, Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kresse, FH Neubrandenburg, e-mail: kresse@fh-nb.de, www.gdpf.de

26.–28. September: Second International Conference on Geographic Information Science **GIScience 2002** in **Boulder**, Colorado, USA. Auskünfte durch: Max J. Egenhofer, e-mail: max@spatial.maine.edu oder: David M. Mark, e-mail: dmark@geog.buffalo.edu, www.giscience.org/

1.–5. Oktober: **Celebrating 50 Years of Geodetic Science**. ISPRS Com. II Symposium in **Columbus**, OH, USA. Auskünfte durch Prof. Chen Jun, Pres. Com.II, e-mail: chenjun@nsdi.gov.cn, oder: Prof. Ron Li, WG II/1, Tel.: +1-614-292 69 46, Fax: +1-614-292 29 57, e-mail: li.282@osu.edu, http://geodesy.ceegs.ohio-state.edu/50_years

14./15. Oktober: 3rd International Workshop on **Incremental Updating and Versioning of Spatial Data Bases** der ISPRS IC WG II/IV in **Frankfurt/Main**. Auskünfte durch: Ammatzia Peled, e-mail: peled@geo.haifa.ac.il oder: Antony Cooper, e-mail: ACcooper@csir.co.za

14.–18. Oktober: 4th **African Association of Remote Sensing of the Environment (AARSE) Conference** in **Abudja**, Nigeria. Auskünfte durch: Dr. Tsehaie Woldai, Tel.: +31-53-487 42 79, Fax: +31-53-487 43 36, e-mail: woldai@itc.nl, www.aarse.org/ oder: www.itc.nl/~aarse

23.–27. Oktober: SPIE's 3rd International Asia-Pacific Symposium on **Remote Sensing of the Atmosphere, Environment and Space** in **Hangzhou**, China. Auskünfte durch: Kristi Kelso, Tel.: +1-360-676-32 90, Fax: +1-360-647-14 45, e-mail: kristi@spie.org, www.spie.org/

8./9. November: The 10th ACM International Symposium on **Advances in Geographic Information Systems (ACM-GIS 2002)** in **McLean**, VA, USA. Auskünfte durch: Shu-Ching Chen, Tel.: +1-305-348-34 80, Fax: +1-305-348-35 49, e-mail: chens@cs.fiu.edu, www.cs.fiu.edu/ACM_GIS2002/

11.–15. November: ISPRS Symposium Com. I, **Integrating Remote Sensing at the**

Global, Regional and Local Scale. Joint meeting with **Pecora XV** in **Denver**, CO, USA. Auskünfte durch: Pres. Prof. Stanley A. Morain, e-mail: smorain@spock.unm.edu und: Amy Budge, Tel.: +1-505-277-36 22 ext.231, Fax: +1-505-277-3614, e-mail: abudge@spock.unm.edu, http://isprscommission1.unm.edu/symposium.htm, www.commission1.isprs.org/, www.asprs.org/pecora-isprs-2002

3.–6. Dezember: ISPRS Symposium Com. VII **Resource and Environmental Monitoring** in **Hyderabad**, Indien. Auskünfte durch: Pres. Dr. Rangnath Navalgund, Tel.: +91-79-676 88 62, Fax: +91-79-676 27 27 35, e-mail: rangnath@ad1.vsnl.net.in, Symposium Secretariat, Tel.: +91-40-387 89 62 oder 387 83 60, Fax: +91-40-387 72 10, e-mail: isprstcvii@nrca.gov.in, www.impelindia.com/isprs/symp.html oder www.commission7.isprs.org/

12. Dezember: Second International Workshop on **Web and Wireless Geographical Information Systems (W2GIS 2002)** and 3rd International Conference on **Web Information Systems Engineering (WISE 2002)** in **Singapur**. Auskünfte durch: Prof. Christophe Claramunt, Tel.: +33-2-9823-42 06, Fax: +33-2-9823-38 57, e-mail: iclaramunt@ecole-navale.fr oder: Dr. Bo Huang, e-mail: icvehb@nus.edu.sg, www.eng.nus.edu.sg/civil/conf/wgis2002/pipe.cais.ntu.edu.sg:8000/wise2002/

2003

20.–24. Januar: ISPRS Workshop WG V/2 „**Videometrics**“ **SPIE Electronics Imaging Symposium** in **St. Clara**, CA, USA. Auskünfte durch: Sabry El-Hakim, Tel.: +1-613-991-63 81, Fax: +1-613-952-02 15, e-mail: sabry.el-hakim@nrc.ca

16.–19. Februar: The Australian Society of Exploration Geophysicists **16th Geophysical Conference and Exhibition Growth Through Innovation** in **Adelaide**, Australien. Auskünfte durch: Anna Dutkiewicz, Tel.: +30-

610-99 78 77, e-mail: aseg2003@aseg.org.au, www.aseg.org.au/conference/Adelaide

27./28. Februar: **GEOVIS 2003** – Aktuelle Entwicklungen in der Erschließung und Visualisierung von Geoinformation in **Hannover**. Veranstalter: Kommission „Geoinformation und Visualisierung“ der DGfK in Zusammenarbeit mit der Universität Hannover. Auskünfte durch: Dr. Doris Dransch, Leiterin der Kommission, und www.geovis-dgfk.de

16.–22. Februar: **12. Internationale Geodätische Woche** in **Obergurgl**, Tirol, Österreich. Veranstalter: Institut für Geodäsie der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck. Auskünfte durch Tel.: 43-512-507-6757 oder 67 55, Fax: 43-512-507-29 10, Mobiltel.: 43-699-11 04 15 03, e-mail: geodaetischewoche@uibk.ac.at, URL: http://geodaesie.uibk.ac.at/geod_wo.html

25.–28. Mai: 11th International Symposium on **Deformation Measurement** in **Santorini**, Griechenland. Auskünfte durch: Stathis C. Stiros, Tel.: +30-610-99 78 77, e-mail: stiros@upatras.gr, www.fig.net/fig-tree/events/events2003.htm

3.–6. Juni: **23rd EARSeL Symposium** in **Gent**, Belgien. Auskünfte durch: Prof. Rudi Goossens, University of Gent, e-mail: rudi.goossens@rug.ac.be und earsel@meteo.fr

30. Juni–11. Juli: 23rd IUGG General Assembly **IUGG 2003** in **Sapporo**, Japan. Auskünfte durch: Sekretariat Tel.: +81-468 66-55 41, e-mail: IUGG_service@jam-stec.go.jp, www.jamstec.go.jp/jamstec-e/iugg/index.html

1.–3. Juli: ISPRS WG V/4 Workshop **Vision Techniques for Digital Architectural and Archaeological Archives** in **Ancona**, Italien. Auskünfte durch: Hirofumi Chikatsu (Chair WG V/4), e-mail: chikatsu@g.dendai.ac.jp und: Gabriele Fangi (Co-Chair

WG V/4), Tel.: +39-71-220 47 42, Fax: +39-71-220 47 29, e-mail: fangi@popsci.unian.it und: fangi@mta01.unian.it

21.–25. Juli: **IEEE/IGARSS 2003** in **Toulouse**, Frankreich. Auskünfte durch: Dr. Bill Emery, e-mail: Emery@frodo.colorado.edu, www.ewh.ieee.org/soc/grss/igarss.html

13.–15. August: The 4th International Symposium on **Mobile Mapping Technology „MMT 2003“** in **Kunming**, China. Auskünfte durch: Prof. Vincent Tao, Tel.: +1-403-220-58 26, Fax: +1-403-284-19 80, e-mail: ctao@ucalgary.ca, www.ucalgary.ca/~ctao

1.–5. September: **49. Photogrammetrische Woche** in **Stuttgart**

17.–19. September: **INTERGEO 2003** in **Hamburg**

17.–19. September: ISPRS Joint Conference of WG II/IV, III/4, III/5, III/6 „**Photogrammetric Image Analysis**“ in **München**. Auskünfte durch: Prof. Helmut Mayer, Tel.: 089-6004-34 29/34 55, Fax: 089-6004-40 90, e-mail: Helmut.Mayer@UniBw-Muenchen.de

30. September – 4. Oktober: **CIPA Symposium „New Perspectives to Save Cultural Heritage“** in **Antalya**, Türkei. Auskünfte durch: Symposium-Direktor Prof. Dr. Orhan Altan, Tel.: +90-212-285 38 10, Fax: +90-212-285 65 87, e-mail: oaltan@itu.edu.tr, www.cipa2003-antalya.com/

2004

12.–23. Juli: XXth **ISPRS Congress – Geo Imagery Bridging Continents** in **Istanbul**, Türkei. Auskünfte durch: Kongressdirektor Prof. Dr. Orhan Altan, Tel.: +90-212-285-38 10, Fax: +90-212-285-65 87, e-mail: oaltan@srv.ins.itu.edu.tr, www.isprs2004-istanbul.com

Buchbesprechung

BUZIN, REINER & WINTGES, THEODOR, Hrsg. (2001): *Kartographie 2001 – multidisziplinär und multidimensional*. Beiträge zum 50. Deutschen Kartographentag. XX, 417 S. mit CD ROM. Kartoniert. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. www.huethig.de oder www.geo-point.de. ISBN 3-87907-381-3. € 68,-

Das Buch „Kartographie 2001 – multidisziplinär und multidimensional“ enthält die Beiträge zum 50. Deutschen Kartographentag, der in Berchtesgaden stattfand. Passend zum Austragungsort stand der Kongress unter dem Motto „Kartographie alpiner Regionen“.

In dem 417 Seiten umfassenden Buch sind ca. 40 Beiträge enthalten, die alphabetisch nach den Namen ihrer Erstautoren geordnet sind.

Wie der Titel des Buches bereits andeutet, soll in den Beiträgen versucht werden, eine Brücke zwischen den unterschiedlichen geowissenschaftlichen Disziplinen zu schlagen. Es werden Methoden der angewandten Geoinformatik in Bezug auf das Aufstellen von Modellen und die Durchführung von Umweltsimulationen vorgestellt. Das zweite Schlagwort „multidimensional“ steht für eine Weiterentwicklung der Visualisierung raumbezogener Geoinformationen von 2D nach 3D.

Die folgenden Themenschwerpunkte werden in den verschiedenen Beiträgen ausführlich behandelt: Geschichte der Kartographie, Ausbildung und Arbeitsmarkt für Kartographen, Geodatenbanken, neue Atlasformen, europäische Kartographie, Einsatz von GIS in der Kartographie, 3D-Visualisierung, Internet und mobile Kartographie. Die letzten beiden Themen können unter der Rubrik „Kartographie im neuen Millennium“ zusammengefasst werden, da sie zukünftige Entwicklungen in der Kartographie aufzeigen.

Unter der Thematik Geschichte der Kartographie werden historische Karten und die

Entwicklung der Kartographie von ihren Anfängen bis zur heutigen Zeit beschrieben. Neben den Beiträgen zur Ausbildungssituation in der Schweiz und in Österreich werden in einem Aufsatz von KAMMERER, P. und KRZYSZEK, P. die Vorteile der neuen Abschlüsse Bachelor und Master für Unternehmen, Hochschulen und Studenten aufgezählt. JÄSCHKE, U. stellt in seinem Beitrag „Kartographie 2000 – ein Berufsbild im Wandel?“ sechs Thesen zur Entwicklung des Berufsbildes Kartograph/in auf, mit denen er zur Diskussion anregen will.

Während der Beitrag von DIEZ, D. ausführlich auf den Schutz kartographischer Datenbanken und digitaler Karten nach europäischem und internationalem Recht eingeht, versucht MCCUTCHEON, E. die Vor- und Nachteile des Einsatzes kommerzieller Datenbanken aufzuzeigen.

In zwei Beiträgen wird auf die so genannten virtuellen Atlanten eingegangen. Es wird ein Vergleich dieser digitalen und z.T. webbasierten Atlanten mit den herkömmlichen Papieratlanten durchgeführt.

In drei Beiträgen zur europäischen Kartographie werden länderübergreifende Projekte beschrieben, die Probleme, die dabei auftraten bzw. immer noch auftreten, aber auch die positiven Erfahrungen, die in diesem Zusammenhang gemacht wurden.

Fünf Beiträge beschäftigen sich mit dem Thema GIS in der Kartographie. Da der Einsatz von GIS in Umweltprojekten mittlerweile zum Standard geworden ist, bietet es sich an, die relevanten Karten mit Hilfe eines GIS und eventueller Erweiterungen herzustellen.

Im Themenbereich 3D-Visualisierung widmet sich BUCHROITHNER, M.F. den Elementen der räumlichen Wahrnehmung und fasst die Verfahren zur Erzeugung eines visuellen Raumeindrucks zusammen. Weitere Beiträge befassen sich mit 3D-Karten im WWW und dem Einsatz der Virtuellen Realität.

Im letzten Themenschwerpunkt stellen HURNI, L. et al. aktuelle Webtechniken und

deren Anwendung vor. Außerdem enthält der Beitrag einen tabellarischen Vergleich der beiden Vektorformate Flash und SVG. Der Aufsatz von REICHENBACHER, T. führt in ein Konzept zur adaptiven und kontextbezogenen Visualisierung für mobile Benutzer ein.

Dem Buch liegt eine CD bei, auf der alle Beiträge im PDF-Format enthalten sind. Da das gedruckte Buch keine Farbabbildungen enthält, erweitert die CD die Beiträge in diesem Tagungsband um deren Farbabbildungen und -karten.

JAN-MARTIN BOFINGER, Stuttgart

Zum Titelbild



Copyright: Z/I Imaging, www.ziimaging.de

Digitale Modulare Kamera DMC

Das Titelbild zeigt Ausschnitte eines digitalen Luftbildes, das mit der Digitalen Modularen Kamera DMC von Z/I Imaging während einer Flugerprobung aufgenommen wurde. Dieser Bildflug wurde am 27. Februar 2002 in Anwesenheit einer Gruppe weltweit operierender Bildflugfirmen unter äußerst untypischen Wetterbedingungen durchgeführt.

Photogrammetrische Reihemesskamern der Serie RMK wurden vom Geschäftsbereich Photogrammetrie bei Carl Zeiss seit den frühen 20er Jahren entwickelt. Sie werden seit vielen Jahrzehnten sehr erfolgreich für die Luftbildaufnahme in der Photogrammetrie und für die Luftbild-Interpretation eingesetzt. Als Joint-Venture zwischen den Photogrammetrieabteilungen

der Firmen Intergraph und Carl Zeiss setzt Z/I Imaging diese langjährige Tradition jetzt mit der Digitalen Modularen Kamera DMC fort. Die Vorstellung der DMC Konzeption erfolgte auf der 47. Photogrammetrischen Woche 1999 in Stuttgart. Das DMC Kamerasystem besteht aus 8 Kameraköpfen, deren Verschlüsse synchron ausgelöst werden. Jeder Kamerakopf verfügt über seinen eigenen Verschluss und sein eigenes Objektiv. Die geometrische Bodenauflösung und die Spektralkanäle können auf verschiedene Anwendungsbereiche abgestimmt werden. Bis zu vier parallel ausgerichtete multispektrale Kameraköpfe können gleichzeitig mit bis zu 4 konvergent angeordneten panchromatischen Kameraköpfen in einem gemeinsamen Objektivtubus zum Einsatz kommen. Die multispektralen Kameras zeichnen die Bildinformation in den Farbkanälen rot, grün, blau sowie im nahen Infrarotbereich auf. Die panchromatischen Kameraköpfe zeichnen gleichzeitig ein hochaufgelöstes Bildmosaik mit bis zu 14000×8000 Bildelementen auf. Die multispektralen Kameraköpfe und das Mosaik der höher auflösenden panchromatischen Kameraköpfe haben die gleiche Bodenabdeckung.

Seit der Konzeptvorstellung im Jahr 1999 ist fortlaufend über den Entwicklungsfortschritt dieses ehrgeizigen Projektes berichtet worden. Im Dezember 2001 wurde nun ein weiterer Meilenstein mit der Inbetriebnahme der ersten mit 8 Kameraköpfen voll ausgerüsteten DMC erreicht. Die ersten praktischen Flugerprobungen wurden direkt im Anschluss im Januar 2002 begonnen. Nun sind die Wintermonate auf der

Schwäbischen Alb nicht die urtypische Hauptsaison für Bildflüge. Trotzdem wurde in den Wochen von Mitte Januar bis Ende Februar eine Serie von Bildflügen über der Ostalb und verschiedenen Regionen Deutschlands durchgeführt. Der Erfolg und Fortschritt des Projektes zeigt sich zum einen in den gut 1000 aufgezeichneten digitalen Luftbildern. Neben der reinen Funktionsprüfung und der Verifizierung des Entwicklungsstandes boten diese Bildflüge im Winter jedoch auch eine gute Gelegenheit, die einzigartige Leistungsfähigkeit der neuen Kamertechnologie unter Beweis zu stellen.

Der vorläufige Abschluss und gleichzeitig auch Höhepunkt dieser ersten Flugtestserie war die Life-Vorführung der Digitalen Modularen Kamera am 27. Februar auf dem Flugplatz Elchingen, ca. 10 km östlich von Oberkochen gelegen. Wie die folgenden Flugdaten belegen, herrschte an diesem Tag absolut kein Bildflugwetter. Da bei der DMC Entwicklung jedoch großer Wert auf Alltagstauglichkeit gelegt wurde, ist ein kleiner Bildverband direkt über dem Flugfeld unterhalb der Wolken aufgenommen worden. Dank der einzigartigen Kompensation der kreiselstabilisierten Kameraplattform T-AS konnte das vorliegende Bildmaterial bei den starken Seitenwinden und Turbulenzen sowie gleichzeitig extrem langen Belichtungszeiten erflogen werden.

Aufnahmedaten am 27.2.2002:
 Flughöhe: 170 m
 Bildmaßstab: 1 : 1 400
 Fluggeschwindigkeit: 70 m/sec
 Belichtungszeit: 1/100 sec
 Bodenauflösung: 1,6 cm/Pixel
 Bewegungskompensation während der Belichtungszeit (FMC): 45 Pixel

Das Titelbild zeigt einen Ausschnitt von ca. 400×400 Pixel (ca. $6,5 \text{ m} \times 6,5 \text{ m}$) aus einem Gesamtbild mit ca. $13\,500 \times 7\,500$ Pixel ($220 \text{ m} \times 120 \text{ m}$). Der Ausschnitt zeigt die „Sonnenterrasse“ der Flughafengaststätte Elchingen und die am Boden liegenden Tischdecken sind ein anschaulicher Beleg für die bodennahen Windverhältnisse an diesem Tag. Zum Glück blieb eine Tisch-

decke liegen und kann jetzt als „Auflösungstest“ genutzt werden. Der blau gerahmte Teil zeigt einen vergrößerten Teil dieses „Auflösungstests“: Die Linienpaare dieser blau-weißen Tischdecke haben einen Abstand von 5,8 cm. Die erreichte Bodenauflösung von 1,6 cm pro Pixel lässt sich so sehr anschaulich überprüfen. Auf Grund der schwachen Lichtverhältnisse musste mit einer extrem langen Belichtungszeit von 1/100 Sekunden geflogen werden. Mit einem FMC-Schub von annähernd 50 Pixel werden dabei alle Erwartungen an die Digitale Modulare Kamera DMC übertroffen. Teilnehmer an diesem einzigartigen Flugtest bestätigten, dass die vorliegenden Ergebnisse mit konventioneller filmbasierter Luftbildtechnologie nicht zu erzielen sind.

Diese Leistungsfähigkeit ist der elektronischen Bewegungskompensation sowie der verwendeten CCD-Flächensensoren zu verdanken. Neben der hohen geometrischen Bodenauflösung ist diese Bewegungskompensation auch der Garant für die hohe radiometrische Auflösung; selbst bei ungünstigen Lichtbedingungen. Physikalische Parameter wie Fluggeschwindigkeit und Lichtmenge setzen sonst die Grenzen bei der Bodenauflösung. Seit 20 Jahren werden sie bei modernen Luftbildkamern durch die Bewegungskompensation FMC weitestgehend ausgeglichen.

Die hohe technische Leistungsfähigkeit des digitalen Kamerasystems DMC sowie der Fortschritt des Projektes hat die Anwesenden am 27.2. sehr beeindruckt und auch die Ergebnisse, die noch am selben Tag in digitaler Form auf Photogrammetrischen Workstations betrachtet werden konnten, wurden als überaus positiv gewertet. Z/I Imaging wird natürlich die Entwicklung vorantreiben, um baldmöglichst über weitere Meilensteine und erste photogrammetrische Anwendungen berichten zu können.

Weitere Informationen zum Digitalen Modularen Kamerasystem DMC sowie zu anderen ZI-Produkten erhalten Sie über unsere Hotline 07364/20-6500.

HELMUT HEIER, Oberkochen

Neuerscheinungen

- EMMANUEL P. BALTSAVIAS, ARMIN GRUEN & LUC VAN GOOL (Hrsg.), 2001: Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Satellite Images III. Proceedings of an International Workshop, Ascona, June 2001. 425 S., 18 cm × 25 cm. A. A. Balkema Publishers, P.O. Box 1675, 3000 BR Rotterdam, Niederlande, Fax: +31-10-413-5947, e-mail: orders@swets.nl. ISBN 90 5809 252 6, € 129,-
- CARSTEN JÜRGENS, 2001: Einsatz von Fernerkundungs- und GIS – Techniken zur vergleichenden Abflussmodellierung mesoskaliger Flusseinzugsgebiete. Regenburger Geographische Schriften Heft 34, 223 S., 64 Abb., 43 Tab., 4 Fotos, 15 Farbbeilagen. ISBN 3-88246-221-3, € 25,-
- S. NEUDECK, 2001: Zur Gestaltung topographischer Karten für die Bildschirmvisualisierung. Schriftenreihe der Universität der Bundeswehr München, Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Heft 74, 132 S., Werner-Heisenberg-Weg 39, D-85577 Neubiberg. ISSN 0173-1009
- FRANZ LÖFFLER u. a., 2002: Handbuch Ingenieurgeodäsie – Maschinen- und Anlagenbau. 2. völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. 419 S., gebunden. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg (www.huethig.de). ISBN 3-87907-299-X, € 86,-
- MICHAEL MÖSER u. a., 2002: Handbuch Ingenieurgeodäsie – Straßenbau. 2. völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. 292 S., gebunden. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg (www.huethig.de). ISBN 3-87907-298-1, € 82,-
- YVES EGELS & MICHEL KASSER (Edit.), 2002: Digital Photogrammetry. 376 S., davon 30 S. Architekturphotogrammetrie. Hardback. Taylor & Francis, www.tandf.co.uk/books/default.html, £ 60,-
- FRITZ DEUMLICH & RUDOLF STAIGER, 2002: Instrumentenkunde der Vermessungstechnik. 9., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. IX, 426 S., gebunden. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg (www.huethig.de). ISBN 3-87907-305-8, € 86,-
- THOMAS BLASCHKE (Hrsg.), 2002: Fernerkundung und GIS. Neue Sensoren – innovative Methoden. VII, 264 S., kartoniert. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg (www.huethig.de). ISBN 3-87907-369-4, € 42,-
- ELLEN SALLET, 2002: Fachwörterbuch Fernerkundung und Geoinformation. 300 S., gebunden. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg (www.huethig.de). ISBN 3-87907-378-3, € 56,-
- WILHELM BENNING, 2002: Statistik in Geodäsie, Geoinformation und Bauwesen. X, 309 S., kartoniert. Hüthig Verlag, Heidelberg (www.huethig.de). ISBN 3-87907-383-X, € 29,80
- UWE BERNHARDT, 2002: GIS-Technologien in der New Economy. XIV, 345 S., kartoniert. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg (www.huethig.de oder www.geopoint.de). ISBN 3-87907-357-0, € 62,-
- GÜNTER HAKE, DIETMAR GRÜNREICH & LIQU MENG, 2002: Kartografie. Visualisierung raum-zeitlicher Informationen. 8. vollst. neu bearb. und erweit. Auflage. 15,5 cm × 23 cm. XIII, 604 S., mit CD ROM, brosch. Walter de Gruyter GmbH & Co. KG Berlin. ISBN 3-11-016404-3, € 42,95