

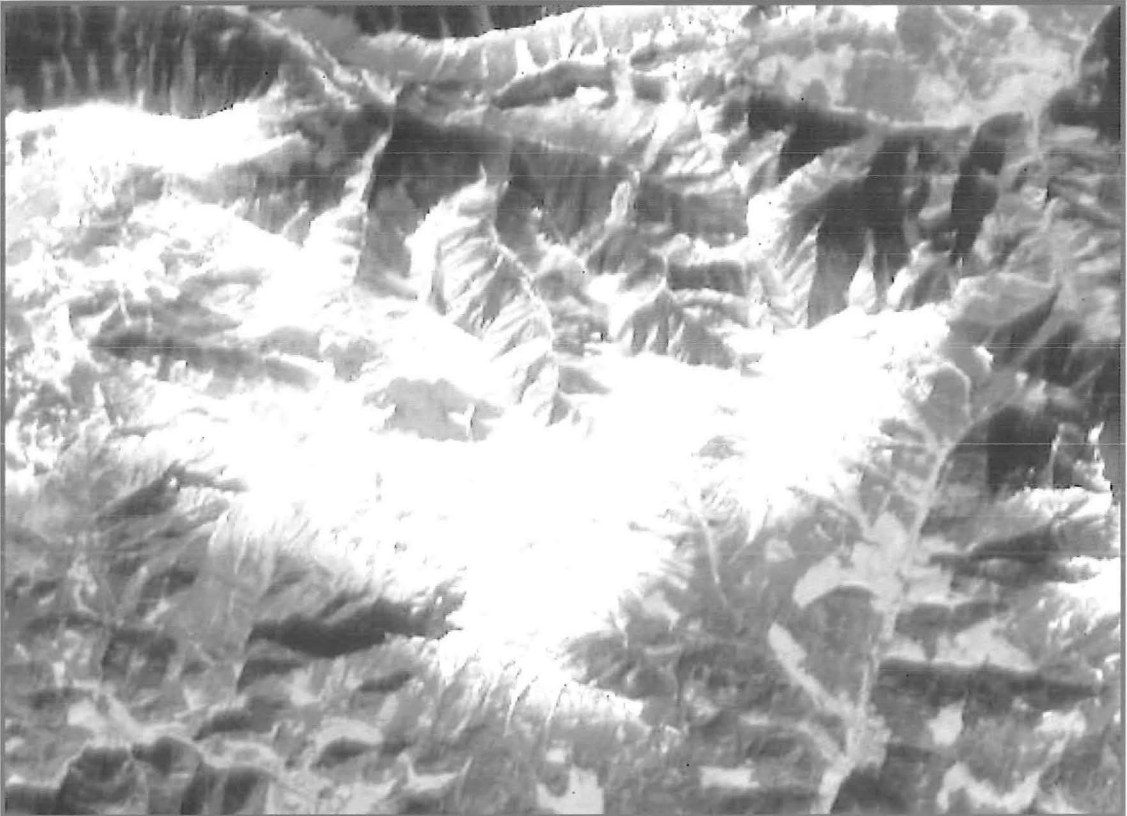
VGI

Österreichische Zeitschrift für **VERMESSUNG & GEOINFORMATION**

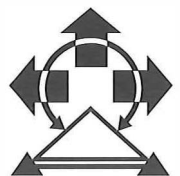
89. Jahrgang 2001

Heft 2/2001

Organ der Österreichischen Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation und der Österreichischen Geodätischen Kommission



Klassifizierung der Schneebedeckung aus Satellitenaufnahmen
Radarfernerkundung zur Erfassung des globalen CO₂-Kreislaufs
Direkte Georeferenzierung von Luftbildern
DGM im Stadtgebiet aus Laser-Scanner-Daten
Vermessung von Massenrohstoff-Abbauen mittels FE
Digitales "Atlas-Informationssystem" von Österreich
Rauminformationssystem Österreich



Institut für Geodäsie
Baufakultät
Leopold-Franzens Universität
Innsbruck

o. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Günter
Chesi



Österreichische Gesellschaft
für
Vermessung und
Geoinformation

Dipl.-Ing. Wolfgang
Niedermayr

Semesterprogramm – Winter 2001/2002

Donnerstag,
4. Oktober 2001,
18 Uhr 15

"3D-Laserscanning mit Cyrax 2500 "

Dipl.-Ing. Thomas SCHOCK
Leica-Geosystems München

Donnerstag,
25. Oktober 2001,
18 Uhr 15

"Neue Wege des Vermessungsingenieurs"
mit ausgewählten Beispielen einer zusätzlichen Auslandstätigkeit

Dipl.-Ing. Günter FLEISCHMANN
Ingenieurkonsulent für Vermessungswesen, Salzburg

Donnerstag,
29. November 2001,
18 Uhr 15

"Vermessung und Baukunst als Partner"
Aufnahme und Visualisierung eines Gaudi-Bauwerkes in
Barcelona

Univ. Prof. Rainer GRAEFE, Institut f. Baugeschichte u.
Denkmalpflege
a.o. Univ. Prof. Albert GRIMM, Institut für Geodäsie
a.o. Univ. Prof. Klaus HANKE, Institut für Geodäsie
Universität Innsbruck

Donnerstag,
24. Jänner 2002,
18 Uhr 15

"Der Vermessungsingenieur – ein Beruf mit Zukunft?"
Die Auswirkungen geänderter Rahmenbedingungen erfordern ein
Umdenken in Ausbildung und Berufspraxis im öffentlichen und
privaten Sektor

Dipl.-Ing. Gerda SCHENNACH
Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Stab L/BEV, Wien

Alle Veranstaltungen finden im Hörsaal B722, Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck statt.

Schriftleiter: Dipl.-Ing. Reinhard Gissing
Stellvertreter: Dipl.-Ing. Wolfgang Gold
Dipl.-Ing. Karl Haussteiner
A-1025 Wien, Schiffamtsgasse 1-3

Organ der Österreichischen Gesellschaft für
Vermessung und Geoinformation und der
Österreichischen Geodätischen Kommission

INHALT

Seite

J. Jansa:

**Die Klassifizierung der Schneebedeckung aus Satellitenaufnahmen im
kleinräumigen alpinen Bereich in Theorie und Praxis** 50

W. Wagner:

**Beiträge der Radarfernerkundung zur Erfassung des globalen
CO₂-Kreislaufs** 64

C. Ressler:

Direkte Georeferenzierung von Luftbildern in konformen Kartenabbildungen 72

C. Briese, P. Belada, N. Pfeifer:

Digitale Geländemodelle im Stadtgebiet aus Laser-Scanner-Daten 83

F. Kelnhofer:

Digitales „Atlas-Informationssystem“ von Österreich 91

M. Seger:

**Rauminformationssystem Österreich – ein digitaler thematischer
Datensatz des Staatsgebietes** 101

S. Pfeleiderer, G. Letouzé-Zezula:

**Vermessung von Massenrohstoff-Abbauen mittels hochauflösender
Fernerkundungsdaten** 110

J. Fabiankowitsch, A. Jandl:

Vergleich der Auswertemethoden von Naturbestandsaufnahmen 116

Dissertationen und Diplomarbeiten 124

Mitteilungen und Tagungsberichte 129

Veranstaltungskalender 133

Recht und Gesetz 133

Buchbesprechungen 134

Impressum 136

Titelbild: Satellitenaufnahme aus dem Hauptartikel J. Jansa: © Copyright: SPOT Image, CNES. Aufnahme: SPOT 2, XS-Mode, 18.2.1998, 9:54 UT, Bodenauflösung 20m x 20m, Schrägblick nach Westen unter 14 Altgrad. Bearbeitung am I.P.F.: kontrastverbesserte Farbinfrarotdarstellung, Geometrische Korrektur auf GK M28 mit Hilfe eines Geländemodells



Die Klassifizierung der Schneebedeckung aus Satellitenaufnahmen im kleinräumigen alpinen Bereich in Theorie und Praxis

Josef Jansa, Wien

Zusammenfassung

Das Wissen um die aktuelle Schneelage ist weltweit von großem Interesse (Stichwort: Klimaüberwachung, Wasserversorgung, etc.). In diesem Zusammenhang ist auch die Klassifizierung von Schnee aus Satellitenaufnahmen seit Jahren von wissenschaftlichem Interesse. Für die Wiener Wasserwerke wurde ein Pilotprojekt gestartet, mit dem die Schneeschmelze in den Quellgebieten modelliert werden soll. Die Schneeklassifizierung dient der Kalibrierung dieses Modells. Hier wird ein Überblick über die Problematik gegeben und vorgestellt, wie im konkreten Fall vorgegangen wurde. Zunächst gibt es eine Einführung über die Eigenschaften des Schnee und seiner Erscheinungsform in Bildern der optischen Sensoren und der Mikrowellensysteme. Dann wird genauer auf den verwendeten Klassifizierungsvorgang, der im wesentlichen aus einer unüberwachten Klassifizierung mit Beleuchtungsberücksichtigung bzw. einer Ratio-Bildung aus zeitlichen Bildfolgen besteht. Die Beschreibung der Vorgehensweise wird mit Beispielen unterlegt.

Abstract

Knowledge about current snowcover is of great interest world-wide (cue: monitoring climate change, water supply, etc). In this context classification of snow from satellites has been of scientific interest for years. The Vienna Water Supply Authority has initiated a pilot project which focuses on modelling snowmelt in the areas of fresh water springs. The classification of snow is used for calibration purposes of the model. In this article an overview of the problem is presented describing the procedure within the project. A first part is dedicated to snow properties and appearance of snow in images from optical and microwave sensors followed by a more detailed description of the classification approach, that is based on an unsupervised classification taking into account illumination and on a ratio calculation of temporal image sequences, respectively. The text is complemented by examples.

1. Einleitung

Die Klassifizierung der Schneedecke scheint, so der erste Eindruck, eine einfache Aufgabe zu sein, da sich für den menschlichen Interpreten Schnee gewöhnlich deutlich von anderen Bodenbedeckungsklassen unterscheidet. Offenkundig wird das Problem allerdings, wenn man an Bewölkung denkt, die in den Bildern aus spektraler Sicht oft dasselbe Erscheinungsbild wie Schnee zeigt und, wenn überhaupt, oft nur durch die Form und Struktur richtig erkannt werden kann. Das Problem der Schneeklassifizierung ist dennoch wesentlich diffiziler. Zuerst ist zu klären, was man unter Klassifizierung verstehen soll: Geht es darum, „Schnee“ von „Nicht-Schnee“ zu unterscheiden oder geht es darum, bestimmte Schnee-Eigenschaften herauszufinden, wie etwa Körnigkeit, Feuchtigkeit, Verschmutzung, Aufbau der Schneedecke und ähnliches mehr? Beide Fragestellungen sind nicht unabhängig voneinander zu betrachten, weil schon für das Erkennen von Schnee aufgrund seiner verschiedenen Eigenschaften erforderlich ist, daß man sich detaillierter mit den möglichen Erscheinungsformen befaßt.

1.1. Motivation

Die Wiener Wasserwerke, als Verantwortliche für die nachhaltige Bewirtschaftung der Trinkwasserquellen, widmen sich schon lange neben den Fragen der Qualitätssicherung auch jener der Versorgungssicherung. Die Vorhersage des Wasseraufkommens und die Abschätzung des in den Quellgebieten schlummernden Wasserpotentials ist ein wesentlicher Punkt. Die Wasserwerke haben daher im Jahre 1998 ein Pilotprojekt angeregt, in welchem untersucht werden sollte, ob es nicht möglich wäre, über geeignete Schneeschmelzmodellierung laufend über den aktuellen Stand der in der Schneedecke gebundenen Wasserreserven informiert zu sein. Als Untersuchungsgebiet wurde die Schneeealpe in den Kalkalpen westlich der Rax vorgeschlagen. Diese Aufgabenstellung wurde auch vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur (vormals Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr) als förderungswürdig erkannt und über einen Forschungsauftrag unterstützt. Daneben erklärte sich auch die ESA (European Space Agency) bereit, im Rahmen eines Announcement of Opportunity Daten des Satelliten ERS kostenfrei zur Verfügung zu stellen. Das gesamte Projekt war anberaumt für drei Jahre,

beginnend mit dem Anfang der Schneeschmelzperiode des Jahres 1998 und endend mit Ende der Schmelzperiode des Jahres 2000. Die Ausführung der Forschungsarbeiten übernahmen das Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (I.P.F.) und das Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft (IHGW), beide Technische Universität Wien. Außendienst und Aufgaben, die mit der Messung meteorologischer Daten zusammenhängen, übernahmen die Wiener Wasserwerke. Das IHGW hatte in der Vergangenheit Erfahrung in der Schneemodellierung gesammelt und war daher für diesen Aufgabenzweig verantwortlich. Das I.P.F. war für alle Aufgaben in Verbindung mit der Geländeerfassung und -modellierung und für die Bildinterpretation verantwortlich. Eine dieser Detailaufgaben sollte die Schneeklassifizierung aus Satellitenbildern sein, konkret aus SPOT XS und ERS SAR Aufnahmen. Die Ergebnisse dieser Klassifizierung waren als eine Art „Ground Truth“ für Zwecke der Kalibrierung des Schneemodells gedacht. [1]

1.2. Aufgabenstellung

Die detaillierten Anforderungen an die Klassifizierungen sind durch die Erfordernisse der Schmelzmodell-Kalibrierung definiert. Die zentrale Aufgabe war daher, die Schneelage zu erkennen und zwar, wenn irgendwie möglich, genauer charakterisiert durch Einteilung in mehrere Kategorien, die folgendermaßen beschrieben werden können: (1) volle Schneedecke, (2) leicht lückige Schneedecke, (3) stark lückige Schneedecke, (4) Schneefrei. Dadurch soll eine gewisse Aussage über die Schneemenge ausgedrückt werden. Eine Ergänzungsaufgabe war das Feststellen der Schnee-Eigenschaft „Feuchte“. Natürlich wäre auch die Dicke der Schneedecke und deren Aufbau von Interesse, was aber im Rahmen dieser Aufgabenstellung nicht weiter verfolgt wurde. Gesucht ist eine möglichst genaue lagemäßige Kartierung der Schneedecke und nicht, wie bei manch anderen Aufgabestellungen, eine statische Aussage über die Schneemenge.

2. Wahl geeigneter Sensoren

Bevor nähere Überlegungen über die weitere Vorgangsweise angestellt werden, sollen noch einige zusätzliche Projektparameter definiert werden. Es sind folgende Fragen zu klären,

Welche räumliche Auflösung sollen die Satellitenaufnahmen haben? (D.h. wie klein müssen die Pixel am Boden sein?)

Welche spektrale Auflösung ist erforderlich? (D.h. welche und wieviele Spektralbereiche braucht man für die Aufgabe der Schneeklassifizierung?)

Welche zeitliche Auflösung wird benötigt? (D.h. wieviele Satellitenaufnahmen sind in welchem zeitlichem Intervall erforderlich?)

Die Antworten darauf, hängen von verschiedenen Faktoren ab, die entweder durch äußere Rahmenbedingungen festgelegt sind, oder sich aus einer Kosten-Nutzen-Überlegung ergeben, oder durch die Aufgabenstellung vorgegeben werden.

Räumliche Auflösung: Da das Geländemodell in einem 20m-Raster erfaßt wurde und das Schneemodell ebenfalls in einem 20m-Raster aufgebaut wird, erscheint eine Pixelgröße von etwa 20m sinnvoll.

Spektrale Auflösung: Da die Schneeklassifizierung die zentrale Aufgabe ist, muß man überlegen, welche Spektralbereiche für diese Aufgabe auf jeden Fall erforderlich sind. Untersuchungen der spektralen Eigenschaften des Schnees zeigen, daß die im klassischen Farbinfrarotfilm verwendeten Kanäle, nämlich grün, rot und nahes infrarot das absolute Minimum darstellen, daß ein mittlerer Infrarotkanal aber entscheidende Vorteile brächte, besonders in Hinblick auf Schnee-Wolken-Diskriminierung. Denkt man an die Feststellung der Schneefeuchte, so sind Aufnahmesysteme, die im Mikrowellenbereich arbeiten, zu berücksichtigen.

Zeitliche Auflösung: Da die Konzentration auf dem Schneeschmelzvorgang liegt, ist es naheliegend, sich auf die Schmelzperiode zu konzentrieren. Gerade in diesem Zeitraum variiert die Schneedecke am häufigsten und am sichtbarsten. Die Ausaperung läßt Schneemuster erkennen, die sich optimal für den Vergleich der Ergebnisse der Schneeschmelzmodellierung mit jenen der Schneeklassifizierung eignen. Letztlich wurde entschieden, vier Termine im Zeitraum zwischen Feber und Juni als Minimalanforderung festzulegen.

Bei dieser bekannten Aufgabenstellung sind im wesentlichen zwei Fragen zu klären:
Welche Sensoren kommen in Frage?
Welche Auswerteverfahren sind geeignet?

Die Antworten auf diese Fragen werden im allgemeinen einen Kompromiß darstellen, da es erstens kaum Sensoren gibt, die alle Erfordernisse voll erfüllen und, zweitens, die Praxistauglichkeit gewisse Einschränkungen verlangt.

Unter Berücksichtigung oben angeführter Bedingungen kommen zwei Gruppen von Sensoren in Frage:

Optische Sensoren wie LANDSAT TM, IRS1C bzw. 1D LISS, SPOT XS bzw. XI
Mikrowellensysteme wie ERS1/2 AMI SAR oder RADARSAT

Der Einsatz von Landsat TM Aufnahmen für die gestellte Aufgabe ist wohl dokumentiert (z.B. [2], [3]). Die Entscheidung fiel auf SPOT XS (mit einer Präferenz für XI) und ERS AMI SAR. Der Hauptgrund, SPOT zu favorisieren, war die relativ unkompliziert durchführbare Programmierbarkeit der Datenerfassung (mit der die Vorteile der Verschwenkbarkeit der Aufnahmerichtung aus der Flugbahn voll ausgeschöpft werden können) und die Verfügbarkeit von drei sich im Umlauf befindlichen, gleichwertigen Systemen. Dies ist besonders wichtig, da das Untersuchungsgebiet häufig bewölkt ist, und bei regulär durchgeführten Aufnahmen es sehr unwahrscheinlich ist, zu der geforderten Anzahl von Bildern zu gelangen. Selbstverständlich wäre der SPOT XI (mit dem mittleren Infrarotkanal) die bessere Lösung. Da aber XI nur auf dem Satelliten SPOT4 verfügbar ist, wurde auf die alleinige XI-Nutzung verzichtet. Die Entscheidung für ERS wurde aufgrund der Akzeptanz des Announcement of Opportunity Proposals getroffen, wonach die ESA die Mikrowellendaten kostenlos zur Verfügung stellte.

Generell kann man die Vor- und Nachteile von optischen und Mikrowellen-Sensoren, unabhängig von deren speziellen Einsatzbereichen, gegenüberstellen:

Optische Sensoren: Durch die Verfügbarkeit von Multispektralsystemen ist ein sehr breites Anwendungsspektrum gegeben. Außerdem steht eine große Palette standardisierter Auswerteverfahren zur Verfügung. Ein Nachteil ist, daß Wolken ein Sichthindernis bilden und optische Sensoren daher in Gebieten mit häufiger Wolkendecke nur sehr eingeschränkt angewendet werden können.

Mikrowellen-Sensoren: Der zuletzt angeführte Nachteil der optischen Sensoren wird von den Mikrowellensystem überwunden. Sie durchdringen nahezu ungehindert die Wolkendecke. Diesem Vorteil stehen aber einige Nachteile gegenüber. Zunächst sind die Speckles zu erwähnen, Interferenzerscheinungen, die bei Systemen mit synthetischer Apertur (SAR) auftreten und zu einem stark verrauschtem Bild führen. Ein weiterer Nachteil ist, daß die Wechselwirkung zwischen Mikrowellen und Materie relativ kompliziert ist, weshalb die Auswerteverfahren noch nicht sehr

ausgereift sind und wenige Standardverfahren zur Verfügung stehen.

3. Schnee und Schneeklassifizierung im optischen Bereich

Wenn man von optischer Fernerkundung spricht, meint man damit die Erfassung und Auswertung von Daten, die mit Sensoren aufgenommen wurden, die optische Elemente, wie Linsen oder Spiegel, für die Abbildung verwenden. Mit derartigen Systemen können Spektralbereiche vom Ultraviolett bis zu thermischen Infrarot aufgenommen werden. Hier in diesem Abschnitt soll die Konzentration auf dem sichtbaren Licht, dem nahem und mittlerem Infrarot liegen.

Schnee besteht, wenn man ihn genau betrachtet, aus Eiskristallen mit mehr oder weniger dazwischen eingeschlossener Luft. Schnee erscheint uns weiß, da im sichtbaren Bereich das Sonnenlicht nahezu unverfälscht reflektiert wird. Die ursprünglichen Schneekristalle vereinen sich sehr rasch und bilden mehr oder weniger große Eiskörner. Die Form und Größe der Körner sind hängt von den Schmelz und darauffolgenden Gefriervorgängen in der Schneedecke ab. Wenn Schnee schmilzt, so wird das flüssige Wasser wie in einem Schwamm in der Schneedecke festgehalten und bildet damit auch einen wesentlichen Bestandteil, der bei der spektralen Analyse beachtet werden muß. Es ist aber zu bedenken, daß der Wassergehalt selten 10% erreicht, ohne daß flüssiges Wasser in den Boden abfließt oder, wenn der Abfluß behindert wird, sich an der Oberfläche der Schneedecke in Pfützen sammelt.

Weitere Bestandteile der Schneedecke, die das Aussehen signifikant verändern können, sind alle Arten von Verunreinigungen, die durch Staub, Ruß, aber auch Pollen verursacht werden können.

3.1. Schneekarakteristika im optischen Bereich

Für den Interpreten stellt sich die Frage, in welcher Weise die verschiedenen Schneebestandteile das Aussehen im optischen Bereich, d.h. den (wellenlängenabhängigen, gerichteten) Reflexionsgrad ρ_{γ} , beeinflussen.

Aus Untersuchungen hat sich gezeigt, daß der spektrale Reflexionsgrad und dessen Richtungsabhängigkeit von der Korngröße beeinflusst wird, während im Schnee enthaltenes flüssiges Wasser, sofern es deutlich unter dem vorhin erwähnten Wert von 10% liegt, den Reflexionsgrad sehr

wenig beeinflusst. Natürlich ist zu bedenken, daß flüssiges Wasser besonders an der Schneeoberfläche bei Abkühlung, z.B. über Nacht, wieder gefriert, wodurch sich die Korngröße und in der Folge der Reflexionsgrad verändert.

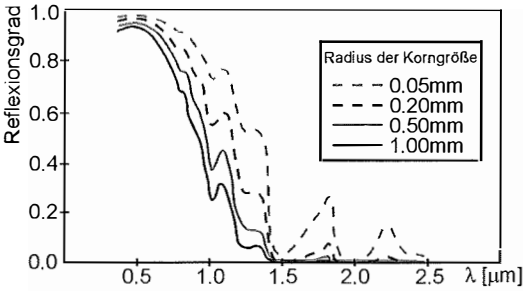


Abb. 1: Reflexionsgrad von Schnee in Abhängigkeit der Korngröße

Abbildung 1 zeigt den spektralen Reflexionsgrad frischgefallenen, reinen Schnees für den Bereich des sichtbaren Lichtes bis zum mittleren Infrarot. Die angegebenen Korngrößen können noch überschritten werden, allerdings würde dies im gezeigten Diagramm keiner wesentlichen Änderungen bedürfen [4].

Man sieht, daß der Schneereflektionsgrad im sichtbaren Bereich von der Korngröße nahezu unabhängig ist. Besonders deutlich wird der Unterschied im nahen Infrarot (zwischen 1 µm und 1.3 µm) und auch im mittleren Infrarot.

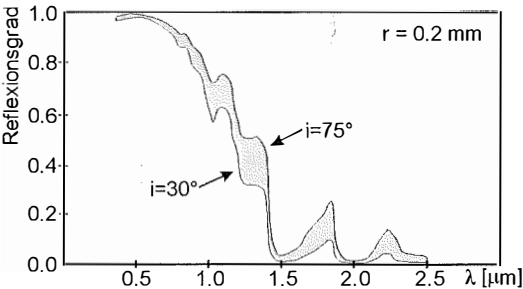


Abb. 2: Richtungsabhängigkeit des Schnee-Reflexionsgrades für eine bestimmte Korngröße

Abbildung 2 zeigt die spektrale Richtungsabhängigkeit des Reflexionsgrades, hier für eine Korngröße von 0.2 mm [5]. Die zwei Randkurven stehen für zwei verschiedene Einstrahlwinkel. Auch hier sieht man, daß der sichtbare Anteil nahezu unbeeinflusst bleibt, sich Schnee also fast wie ein Lambert'scher Reflektor verhält, während wiederum das nahe und mittlere Infrarot im Verhalten deutlich abweichen.

Im folgenden soll beurteilt werden, inwieweit die SPOT XS bzw. XI Aufnahmen für Schneeklassifizierung geeignet sind. Die Abbildung 3 entspricht der Abbildung 1, wobei zusätzlich der spektrale Reflexionsgrad der Wolken (mit einer Tropfengröße zwischen 4 µm und 20 µm) eingezeichnet wurde [6]. Überlagert wurden die Spektralbänder, für welche die SPOT XS und XI Sensoren empfindlich sind.

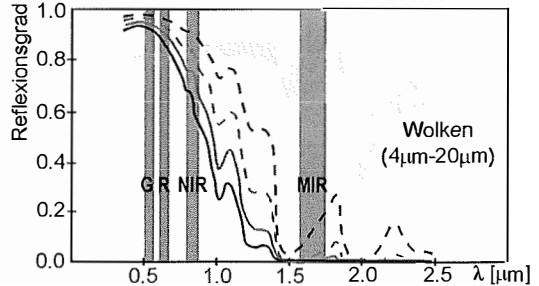


Abb. 3: Reflexionsgrad von Schnee und Wolken in Bezug zur spektralen Empfindlichkeit der SPOT Sensoren

Wie deutlich zu erkennen ist, hat im Falle von SPOT XS (mit Sensoren für den grünen (500–590 nm), roten (610–680 nm) und nahen Infrarot-Bereich (790–890 nm)) in allen verfügbaren Kanälen Schnee durchwegs hohen Reflexionsgrad. Nahezu gleich hohen Reflexionsgrad weisen Wolken auf, was darauf schließen läßt, daß Schnee von Wolken in den Aufnahmen nicht zu unterscheiden sind. Wäre man auch an einer Diskriminierung der Schneekörnung interessiert, so wäre SPOT XS ebenfalls wenig geeignet. Sieht man sich dagegen SPOT XI an, der auch das mittlere Infrarot (1580–1750 nm) zur Verfügung stellt, so kann man ganz deutlich Wolken von Schnee unterscheiden. Körnungsklassifizierung wäre aber nach wie vor schwierig, wenn auch in gewissen Fällen denkbar.

3.2. Radiometrisches Verhalten und Korrekturmöglichkeiten

Anhand eines konkreten Satellitenbildes soll eine erste visuelle Beurteilung der Möglichkeiten der Schneeklassifizierung erfolgen. In Abbildung 4 ist eine Farbinfrarotdarstellung der Aufnahme vom 18. Feber 1998 gezeigt. Der Überflug erfolgte um 10 Uhr 54 (MEZ) vormittags bei einer Sonnenhöhe von 28° und einem Sonnenazimut von 158°. Was sofort auffällt, wenn man sich auf Schnee konzentriert, sind nicht irgendwelche Unterschiede, die durch Schneeeigenschaften verursacht werden, sondern jene, die durch die Beleuchtung bedingt sind. Es gibt sehr starke

Überstrahlungen bis zur Sensorsättigung an den sonnenzugewandten Schneehängen, während andere Bereiche zur Gänze im Schatten liegen und nie von der Sonne erreicht werden.

graphische Normalisierung“. Ansätze dieser Art versuchen, die wesentlichen Strahlungsanteile, welche für die Belichtung im Sensor verantwortlich zeichnen, zu modellieren. Die Skizze in Ab-

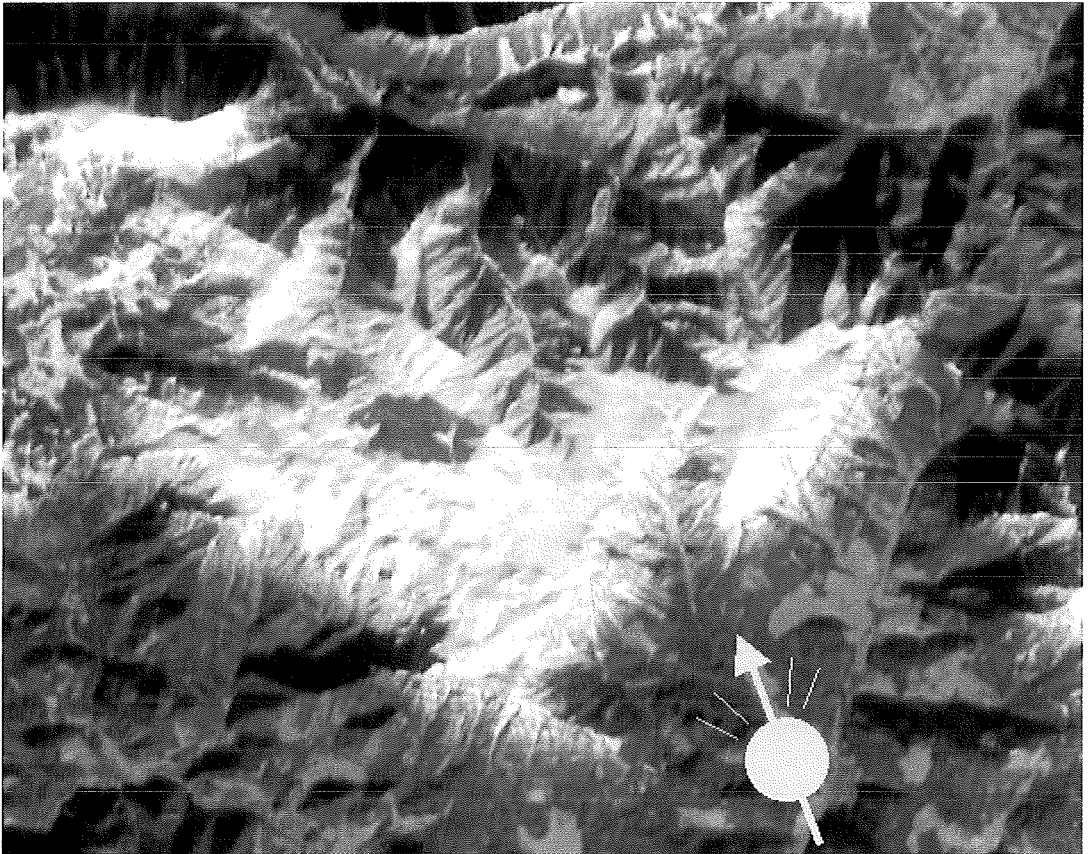


Abb. 4: SPOT XS Aufnahme vom 18.2.1998, Farbinfrarotdarstellung

Bei idealen Bedingungen sollten Helligkeits- und Farbunterschiede im Bild auf folgende Eigenschaften zurückzuführen sein:

Objekttyp (z.B. Schnee, Wald, Wiese, . . .)
Eigenschaften des Typs (z.B. Pulverschnee, Harsch, . . .)

Die Klassifizierung lieferte demnach die Objektklassen und eventuell deren Unterklassen.

Die tatsächlichen Gegenheiten zeigen aber, daß Helligkeits- und Farbunterschiede zwar auch vom Objekttyp herrühren, aber nicht unwesentlich durch unterschiedliche Beleuchtung hervorgerufen werden. Der Klassifizierungsansatz kann daher sehr komplex werden. Vorteilhaft wäre die Berücksichtigung der Beleuchtungseinflüsse mit Hilfe der sogenannten „topo-

bildung 5 soll helfen, die Komplexität der Verhältnisse zu veranschaulichen.

Die Strahlung, die am Objekt eintrifft und dort die reflektierte Strahlung hervorruft, setzt sich zusammen aus den Anteilen:

- DS, der direkten Sonnenstrahlung
- HS, dem Himmelslicht, der in der Atmosphäre gestreuten Strahlung
- FS, der Fremdstrahlung, die durch Reflexion eines in der Nähe befindlichen beleuchteten Objektes verursacht wird.

Die Strahlung, die beim Sensor eintrifft, setzt sich zusammen aus den Anteilen:

- RS, der vom Objekt reflektierten Strahlung
- LS, dem Luftlicht, der in der Atmosphäre gestreuten Strahlung

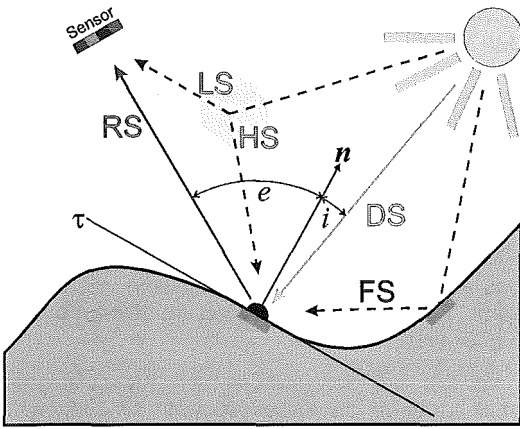


Abb. 5: Strahlungsverhältnisse

Während die direkte Sonnenstrahlung noch relativ leicht zu berücksichtigen wäre, benötigt man für die radiometrische Korrektur sehr komplexe Modelle mit vielen unsicher bestimmbar Parametern, wie etwa Streuungseinfluß oder gegenseitige Beleuchtung. Die „topographische Normalisierung“ wird daher, wenn überhaupt, fast immer nur über die direkte Sonnenbestrahlung errechnet. Ein ganz entscheidender Parameter ist dann der Cosinus des Einstrahlwinkels i (siehe Abb.5) auf das Gelände, der aber sehr einfach über das digitale Geländemodell, dem bekannten Aufnahmezeitpunkt und den berechenbaren oder vielleicht sogar bekannten Sonnenstand für jeden Punkt des Geländes bestimmt werden kann.

Für den Fall der Schneeklassifizierung spielt aber die Fremdstrahlung eine besonders wich-



Abb. 6: Sättigungsbereiche und gänzlich unbeleuchtete Bereiche

tige Rolle. Schnee hat wegen seines sehr hohen Reflexionsgrades auch einen entscheidenden Einfluß als indirekt beleuchtendes Objekt, wodurch die konventionellen Ansätze der „topographischen Normalisierung“, die z.B. auf der Minnaertschen Reflexionsfunktion [7] basieren, fehl schlagen.

Abbildung 6 zeigt für das bereits bekannte Satellitenbild (siehe Abb. 4) als graue Flecken die der Sonne abgewandten Hänge und die Schlag-schattenzonen und in Weiß die der Sonne zuge-wandten Hänge, in denen Sättigung des Sensors auftritt. Kann man mit Sicherheit annehmen, daß es sich bei den weißen Gebieten um Schnee handelt, so ist innerhalb dieser Zonen jede Ein-stufung in Unterkategorien unmöglich.

3.3. Klassifizierung aus optischen Daten

Da die „topographische Normalisierung“ nicht zielführend angewandt werden kann, muß der eigen-tliche Klassifizierungsansatz entsprechend anpassungsfähig sein.

Prinzipiell haben sich folgende Ansätze be-währt:

- (a) Ratio-Bilderstellung und Schrankensetzung (z.B. SI (Schnee-Index), NDSI (Normalised Dif-ference Snow Index)
- (b) Überwachte Klassifizierung (Auswahl von über visuelle Interpretation gewonnene Train-ingsgebiete)
- (c) Spectral Unmixing Ansätze (Auswahl von so- genannten End Members, die ebenfalls mit Trainingsgebieten vergleichbar sind. Die An- zahl der End Members ist allerdings be- schränkt auf die Anzahl der verwendeten Spektralbereiche)
- (d) Unüberwachte Klassifizierung (Über Analyse des spektralen Merkmalsraumes findet der Klassifizierungsalgorithmus selbst die rele-vante Klasseneinteilung. Die Zuordnung der Klassennamen zu den gefunden Klassen muß allerdings i.a. ebenfalls durch visuelle In-terpretation vom Benutzer getroffen werden)

ad (a): Für den NDSI gibt es prinzipiell ver-schiedene Ansätze, die aber alle den Unter-schied des Reflexionsgrades zwischen mittlerem Infrarot und kürzeren Wellenlängen ausnutzen (z.B. [3]). Der NDSI ist vom Aufbau her vergleich-bar mit dem wesentlich bekannteren NDVI (Nor-malised Difference Vegetation Index) und hat fol-gende Gestalt:

$$NDSI = (g_{visnir} - g_{mir}) / (g_{visnir} + g_{mir})$$

wobei g der Grauwert ist, der Index mir für middle-res Infrarot und der Index visnir für sichtbares

Licht bzw. nahes Infrarot steht. Der NDSI hat den Vorteil, daß auch Beleuchtungseffekte zum Teil eliminiert werden. NDSI liegt im Werteinter-vall [-1.0, +1.0]. Die Schranke für die Schneedis-kriminierung könnte bei >0.5 liegen, muß aber von Fall zu Fall angepaßt werden. Da das mitt-lere Infrarot verwendet wird, kommt im Falle von SPOT nur der über SPOT4 verfügbar XI-Mode in Frage. Die Klassifizierung mit Hilfe des NDSI wird im folgenden nicht näher ausgeführt, da für das angesprochene Projekt nur eine von insge-samt 12 Satellitenaufnahmen im XI-Mode ver-fügbbar war.

ad (b): Bei der überwachten Klassifizierung muß für jede zu klassifizierende Objektklasse vom Benutzer ein Trainingsgebiet ausgewählt werden, das die spektrale Charakteristik der Klasse möglichst gut repräsentiert. Im Falle von starken Beleuchtungsunterschieden innerhalb einer Klassen müssen zusätzlich Unterklassen gebildet werden, was den Aufwand gewaltig an-steigen läßt. Die überwachte Klassifizierung wurde bei einigen Bildern mit Hilfe des Maximum Likelihood Ansatzes [8] versucht, bei anderen aber als zu aufwendig gegeben.

ad (c): Spectral Unmixing Ansätze verfolgen die Grundidee, daß die Pixel nicht unbedingt die spektralen Eigenschaften einer einzelnen Objektklasse repräsentieren. Durch die begrenzte räum-liche Auflösung ist sehr oft eine Mischung von Objektklassen im Grauwert enthalten. Mit der Spectral Unmixing Methode wird daher versucht, die Klassenanteile pro Pixel herauszufinden. Diese Methode ist daher auch als „Subpixel-Klassifizierung“ bekannt. Vom Prinzip her ist das Verfahren vergleichbar mit einer Farbraum-transformation, wobei als „Primärfarben“ die spektralen Charakteristika von ausgewählten „Primärklassen“ (den End Members) vorgegeben werden. Spectral Unmixing wurde hier nicht wei-ter verfolgt. [9]

ad (d): Unüberwachte Klassifizierungsansätze bieten einen großen Vorteil. Der Benutzer braucht sich von Beginn an keine (großen) Ge-danken zu machen, wieviele Objektklassen zu klassifizieren sind. Im allgemeinen wird dies dem Algorithmus überlassen, der ein spektral segmentiertes Bild liefert. Die aufwendige Suche nach Trainingsgebieten entfällt. Die Zuordnung zu Klassen zu den gefundenen Segmenten be-darf zwar auch einer gewissen visuellen Interpretation, die aber deutlich schneller durchführbar ist. Aus diesen Gründen fiel schließlich die Ent-scheidung für den unüberwachten ISODATA-An-satz (Iterative Selforganizing Data Analysis Tech-nique).

Dennoch würde im konkreten Fall eine sehr große Anzahl von Segmenten entstehen, die noch dazu, vor allem wegen der begrenzten Aussagekraft der SPOT XS Kanäle, teilweise extrem ähnliche spektrale Eigenschaften aufwiesen, was die automatische Analyse des spektralen Merkmalsraumes unzuverlässig machte.

Um die Klassenzahl zu reduzieren, wurde das Bild zerlegt in spektral ähnlicher Bilder, indem zuerst eine Unterteilung nach Beleuchtungsklassen erfolgte. Das aus DTM und Sonnenstand abgeleitete $\cos i$ -Bild diente der Bildung von Beleuchtungskategorien (Abb.7). Jede dieser Kategorien wurde dann einer unabhängigen multispektralen Klassifizierung unterworfen. Die klassifizierten Teilbilder konnten dann zum klassifizierten Gesamtbild zusammengesetzt werden. Das Prinzip des Ablaufes zeigt Abbildung 8.

Dennoch stellte sich heraus, daß manche Objektklassen nicht zu trennen waren. So wurde z.B. lückige Schneedecke auf der Hochfläche gleich klassifiziert wie eine wenig vitale Wiese im Tal. Dieses Problem kann in einer Nachbearbeitung mit einer Abfrage über die Geländehöhe gelöst werden. Das Endergebnis für das vorhin vorgestellte Satellitenbild ist in Abbildung 9 zu sehen, in welchem die vier verschiedenen Schneebedeckungsklassen von schwarz (= aper) bis weiß (= volle Schneedecke) kodiert sind.

4. Schnee und Schneeklassifizierung im Mikrowellenbereich

Wie schon früher erwähnt, bietet die Mikrowellen-Fernerkundung die Möglichkeit, durch Wolken hindurchzusehen. Dies ist ein besonderer

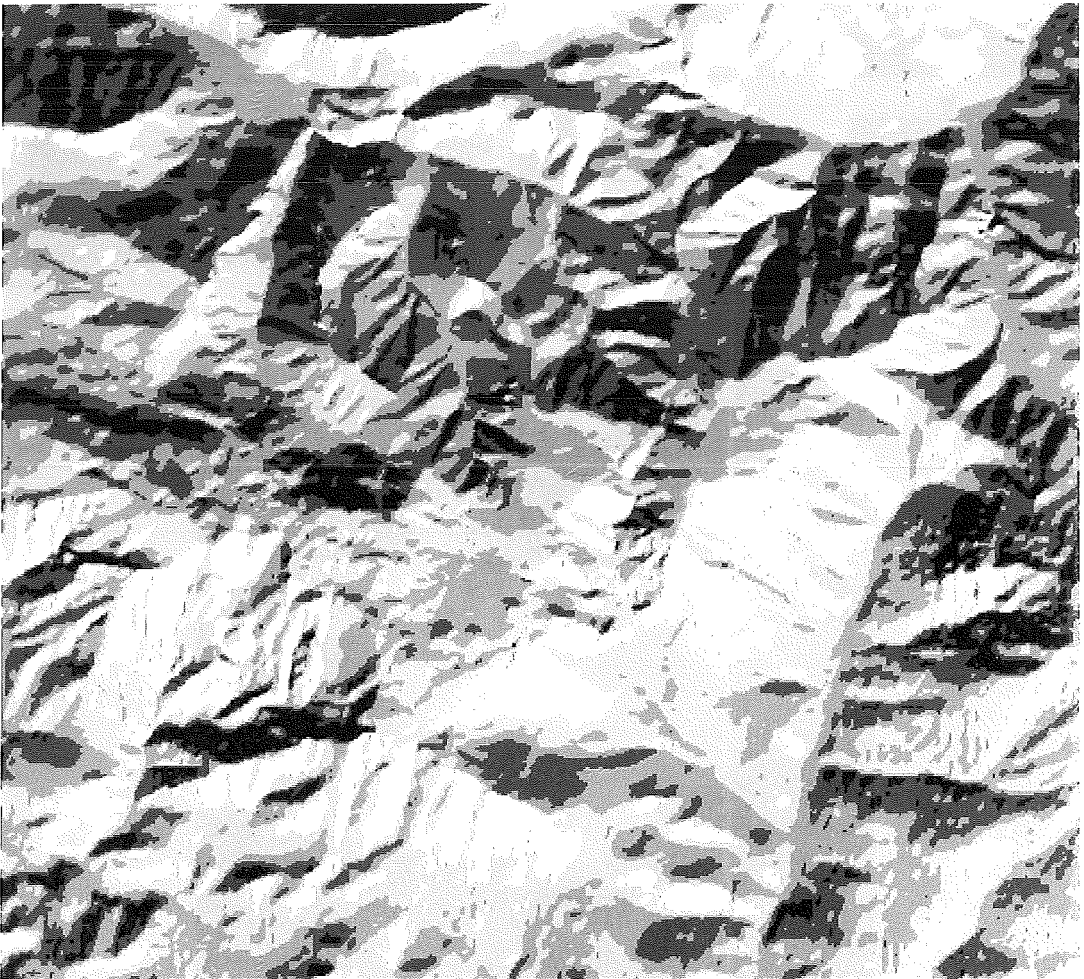


Abb. 7: Beleuchtungskategorien, eingeteilt aufgrund von $\cos i$

Vorteil, wenn in regelmäßigen Abständen vor allem in Gebieten mit häufiger Bewölkung beobachtet werden soll. Eine Analyse des Gebietes der Schneeealpe anhand von Wettersatellitenaufnahmen hat ergeben, daß im Schnitt nur für wenige Tage pro Monat im Zeitraum der Schneeschmelze wolkenfreies Wetter gegeben ist. Da der ERS-Satellit ein aktives Mikrowellensystem besitzt, das mit geeigneter räumlicher Auflösung arbeitet, war es daher naheliegend, diese Art der Bilderfassung genauer zu betrachten.

Mikrowellensysteme als elektronische Systeme, die mit Frequenzen im GHz-Bereich arbeiten, verhalten sich anders, als man von den optischen Systemen her gewohnt ist. Eine Kenngröße des beobachteten Materials, welche für das Verhalten der Mikrowellen am Objekt verantwortlich ist, ist die komplexe relative Dielektrizitätskonstante $\epsilon_r = \epsilon'_r - i \epsilon''_r$. Während der reelle Teil ϵ'_r eine Aussage über den Brechungsindex des Materials gibt, ist der imaginäre Teil ϵ''_r ein Maß für die elektrische Leitfähigkeit. Für viele

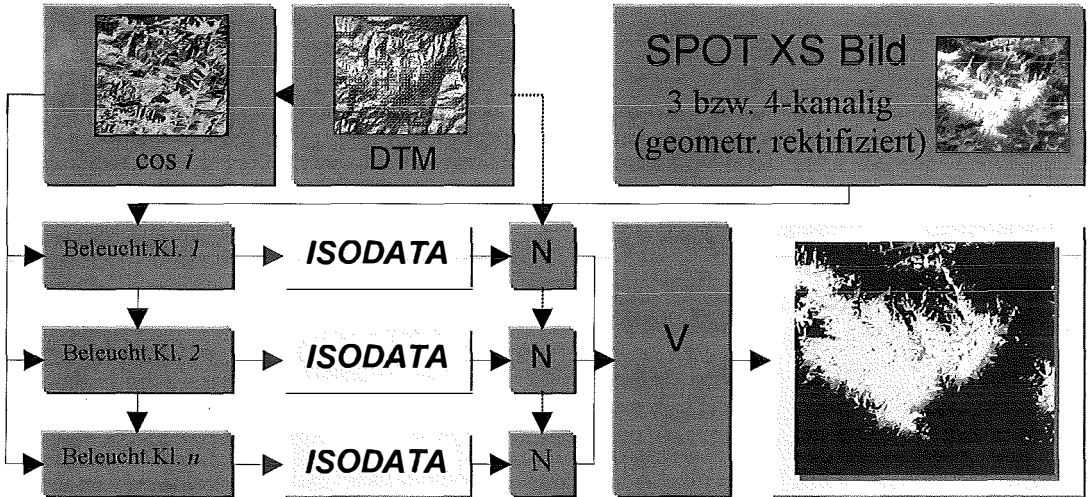


Abb. 8: Klassifizierungsablauf. N... Nachbearbeitung, V... Vereinigung

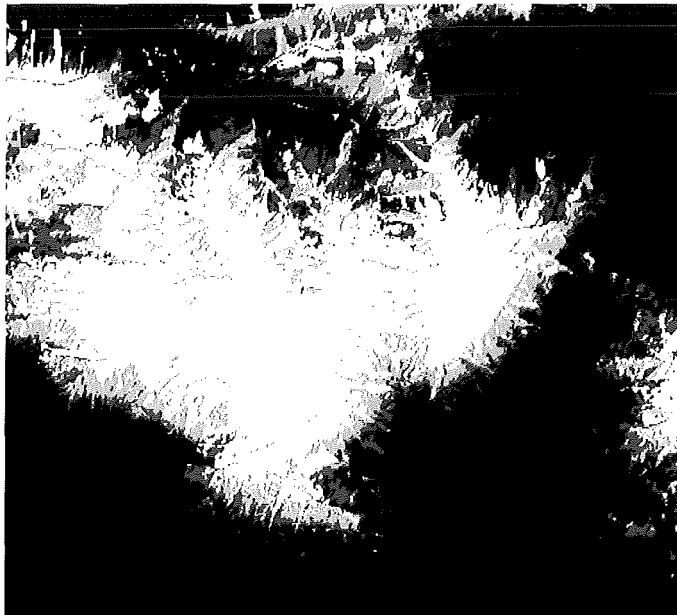


Abb. 9: Klassifizierungsergebnis des Satellitenbildes vom 18. Feber 1998

trockene natürliche Stoffe ist ϵ''_r im Mikrowellenbereich sehr klein. Nimmt die Feuchtigkeit bzw. die Leitfähigkeit zu, so steigt ϵ''_r rapide an. Gleichzeitig sinkt die Eindringtiefe. So kann in trockenen Böden die Eindringtiefe im cm-Bereich liegen, während diese im feuchten Boden in den mm-Bereich absinkt. Noch deutlicher ist dies bei Eis zu beobachten. Bei reinem Eis kann die Eindringtiefe einige m betragen, bei Wasser allerdings kann man bestensfalls mit einigen cm rechnen. (z.B. [10])

Aus dem vom Mikrowellensensor empfangenen Signal wird der sogenannte Rückstreuoeffizient σ° abgeleitet, der ähnlich wie der Reflexionsgrad ρ bei der optischen Fernerkundung Rückschlüsse über die Eigenschaften des Objektes erlaubt. Allerdings muß hier ebenfalls angemerkt werden, daß σ° nicht nur vom beobachteten Material alleine abhängt, sondern auch von der verwendeten Frequenz, von der Polarisatoneinstellung des Sensors, in hohem Maß auch von der Beschaffenheit der Oberfläche (ob sie rau oder glatt ist) und ganz wesentlich auch vom Einstrahlwinkel. Der Einstrahlwinkel ändert sich einerseits systembedingt von einem Rand des Flugstreifens zum anderen (z.B. 19° bis 28° bei ERS AMI), was aber leicht berücksichtigt werden könnte. Entscheidender ist aber die Geländeform. Voraussetzung für eine qualitativ hochwertige Auswertung ist daher ein extrem genaues Geländemodell, das im allgemeinen nicht zur Verfügung steht.

Aufgrund der Komplexität dieser Zusammenhänge ist die Klassifizierung mit Hilfe von Mikrowellen sehr schwierig. Die wissenschaftliche Bearbeitung ist bei weitem noch nicht abgeschlossen und bietet der Forschung auch in Zukunft noch ein breites Betätigungsfeld.

4.1. Schneecharakteristika im Mikrowellenbereich

Die Rückstreuung, die in einem beschneiten Gebiet beobachtet wird, setzt sich zusammen aus dem Rückstrahlanteil

- von der Oberfläche (der Luft-Schnee-Grenze)
- von innerhalb der Schneedecke (durch Volumsstreuung in den Eiskristallen)
- von der Oberfläche des Untergrundes (der Schnee-Boden-Grenze)
- von innerhalb der Schneedecke (durch Mehrfachrückstreuung)
- von innerhalb der Schneedecke (durch Streuung an Eislinsen oder Inhomogenitäten)
- von innerhalb des Eindringbereich des Untergrundes (durch Volumsstreuung des Bodens)

Es gibt detaillierte Untersuchungen des Mikrowellenverhaltens der Schneedecke (z.B. [11]). Konzentriert man sich auf die Mikrowellen des C-Bandes (5,3 Ghz, 5,66 cm), so ist festzustellen, daß trockener Schnee nicht erkannt werden kann. Er ist total transparent, die Eindringtiefe beträgt viele Meter. Die registrierte Rückstreuung stammt vor allem vom Boden unter der Schneedecke oder von eventuell im Schneesinneren vorhandenen Inhomogenitäten. Beginnt Schnee zu schmelzen, so reduziert sich die Eindringtiefe sofort bis in den cm-Bereich. Allerdings kann auch die Oberflächenveränderung während des Schmelzvorganges das Rückstreuverhalten merklich beeinflussen, entweder durch Zunahme der Oberflächenrauigkeit und damit durch Zunahme der diffusen Streuung oder durch starke Ansammlung von Wasser an der Oberfläche und damit durch Begünstigung der gerichteten Reflexion. Eine genaue Analyse des Aufbaus und Eigenschaften der Schneedecke erscheint durch Einsatz einer einzelnen Mikrowellenfrequenz und einer einzigen Polarisatoneinstellung nicht möglich.

Es gibt eine ganze Reihe von Untersuchungen über die Nutzung von SAR-Systemen für die Schneekartierung (z.B. [12], [13], [14], [15]). Beispielfhaft soll eine mit C-Band-Mikrowellen in den Alpen durchgeführte (Rott, 1994) die Gegebenheiten zeigen: bei trockenem Schnee wird $e'=1,87$ und $e''=0,0001$. Bei feuchtem Schnee werden diese Werte $e'=2,95$ und $e''=0,571$.

4.2. Geometrische und radiometrische Eigenschaften von SAR

Aufgrund der durch das Aufnahmeverfahren (einer Laufzeitmessung von Schrägdistanzen) bedingten Abbildungsgeometrie, ergeben sich sehr ungewohnte Verzerrungen im Bild, sobald man im hügeligen oder gebirgen Gelände aufnimmt (siehe Abb. 10). Es kommt zu den bekannten Erscheinungen

Foreshortening (starke maßstäbliche Verkürzung an Hängen, die in Richtung Aufnahmesystem schauen)

Layover (Abbildung verschiedener Objektpunkte auf denselben Bildpunkt)

Shadow (Bereiche an den dem Sensor abgewandten Hängen, die durch den Mikrowellenstrahl der Sendeantenne nicht erreicht werden können)

Die geometrische Rektifizierung dieser Fehler bedarf eines genauen Geländemodelles und eines parametrischen Korrekturansatzes. Zusätzlich zu den geometrischen Fehlern kommt aber

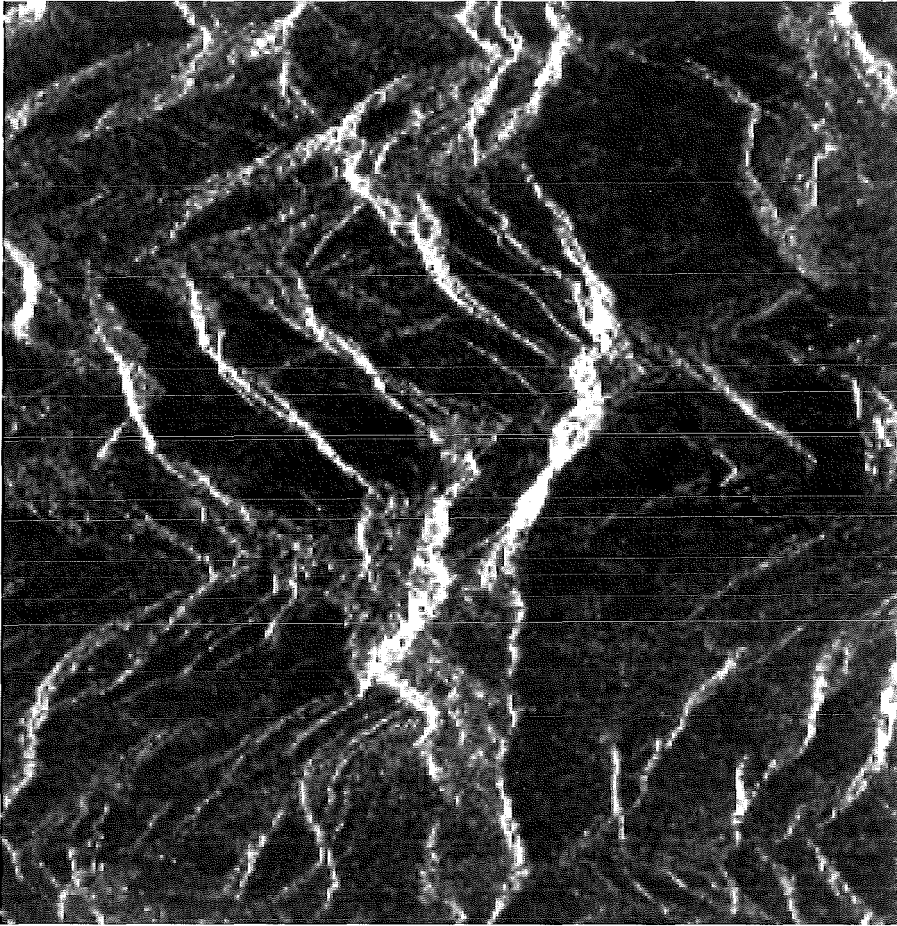


Abb. 10: ERS SAR Aufnahme (descending Flug)

auch radiometrische Fehlinformation, die nur schwer oder überhaupt nicht korrigierbar ist. In Layover- und Foreshortening-Bereichen wird sehr starke Rückstreuung registriert, da diese von einem Einstrahlwinkel nahe 0° kommen, wo der Rückstreuoeffizient unbestimmbar wird. Um im gebirgigen Teil eine komplette Deckung mit auswertbaren Daten zu erhalten, muß das Interessensgebiet von mindestens zwei verschiedenen Seiten aufgenommen werden. Im Falle der ERS-Satellitenaufnahmen kombiniert man die Aufnahme vom Nord-Süd-Flug (descending path) mit einer vom Süd-Nord-Flug (ascending path). Da bei ERS der Einstrahlwinkel in ebenes Gelände zwischen 19° und 28° liegt, führen Hänge, die parallel zur Flugrichtung verlaufen und diese Hangneigung aufweisen, zu den oben erwähnten Effekten. Da dies in der Natur recht häufig auftritt, ist im Gebirge nur etwa 50% eines einzelnen ERS SAR Bildes auswertbar. Abbildung 11 zeigt das Interessensgebiet, wobei in

Hellgrau jene Bereiche eingezeichnet sind, die sowohl durch descending als auch durch ascending Flüge auswertbar wären. Schwarz sind die Bereiche, die weder durch den einen noch durch den anderen Flug auswertbar sind. Alle anderen Bereiche (dunkelgrau) sind entweder aus dem descending oder den ascending Flug verwendbar.

Da man für eine absolute Bestimmung der Rückstreuoeffizienten ein hochgenaues digitales Geländemodell benötigte, das nicht vorhanden ist, wendet man üblicherweise eine relative Auswertung an, indem man Terminvergleiche über Ratio-Bildung durchführt und nur Veränderungen feststellt. In diesem Fall werden die Abhängigkeiten vom Einstrahlwinkel eliminiert [16].

4.3. Klassifizierung aus Mikrowellendaten

Wie schon früher angedeutet, ist eine Klassifizierung der Schneelage mit ERS SAR Bildern

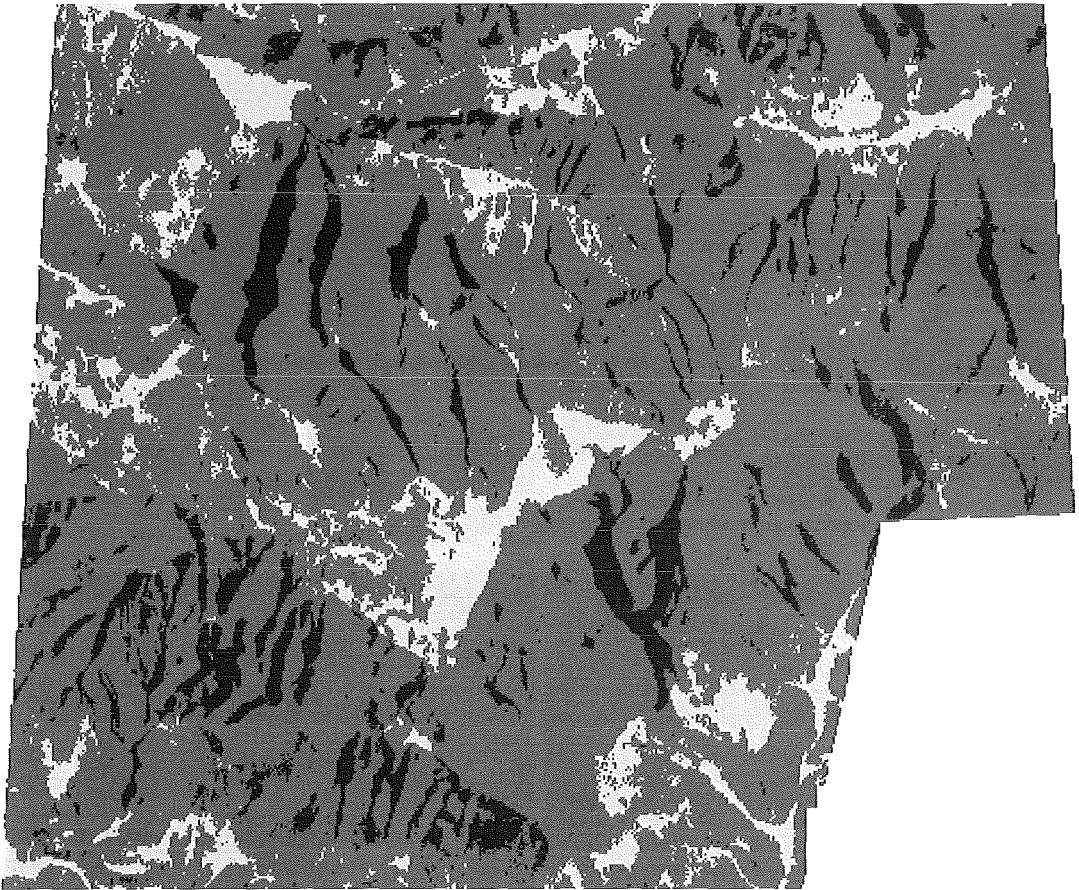


Abb. 11: ERS Deckung von absteigender und/oder aufsteigender Flugbahn aus

nur sehr eingeschränkt möglich, da trockener Schnee nicht erkannt werden kann. Was aber sehr wohl zu erkennen ist, ist eine Änderung der Schneefeuchte.

Um eine sinnvolle Feuchte-Klassifizierung durchführen zu können, ist zu garantieren, daß mindestens eine Aufnahme existiert, die als „trocken“ angenommen werden und somit als Referenzaufnahme gelten kann. Im Idealfall handelt es sich um ein schneefreies Bild mit trockenem Boden. Es kann aber auch ein Bild sein, von dem man weiß, daß das Gebiet mit trockenem Schnee bedeckt ist. Dieses Referenzbild wird über Ratio-Bildung mit allen anderen Bildern verglichen. Durch Schrankenbildung erhält man die Feuchtezunahme. Bewährt hat sich eine Schranke von 3dB, d.h. daß an allen Stellen, an denen eine Ratiowert größer 3dB erhalten wird, die Feuchte deutlich zugenommen hat. Der Ablauf der Klassifizierung ist in Abbildung 12 schematisch dargestellt (d&a=descending und ascending Bild, VV= Vorverarbeitung, z.B.

Speckle-Filterung, GR= geometrische Rektifizierung, V=Vereinigung des desc- und des asc-Bildes).

Das Ergebnis der Feuchteklassifizierung ist für das unrektifizierte descending-Bild in Abbildung 13 dargestellt. Als Referenzbild war eine garantiert schneefreie Aufnahme vom 1. Juli 1999 vorgesehen, die sich aber als ungeeignet herausstellte. Es hatte kurz vor der Aufnahme geregnet. Daher diente das Feber-Bild (vom 11.2.) als Referenz, von dem angenommen werden konnte, daß damals im wesentlichen trockener Schnee gelegen war. Im linken oben Bild sieht man die Veränderungen im März (am 18.3.) gegenüber Feber. Grau bedeutet gering, weiß starke Feuchtigkeitszunahme. Man erkennt den Schmelzvorgang an den Hängen und in etwas tieferen Lagen, während auf der Hochebene noch wenig zu bemerken ist. Im April (am 22.4.) ist auch auf der Hochebene die Schmelze voll im Gange, im Mai (am 27.5.) ist ein großer Teil bereits abgeschmolzen. Das Juli-Bild täuscht stärkeren

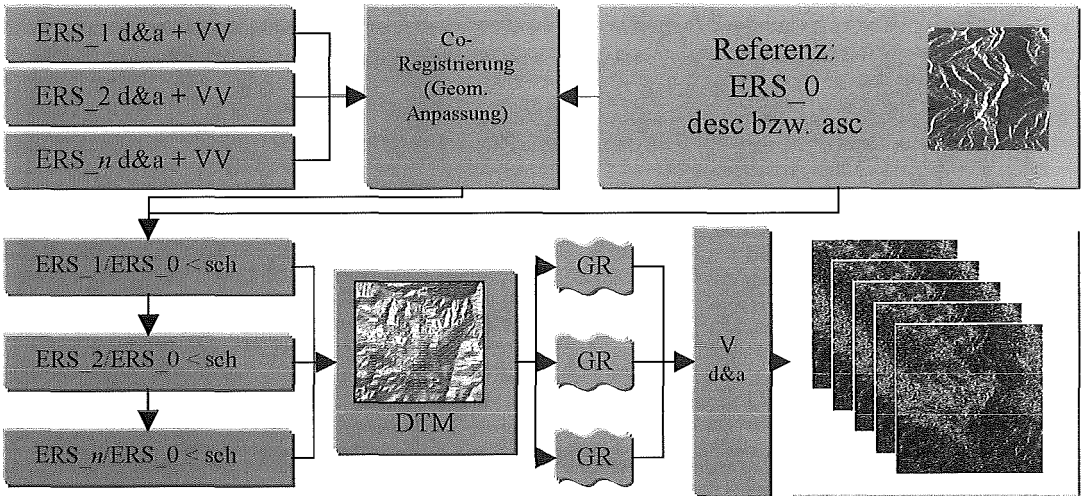


Abb. 12: Ablaufschema der Klassifizierung der Schneefeuchte aus SAR-Bildern

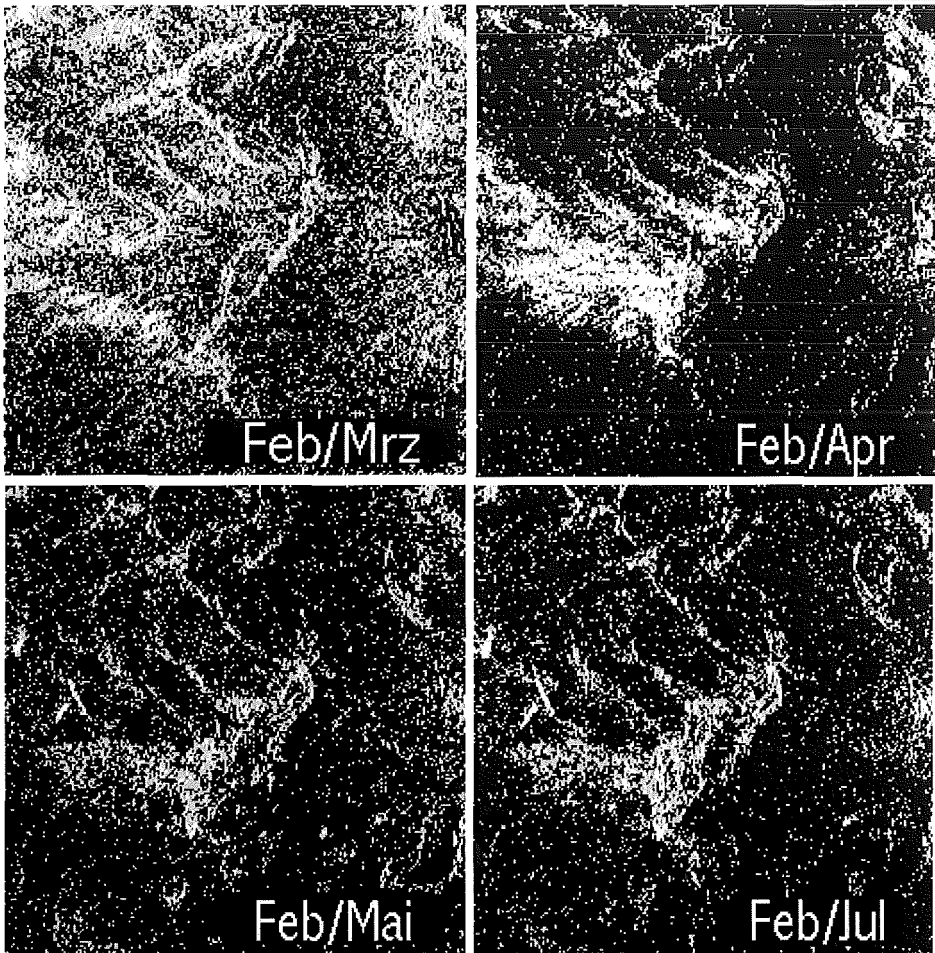


Abb. 13: Ergebnis der Feuchteklassifizierung im desc-Bild

Schmelzvorgang, tatsächlich aber ist die hohe Feuchte dem Regen zuzuschreiben. Man erahnt, daß bei ungeeigneter Wahl des Referenzbildes für die Ratio-Bildung, wie in diesem Fall bei der Wahl des Juli-Bildes, ein gänzlich falsches Ergebnis herausgekommen wäre. Die sehr hohe Ähnlichkeit des Mai- und Juli-Ergebnisses läßt aber auch zur Vorsicht bei der Interpretation mahnen. Auf die Frage einzugehen, inwieweit diese Ergebnisse tatsächliche Feuchtigkeitsänderungen im Schnee anzeigen oder inwieweit sie durch den Untergrund beeinflußt sind, scheint berechtigt und müßte noch näher behandelt werden.

5. Schlußbemerkungen

Das anfangs einfach erschienene Problem der Schneeklassifizierung stellt sich bei genauer Betrachtung als ein recht komplexes heraus, das auch in der internationalen Forschung einen wichtigen Stellenwert hat. Dabei sind kleinräumige Problemstellungen (z.B. die Wasserversorgung betreffend – wie es das hier vorgestellte Projekt war – oder im Rahmen von Lawinewarnsystemen) genauso vertreten wie großräumige bis globale Fragestellungen (z.B. im Rahmen der Überwachung der Klimaveränderungen). Im gebirgigen Gelände sind besondere Herausforderungen gegeben. Wegen der steilen Hänge, großen Höhenunterschiede und dem im Winter niedrigen Sonnenstand erschweren Schatten die Klassifizierung in optischen Bildern. Schneefelder wiederum verursachen Überbelichtung. In SAR-Aufnahmen führen starke geometrische und radiometrische Störungen zur Notwendigkeit, zwei Aufnahmen aus unterschiedlichen Richtungen zu verwenden. Ein anderes Problem ist der Bewuchs, der eine genaue Feststellung der Schneelage verhindert. Ist die Klassifizierungstheorie für optische Aufnahmen schon weitgehend ausgereizt, so befindet sie sich für Mikrowellenanwendungen noch immer Forschungsstadium. Mit den vermehrt eingesetzten Hyperspektralscannern auf dem optischen Sektor und den Multifrequenz- und Multipolarisations-SAR werden sich weitere Möglichkeiten eröffnen, wie erste Versuchsreihen bereits zeigen. In der Praxis vielfach bewährt hat sich auch die Kombination verschiedener Sensoren im Rahmen eines Fusionsansatzes. Die Schneeklassifizierung wird also in der Zukunft noch die Wis-

senschaft beschäftigen, auch wenn sie, wie im konkreten Fall, „nur“ zur Kalibrierung eines Schneemodells verwendet wird.

Literatur

- [1] Jansa J., Kraus K., Blöschl G., Kirnbauer R., Kuschnig G.: Modellling Snow Melt Processes in Alpine Areas. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.33, Supplement B7 auf CD-ROM, pp.69–74, 2000.
- [2] Dozier J.: Spectral Signature of Alpine Snow Cover from the Landsat Thematic Mapper. Remote Sensing of Environment, Vol. 28, pp.9–22, 1989.
- [3] Winther J.-G., Hall D.K.: Satellite-derived Snow Coverage Related to Hydropower Production in Norway: Present and Future. Int. Journal of Remote Sensing, Vol.20/15&16, pp. 2991–3008, 1999.
- [4] Nolin A.W., Dozier J.: A Hyperspectral Method for Remotely Sensing the Grain Size of Snow. Remote Sensing of Environment, 74, pp. 207–216, 2000.
- [5] Dozier J.: Remote Sensing of Alpine Snow Cover in Visible and Near-Infrared Wavelength. In: Proceedings des CSSA (Center of Snow Science in Alta) Symposiums, 1991.
- [6] King M.D., Kaufman Y.J., Menzel W.P., Tanré D.: Remote Sensing of Cloud, Aerosol, and Water Vapour Properties from the Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS). IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.30/1, pp. 2–27, 1992.
- [7] Jansa J.: A Global Topographic Normalisation Algorithm for Satellite Images. Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.32/7, pp. 8–15, 1998.
- [8] Kraus K. mit Beiträgen von Jansa J. und Schneider W.: Auswertung photographischer und digitaler Bilder, Dümmler Bonn, 1990.
- [9] Rosenthal W.: Estimating Alpine Snow Cover with Unsupervised Spectral Unmixing. Proceedings des IGARSS'96 Symposiums, Vol.4, pp.2252–2254, 1996.
- [10] Kraus K., Schneider W.: Fernerkundung – Physikalische Grundlagen und Auswertetechniken, Dümmler Bonn, 1988.
- [11] Strozzi T., Mätzler Ch.: Backscattering Measurements of Alpine Snowcovers at 5.3 and 35 GHz. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.36/3, pp. 838–848, 1998.
- [12] Shi J., Dozier J., Rott H.: Snow Mapping in Alpine Regions with Synthetic Aperture Radar, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.32/1, pp.152–158, 1994.
- [13] Shi J., Dozier J.: SIR-C/X-SAR Investigations of Snow Properties in Alpine Regions. Proceedings IGARSS'95, Vol.II, pp.1582–1584, 1995.
- [14] Baghdadi N., Gauthier Y., Bernier M.: Capability of Multitemporal ERS-1 SAR Data for Wet-Snow Mapping. Remote Sensing of Environment, 60, pp. 174–186, 1997.
- [15] Koskinen J.T., Pulliainen J.T., Hallikainen H.T.: The Use of ERS-1 SAR Data in Snow Melt Monitoring, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.35/3, pp. 601–610, 1997.
- [16] Nagler Th., Rott H.: Retrieval of Wet Snow by Means of Multitemporal SAR Data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.38/2, pp. 754–765, 2000.

Anschrift des Autors

Dipl.-Ing. Dr. Josef Jansa: Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien, Gußhausstraße 27–29, A-1040 Wien. Email: Josef.Jansa@tuwien.ac.at



Beiträge der Radarfernerkundung zur Erfassung des globalen CO₂-Kreislaufs*

Wolfgang Wagner, Oberpfaffenhofen

Zusammenfassung

Die Zunahme des atmosphärischen Kohlendioxids (CO₂) und anderer Treibhausgase wie Methan (CH₄) oder Distickstoffoxid (N₂O) führt zu einer Erwärmung des Klimas. Dies könnte eine Reihe schwerwiegender Umweltprobleme verursachen, wie eine Zunahme an Stürmen, Überschwemmungen, Dürren und anderer Naturkatastrophen. Während Politiker in langwierigen Verhandlungen um rechtlich verbindliche Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasen ringen, ist der globale Kohlenstoffkreislauf ins Zentrum der wissenschaftlichen Diskussion gerückt. Doch fehlen oft geeignete Geodaten für die Quantifizierung von Kohlenstoffflüssen. Anhand dreier Beispiele wird in diesem Artikel das Potenzial der Radarfernerkundung zur Erfassung CO₂-relevanter Parameter dargestellt und dabei auftretende Probleme diskutiert.

Abstract

The increase of carbon dioxide (CO₂) and other greenhouse gases like methane (CH₄) or nitrous oxide (N₂O) in the atmosphere has caused global warming. There is emerging evidence that because of this phenomenon the frequency of storms, floods, droughts and other natural disasters is increasing. While politicians discuss legally binding measures to reduce the emission of greenhouse gases, scientists have started to explore the mechanisms of the global carbon cycle in greater detail. But often the magnitude of carbon fluxes and carbon pools is not sufficiently well known due to the lack of environmental data. In this article the potential and limitation of radar remote sensing for measuring geophysical parameters of relevance to the global carbon cycle is discussed based on three pilot studies: forest mapping with SAR interferometry, soil moisture monitoring and freeze/thaw mapping with scatterometer data.

1. Einleitung

Umweltprobleme wie der saure Regen oder das Ozonloch haben zum ersten Mal deutlich gemacht, dass der Eingriff des Menschen in natürliche Kreisläufe ein globales Ausmaß erreicht hat. Ohne die Kenntnis globaler Veränderungen würde man den Ursprung vieler lokaler Umweltprobleme nicht verstehen. Es wäre schwierig, wenn gar unmöglich, geeignete Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Speziell die Geowissenschaften sind daher aufgefordert, die Grundlagen zum Verständnis des Zusammenhangs lokaler, regionaler und globaler Umweltveränderungen zu erforschen. Damit ist die Forderung verbunden, Geodaten auf lokaler bis globaler Ebene zu erheben, für die Zukunft zu speichern und in geeigneter Form den Anwendern zur Verfügung zu stellen. Dieser Artikel zeigt einige Möglichkeiten auf, wie die Radarfernerkundung zur verbesserten Quantifizierung des Kohlenstoffkreislaufs beitragen könnte und geht im Konkreten auf die Kartierung sibirischer Wälder, die Verfügbarkeit glo-

baler Bodenfeuchtigkeitsdaten und die Detektion von Bodenfrost ein.

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts hat sich der globale Kohlenstoffkreislauf nachhaltig verändert [1]. Vor allem durch das Verbrennen fossiler Brennstoffe und die Abholzung von Wäldern wurden seither ungefähr 405 ± 60 Gigatonnen Kohlenstoff als Kohlendioxid (CO₂) in die Atmosphäre emittiert. Dies hatte einen Anstieg des atmosphärischen CO₂ um 28 % und eine Erwärmung der mittleren Lufttemperatur um bis zu einem 1°C zur Folge [2]. Modellrechnungen sagen – bei unverminderten Emissionen von Treibhausgasen – für das 21. Jahrhundert eine weitere Temperaturerhöhung von 1.4 – 5.8 °C voraus. Dieses wird regional sehr unterschiedliche Auswirkungen auf Mensch und Umwelt haben [3]. Unter anderem sind extreme Wetterlagen und vor allem in tropischen und sub-tropischen Regionen Ernteeinbußen und reduzierte Trinkwasserreserven zu befürchten. In den Alpen muß man mit Veränderungen der winterlichen Schneedecke und des Abflußregimes von Flüssen rechnen.

* Stark verändertes Manuskript eines Bewerbungsvortrags für eine Universitätsprofessur für Fernerkundung am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technischen Universität Wien.

2. Das Kyoto-Protokoll

Um die Klimaveränderungen in einem tolerablen Rahmen zu halten, wurde auf der dritten Konferenz der Vertragsparteien zur Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen, die im Dezember 1997 in Kyoto stattfand, ein Vertragswerk ausverhandelt. Dieses sogenannte Kyoto-Protokoll enthält erstmals quantifizierte, rechtlich verbindende Verpflichtungen zur Begrenzung der Emission von Treibhausgasen [4]. Nach wie vor gibt es aber offene Fragen, die geklärt werden müssen, bevor die Vertragspartner das Kyoto-Protokoll ratifizieren werden. Neben Emissionsreduktionen in Industrie und Verkehr, besteht auch die Möglichkeit, die Reduktionsziele ergänzend durch die Einbindung von Kohlenstoff aus der Atmosphäre in terrestrische Ökosysteme zu erreichen. Darunter fallen Aktivitäten wie Aufforstungen oder verbessertes Bodenmanagement in der Landwirtschaft. Speziell in den ersten Jahrzehnten könnten in beträchtlichem Ausmaß biologische Kohlenstoffsinken an die Stelle der Reduktion des Verbrauchs fossiler Brennstoffe treten [5]. Auf lange Sicht gesehen sind aber Emissionsreduktionen notwendig, da die Aufnahmekapazität der Biosphäre natürliche Grenzen aufweist. Auch bestehen noch große wissenschaftliche Unsicherheiten und Schwierigkeiten bei der Erhebung relevanter Geodaten [6].

Wenn man sich die Frage stellt, welche Geodaten die Radarfernerkundung zur Erfassung von biologischen Kohlenstoffsinken liefern könnte, sollte man jene nach ihrem Verwendungszweck unterscheiden: 1) Geodaten, die von den Vertragsländern zur Erfüllung ihrer konkreten Berichtspflichten benötigt werden; 2) Geodaten, die darüber hinaus für eine vollständige Bilanzierung der Kohlenstoffflüsse von Nutzen sind. Die Berichtspflichten des Kyoto-Protokolls beschränken sich auf „unmittelbar von Menschen verursachte Landnutzungsänderungen und forstwirtschaftliche Maßnahmen, die auf Aufforstungen, Wiederaufforstungen und Entwaldung seit 1990“. Die Fernerkundung könnte hier für die Erfassung und Dokumentation von Flächen verschiedener Bedeckungsklassen und deren zeitliche Veränderungen eingesetzt werden. Zur Diskussion steht, ob die Satellitendaten als primäre Datenquellen der Inventur oder nur für die Verifikation verwendet werden sollen [1]. Radarsysteme mit einer synthetischen Apertur (SAR) erzielen die für diese Aufgabe benötigte räumliche Auflösung von unter 30 m und ermöglichen eine gezielte Aufnahmeplanung, auch in Gebieten mit häufiger Wolkenbedeckung.

Über die konkreten Berichtspflichten des Kyoto-Protokolls hinaus sind neue Geodaten für das bessere Verständnis des globalen Kohlenstoffkreislaufs dringend erforderlich. Laut Cramer et al. [7] sind viele der offenen Fragen mit der Wirkungsweise und den Veränderungen der terrestrischen Ecosysteme verbunden. Zwar werden globale Kohlenstoffmodelle laufend verbessert, doch fehlen in vielen Bereichen noch Geodaten zur Modellvalidierung und als Eingangsparameter. Aus den vielen Möglichkeiten der Radarfernerkundung werden hier drei Methoden vorgestellt, an deren Entwicklung der Autor beteiligt war:

- Waldkarte Sibiriens aus SAR Daten
- Globale Bodenfeuchtigkeitsdaten aus ERS Scatterometer Daten
- Frostdynamik aus ERS Scatterometer Daten

Die Radardaten in den vorzustellenden Beispielen stammen in erster Linie von den Europäischen Fernerkundungssatelliten ERS-1 und ERS-2, die ein sogenanntes Active Microwave Instrument (AMI) an Bord hatten. Dieses Instrument erlaubte sowohl die Aufnahme von räumlich hochauflösenden Bilddaten (30 m) mit Hilfe einer synthetischen Antennenapertur als auch von zeitlich hochauflösenden Scatterometer Daten (durchschnittlich eine Messung alle vier Tage) mit einer räumlichen Auflösung von 50 km. Das AMI arbeitete bei einer Frequenz von 5.3 GHz (C-Band) VV-Polarisation.

3. Waldkarte Sibiriens

In Waldökosystemen stellt sich bei gleichbleibenden Klimaverhältnissen und einem Gleichgewicht von Störung (Brände, Insektenbefall, etc.) und Regeneration langfristig eine ausgeglichene Kohlenstoffbilanz ein [8]. Wird dieses Gleichgewicht gestört, so können sich Waldökosysteme von Kohlenstoffsinken in Kohlenstoffquellen verwandeln und umgekehrt. So hat man in den borealen Wäldern Kanadas seit 1970 eine Zunahme und seit 1980 eine Verdreifachung der Feueraktivität beobachtet, wodurch die Senkenfunktion dieser Wälder beträchtlich gestört wurde. Auch in Sibirien sind Waldbrände – die vorwiegend von Menschen verursacht werden – eine der größten Sorgen der dortigen Forstverwaltung. Doch fehlen speziell seit dem Zusammenbruch der Sowjetunion die Mittel zur regelmäßigen forstwirtschaftlichen Bestandsaufnahme. Daher ist auch die Abschätzung der Kohlenstoffflüsse mit großen Unsicherheiten behaftet [9].

Russland's boreale Wälder nehmen eine Fläche von zirka 624 Mio. ha ein [8]. Solch große Flächen können nur mithilfe der Fernerkundung im Abstand eines oder einiger weniger Jahre aufgenommen werden. Es fehlen aber nach wie vor übertragbare und umfassend validierte Verfahren zur Ableitung forstwirtschaftlicher Parameter aus bildgebenden Aufnahmesystemen. Es war daher das Ziel des SIBERIA-Projekts, eine adaptive Methode zur Waldklassifikation aus SAR Daten zu entwickeln, anhand einer umfangreichen Referenzdatenbank zu validieren und ein zirka 100 Mio. ha großes Gebiet in Zentralsibirien zu kartieren [10]. Als Eingangsdaten dienten sogenannte Kohärenzbilder, die ein Maß für die Korrelation zweier SAR Aufnahmen darstellen. Diese Kohärenzbilder wurden aus SAR Tandembilder abgeleitet, die im Abstand von einem Tag mit den Satelliten ERS-1 und ERS-2 aufgenommen worden sind. Aufgrund zeitlicher Dekorrelations-effekte, z.B. verursacht durch die Bewegung von Blättern und Gräsern im Wind, nimmt die Kohärenz im allgemeinen mit zunehmender Ve-

getationsbedeckung ab. Daher erscheinen in Kohärenzbildern Wälder in dunklen und vegetationslose Flächen in sehr hellen Tönen (Abb. 1). Wasserflächen erscheinen schwarz, da hier die Bewegung der Wasseroberfläche zu einer vollkommenen Dekorrelation führt. Weiters wurden SAR Aufnahmen des Japanischen Erdbeobachtungssatelliten JERS verwendet. Das JERS SAR arbeitet bei einer Frequenz von 1.3 GHz und zeigt ebenfalls einen Zusammenhang mit der Vegetationsbedeckung.

Sowohl die ERS Kohärenz als auch die JERS Intensität schwanken über Waldflächen aufgrund vielfältiger Einflußfaktoren von Szene zu Szene. Die Analyse der Daten hat aber gezeigt, dass zu meist ein quasi exponentieller Zusammenhang zwischen den beiden Radarparametern und dem Stammvolumen der Wälder nachgewiesen werden kann, d.h. die Kohärenz nimmt mit steigenden Stammvolumina ab, die JERS Intensität zu, und beide Parameter nähern sich ihrem Grenzwert ab zirka 100 m³/ha [11]. Diese Beobachtung war die Grundlage für einen adaptiven

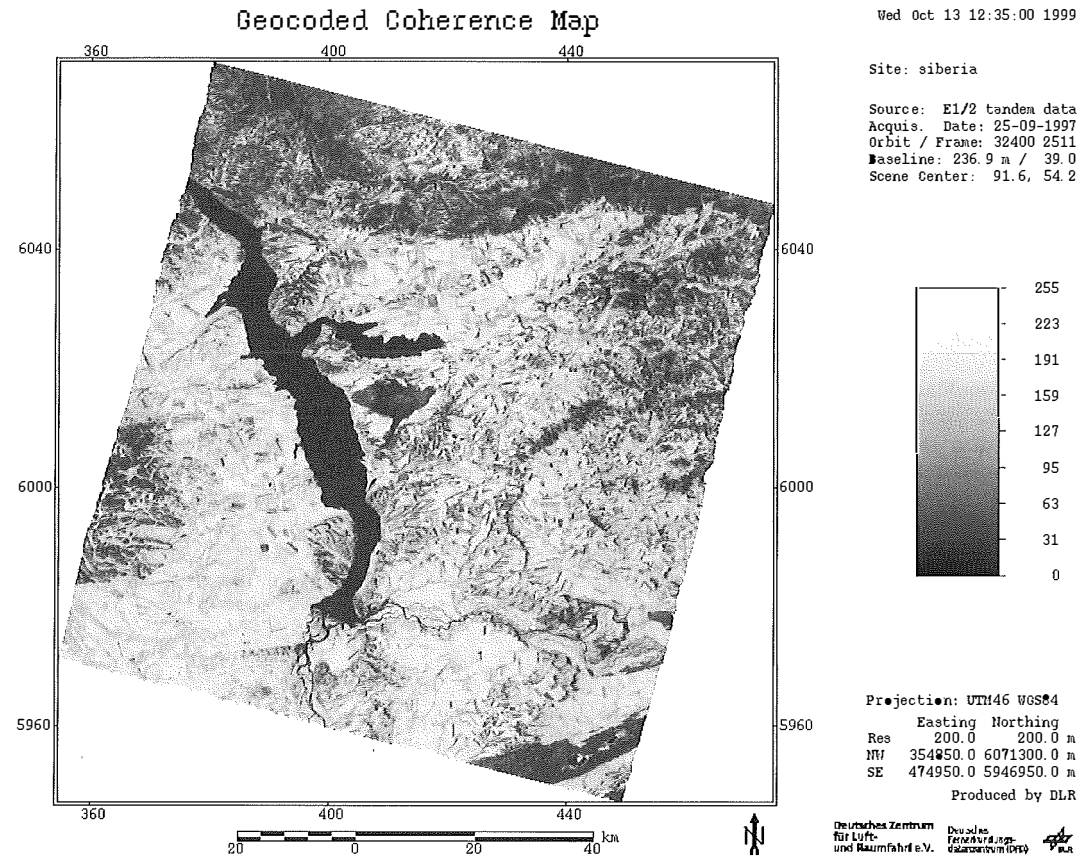


Abb. 1: Kohärenzbild abgeleitet aus einer ERS-1/2 Tandemaufnahme. Das Bild zeigt ein Gebiet rund um ein Stau-becken des Flusses Jenisey, südlich von Krasnojarsk, Sibirien (© DLR).

Algorithmus, der vier Stammvolumenklassen unterscheidet: 0–20, 20–50, 50–80 und > 80 m³/ha. Weiters wurden die Klassen „Wasser“ und „Glatte Flächen“ (beinhaltet Landwirtschaft, Steppe, Moore) unterschieden. Für die Produktion der Waldkarte wurden zuerst die einzelnen Satellitenszenen separat klassifiziert und anschließend in einem Mosaik zusammengeführt. Wie in Abb. 2 ersichtlich, treten an den Szenenübergängen keine abrupten Sprünge auf, mit Ausnahme einiger Szenen in der Mitte des Gebiets (zwischen 98 und 100°). In diesen Fällen hat Regen zwischen den beiden SAR Aufnahmen zu einer starken Dekorrelation geführt. Diese Bilder sollten eigentlich durch andere Tandemaufnahmen, die nicht durch Regen betroffen waren, ersetzt werden, wurden aber wegen des

Mangels zusätzlicher Daten im Mosaik belassen. In Abb. 2 ist ersichtlich, dass Teile des Gebiets maskiert wurden (schwarze Flächen). Es handelt sich dabei um Gebiete mit ausgeprägter Topographie, in denen starke geometrische und radiometrische Verzerrungen der Radardaten auftreten. Trotz dieser Einschränkungen kann der Schluss gezogen werden, dass in den borealen Gebieten Kanadas und Eurasiens CO₂-relevante Waldparameter (in diesem Falle das Stammvolumen) großflächig mit Hilfe der Radarfernerkundung aufgenommen werden können. Eine durch unabhängige Forstexperten durchgeführte Überprüfung der SIBERIA Karte ergab eine mittlere Treffsicherheit der Waldklassen von 86,9 %. Von speziellem Interesse für die Kohlenstoffbilanzierung ist, dass vor allem Brandflächen und

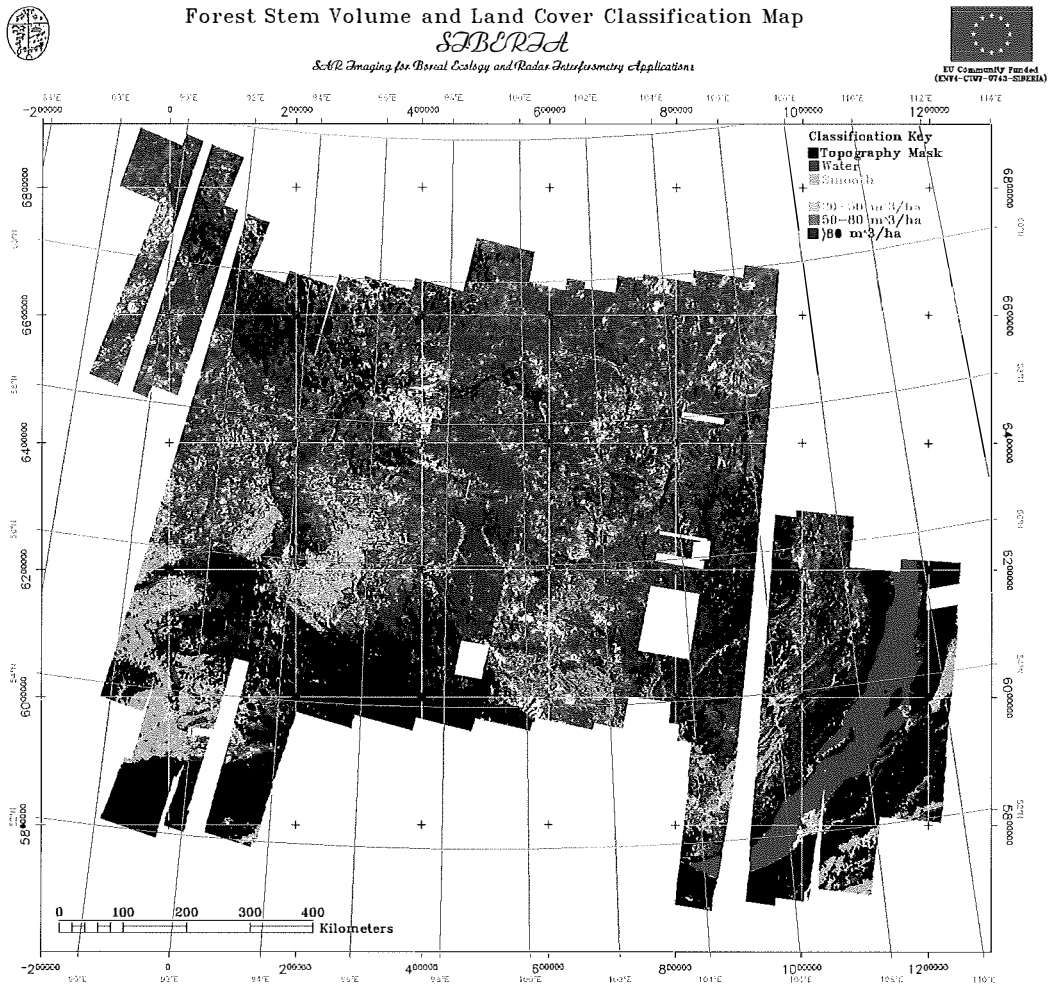


Abb. 2: Waldkarte erstellt im Rahmen des SIBERIA Projekts aus ERS SAR Tandemaufnahmen und JERS SAR (Copyright: EC ENV4-CT97-0743-SIBERIA, © ESA 97/98, NASDA GBFM, DLR)

Abholzungen klar in der Radarkarte ersichtlich sind.

4. Globale Bodenfeuchtigkeitsdaten

Um ein CO₂ Molekül zu binden, verbrauchen Pflanzen bis zu 400 Wassermoleküle [12]. Das in Reichweite der Pflanzenwurzeln gespeicherte Bodenwasser ist daher von zentraler Bedeutung für die CO₂-Bilanz, vor allem in trockenen Klimazonen. Im Regelfall simulieren globale Kohlenstoffmodelle die Wasserverfügbarkeit der Vegetation basierend auf monatlichen Klimamittelwerten, mit teils sehr unterschiedlichen Auswirkungen auf die Netto-Primärproduktivität der Vegetation [7]. Ein direkter Vergleich verschiedener Kohlenstoffmodelle gibt zwar wichtige Hinweise auf deren Funktionsweise, doch werden für die Validierung und Verbesserung globale Bodenfeuchtigkeitsdaten benötigt. Nicht nur könnten mögliche Zukunftsszenarien realistischer simuliert werden, sondern auch die gemessenen interannualen Schwankungen der atmosphärischen CO₂-Konzentration besser verstanden werden.

Weltweit gibt es nur wenige Regionen, in denen der Bodenwassergehalt mit *in-situ* Messmethoden (gravimetrische Bestimmung, Tensiometer, etc.) flächendeckend und in regelmäßigen Abständen aufgenommen wird. Für die Aufnahme eines globalen Meßdatensatzes ist man daher auf die Methoden der Fernerkundung angewiesen. Im Mikrowellenbereich ist die von der Erdoberfläche emittierte (passive Verfahren) und reflektierte (aktive Verfahren) Strahlung stark von den Dielektrizitätseigenschaften des Bodens – und somit von dessen Wassergehalt – abhängig. Die starke Abhängigkeit der Emissionseigenschaften vom Bodenwassergehalt will man sich bei dem in Planung befindlichen Satelliten SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity Mission), der zum Zweck der Messung der Bodenfeuchtigkeit über Land und des Salzgehaltes der Ozeane konstruiert wird, zunutze machen [13]. SMOS ist ein experimenteller Satellit, der ab 2005 globale Bodenfeuchtigkeitsdaten mit einer räumlichen Auflösung von 20 – 30 km liefern soll.

Da aufgrund der vorherrschenden Lehrmeinung das Signal-zu-Rauschverhältnis bei passiven Systemen besser als bei aktiven Systemen ist und das Radarsignal eine höhere Sensitivität zu störenden Einflußfaktoren wie die Bodenrauigkeit und die Vegetationsstruktur aufweist [13], hat sich die internationale Forschungsgemeinschaft bei globalen Fragestellungen bisher auf passive Systeme konzentriert. Daher sind

die Möglichkeiten aktiver Systeme, wie des ERS Scatterometer, noch wenig bekannt, obwohl auch hier bereits große Fortschritte erzielt worden sind. So zeigt Abb. 3 den jahreszeitlichen Verlauf der Bodenfeuchtigkeit über dem afrikanischen Kontinent. Die Karten wurden aus Scatterometer Aufnahmen aus den Jahren 1992-2000 mithilfe eines *Change-Detection* Ansatzes berechnet [14]. Indem nur zeitliche Veränderungen betrachtet werden, berücksichtigt die Methode auf einfache Art und Weise die Einflüsse der Bodenrauigkeit und der Vegetation. Sie erlaubt die flächenhafte Auswertung der Scatterometer Daten, mit Ausnahme von dichtem Regenwald und Wüstengebieten, in denen eine starke Abhängigkeit der Rückstreuung vom Azimutwinkel beobachtet wird (Abb. 3). Die beobachteten räumlichen und zeitlichen Muster stimmen gut mit dem Wissen über den globalen Wasserhaushalt überein und auch der lokale Vergleich mit *in-situ* Messungen hat gute Ergebnisse geliefert. So zeigte ein direkter Vergleich mit einer 12 835 Meßwerte umfassenden Datenbank aus gravimetrischen Meßwerten der 0–100 cm Bodenschicht aus der Ukraine, dass zumindest fünf Feuchtigkeitsstufen getrennt werden können [15].

5. Detektion von Bodenfrost

In den hohen nördlichen Breiten der borealen Waldzone und der Tundra trifft man Permafrost, d.h. ständig gefrorenen Boden, bis in Tiefen von 300 m an. Doch für die Vegetation ist nicht die Tiefe oder das Alter des Permafrost von Bedeutung, sondern vielmehr die oberste Bodenschicht, die im Sommer auftaut. Die Dynamik dieser Auftaubodenschicht steuert bodenbildende und vegetationsökologische Prozesse [16] und ist insofern für die CO₂-Bilanz dieser Gebiete von großer Bedeutung. Kicklighter et al. [17] stellen fest, dass globale Kohlenstoffmodelle die Dynamik von Tau- und Gefrierprozessen und deren Effekt auf die Netto-Primärproduktivität der Vegetation nur unzureichend simulieren.

Radarsysteme können den Vorgang des Gefrierens und Tauens dokumentieren, da Frost die Dielektrizitätseigenschaften des Bodens stark verändert. Weiters ist wichtig, dass im niederfrequenten Mikrowellenbereich trockener Schnee weitgehend transparent ist und nasser Schnee je nach Rauigkeit seiner Oberfläche unterschiedliche Rückstreuwerte aufweisen kann. Während SAR Systeme detaillierte räumliche Informationen liefern können, geben Scatterometer einen großflächigen Überblick über die zeitli-

Soil Water Index

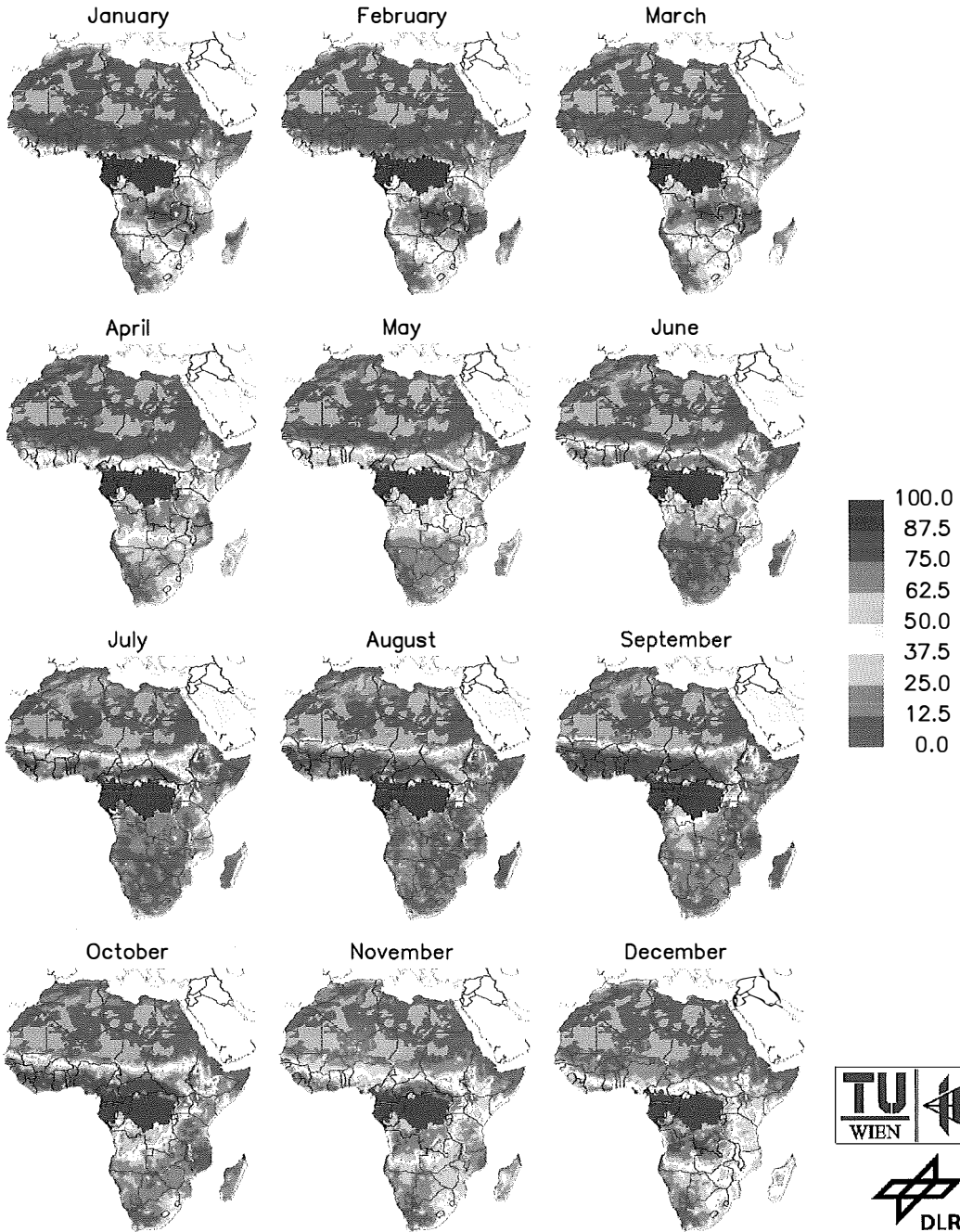


Abb. 3. Jahreslauf des Bodenwassergehalts über Afrika aus ERS Scatterometer Daten. Dargestellt sind Monatsmittelwerte des Bodenfeuchtigkeitsindex, wobei dunkelbraune Farben trockene Verhältnisse (Welkepunkt) und dunkelblaue Farben nasse Verhältnisse (Feldkapazität) darstellen. Grüne Flächen zeigen dichte Regenwälder und graue Flächen Bereiche, in denen das gemessene Signal eine starke Abhängigkeit von der Aufnahmerichtung aufweist (Azimutaleffekte). In diesen Gebieten war eine Ableitung des Bodenwassergehalts nicht möglich.

che Dynamik von Tau- und Gefrierprozessen [18]. Als Beispiel zeigt Abb. 4 die Dynamik des Bodenfrosts über Nordkanada im Jahr 1995 [19]. Die Validierung der Ergebnisse ist aufgrund des Mangels an Referenzdaten schwierig, doch dürfte der zeitliche Fehler bei der Bestimmung der Übergänge vom gefrorenen Zustand in den getauten und umgekehrt in der Größenordnung von 1-2 Wochen liegen. Auch wenn die Daten noch Unsicherheiten aufweisen, bieten sie zum ersten Mal die Möglichkeit, Modellsimulationen zu überprüfen. In einem iterativen Prozeß könnten dann die Fernerkundungsmethodik und die Modelle laufend verbessert werden.

ten, CO₂ relevante Geodaten bereitzustellen. Oft verhindern aber Probleme wie Datenverfügbarkeit, Diskontinuität von Fernerkundungsmissionen oder der beträchtliche Ressourcenaufwand, der für die Bearbeitung großer Datenmengen notwendig ist, den Schritt von wissenschaftlichen Pilotprojekten zu operativen Anwendungen. So wird es nach dem Ende von ERS-2 bis zum Start des ersten METOP (Meteorological Operational) Satelliten, der voraussichtlich im Jahre 2005 erfolgen wird, keine C-Band Scatterometer Daten geben. Eine Serie von drei METOP Satelliten soll dann aber eine Kontinuität bei der Bereitstellung von Scatterometer Daten

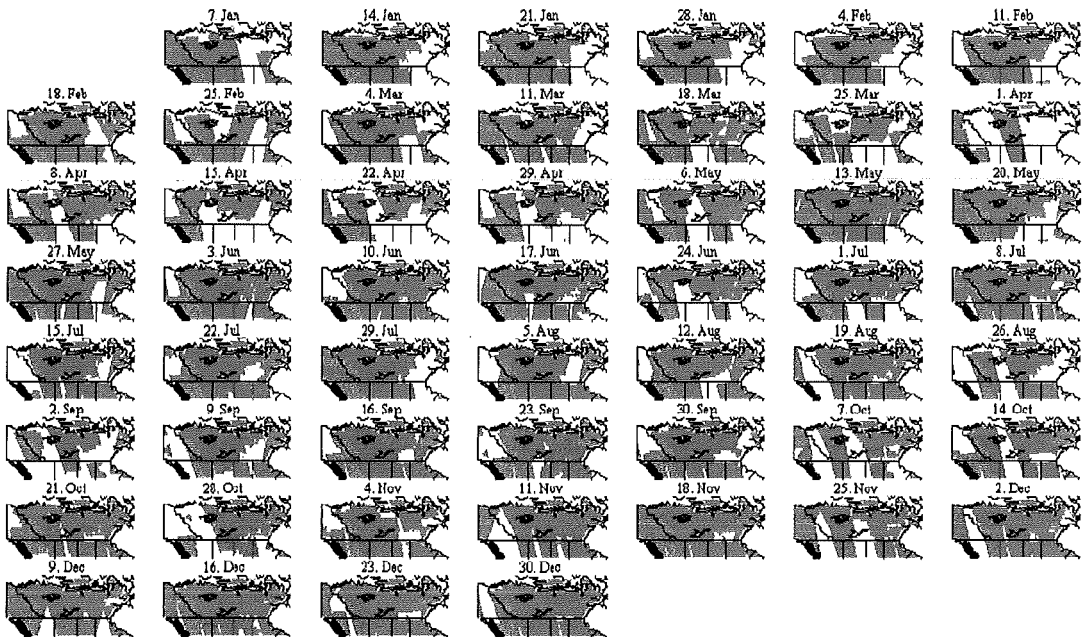


Abb. 4: Dynamik des Bodenfrosts über Nordkanada (55–72°N, 85–141°W) im Jahr 1995 aus ERS Scatterometer Daten. Gefrorener Boden ist in blau dargestellt, getauter Boden in grün, Gebiete in denen keine Aussage möglich ist in grau und fehlende Daten in weiß (© IPF).

6. Perspektiven

Ausgehend von den Diskussionen rund um das Kyoto-Protokoll ist die quantitative Erfassung des globalen Kohlenstoffkreislaufs ins Zentrum der wissenschaftlichen Diskussion gerückt. Während die grundlegenden Mechanismen des globalen CO₂-Kreislauf bekannt sind, ist aufgrund des Mangels an Geodaten die quantitative Abschätzung von Kohlenstoffflüssen mit großen Unsicherheiten behaftet. Wie in diesem Artikel anhand von drei Beispielen gezeigt wird, bietet die Radarfernerkundung zahlreiche Möglichkei-

über zumindest 14 Jahre hinaus garantieren. Weniger erfreulich ist die Lage im Falle von SAR Tandemkohärenzdaten. Hier ist noch nicht abzusehen, ob es einmal eine, der ERS-1/2 Tandemmission vergleichbare Konstellation von Radarsatelliten geben wird. In diesem Fall wird man sich mit dem historischen Datenarchiv aus den Jahren 1995 bis 1998 begnügen müssen. Neben einer kohärenten Planung von Fernerkundungsmissionen sollte man in Zukunft Anwendungsaspekte stärker berücksichtigen, um den hohen wissenschaftlichen und praktischen Nutzen der Fernerkundung – der schließlich die Investi-

tionen in Sensorenentwicklung, Satellitenbetrieb und Bodeninfrastruktur rechtfertigt – zur vollen Geltung kommen zu lassen.

Literatur

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (2000) Land use, land-use change, and forestry, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- [2] Sweet, W. und E. A. Bretz (1999) Toward carbon-free energy, IEEE Spectrum, 36(11):28–33.
- [3] Intergovernmental Panel on Climate Change (2001) Climate Change 2001: Impacts, Adaption, and Vulnerability, Summary for Policymakers, IPCC Secretariat, Genf, Schweiz, <http://www.ipcc.ch/>, 2001.
- [4] Oberthür, S. und H. E. Ott (2000) Das Kyoto-Protokoll, Internationale Klimapolitik für das 21. Jahrhundert, Leske + Budrich, Opladen, Deutschland.
- [5] Fischlin, A. und J. Fuhrer (2000) Die Klimapolitik bringt die Wissenschaft an ihre Grenzen – Die Herausforderung des Kyoto-Protokolls für die Ökologie, Neue Zürcher Zeitung, Nr. 262 (9. Nov.).
- [6] Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1998) Die Anrechnung biologische Quellen und Senken im Kyoto-Protokoll: Fortschritt oder Rückschritt für den globalen Umweltschutz? ISBN 3-9806309-0-0, <http://www.awi-bremerhaven.de/WBGU/>
- [7] Cramer, W., D. W. Kicklighter, A. Bondeau, B. Moore III, G. Churkina, B. Nemry, A. Ruimy, A Schloss and the participants of the Potsdam NPP Model Intercomparison (1999) Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): overview and key results, Global Change Biology, 5(suppl. 1):1–15.
- [8] Treter, U. (2000) Rolle der borealen Waldländer im globalen CO₂-Haushalt – Eine ökosystemare Analyse, Geographische Rundschau, 52(12):4–11.
- [9] Nilsson, S. (Ed.) (2000) IIASA's forestry project – Seeing the forest and the trees, Options, Autumn 2000, International Institute for Applied System Analysis, Laxenburg, Österreich.
- [10] Schmillius, C. und W. Wagner (2000) SIBERIA – Kartierung borealer Wälder mit Radarfernerkundung, Geographische Rundschau, 52(12):44–48.
- [11] Wagner, W., J. Vietmeier, K. Tansey, H. Balzter, C. Schmillius, A. Luckman, S. Quegan, J. J. Yu, D. Gaveau, M. Davidson, T. Le Toan, M. Gluck and A. Shvidenko, An

adaptive approach for classifying boreal forest in SIBERIA based on ERS tandem coherence and JERS backscatter data, submitted to Remote Sens. Environ.

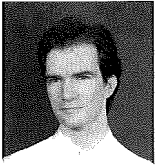
- [12] Donovan, L. A. and J. Sperry (2000) Scaling the soil-plant-atmosphere continuum: from physics to ecosystems, Trends in Plant Science, 5(12):510–512.
- [13] Kerr, Y. H., J. Font, P. Waldteufel and M. Berger (2000) The Soil Moisture and Ocean Salinity Mission – SMOS, Earth Observation Quarterly, 66:18–26.
- [14] Wagner, W. und K. Scipal (2000) Der Einsatz von Radarsatelliten zur Überwachung der Bodenwasserressourcen in Afrika, Petermanns Geographische Mitteilungen, 144(3): 40–45.
- [15] Wagner, W., G. Lemoine and H. Rott (1999) A Method for Estimating Soil Moisture from ERS Scatterometer and Soil Data, Remote Sens. Environ., 70:191–207.
- [16] Makarov, V. N. und J.-F. Venzke (2000) Umweltbelastung und Permafrost in Jakutsk (Sibirien), Geographische Rundschau, 52(12):21–26.
- [17] Kicklighter, D. W., A. Bondeau, A. L. Schloss, J. Kaduk, A. D. McGuire and the participants of the Potsdam NPP Model Intercomparison (1999) Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): global pattern and differentiation by major biomes, Global Change Biology, 5(suppl. 1):16–24.
- [18] Vismann, V. (2000) Monitoring of seasonal thawing in Siberia with ERS Scatterometer data, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 38(4):1804–1809.
- [19] Scipal, K. and W. Wagner (1998) Monitoring freeze-thaw cycles over northern Canada, 2nd European Conference on Applied Climatology, Vienna, Austria, October 19–23, 1998.

Internetseiten

SIBERIA-Projekt: <http://pipeline.swan.ac.uk/siberia/>
 Scatterometer Anwendungen: <http://www.ipf.tuwien.ac.at/www/home.htm>

Anschrift des Autors

Dr. Wolfgang Wagner: Abteilung „Umwelt und Geoinformation“, Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Oberpfafenhofen, D-82234 Weßling, Deutschland. E-mail: w.wagner@dlr.de.



Direkte Georeferenzierung von Luftbildern in konformen Kartenabbildungen

Camillo Ressler, Wien

Zusammenfassung

In diesem Aufsatz werden die Probleme diskutiert, die entstehen, wenn eine Aerotriangulation (nach der Bündelblockmethode) im System der Landesvermessung durchgeführt wird. Es sind dies die Erdkrümmung (P1), der Unterschied zwischen Lage- und Höhenmaßstab (P2) und die Änderung des Lagemaßstabes im Projektgebiet (P3). Problem P1 kann sehr gut durch die sogenannte Erdkrümmungskorrektur gelöst werden. Während der Einfluss von P2 und P3 bei der konventionellen Aerotriangulation über Pass- und Verknüpfungspunkte (sog. Indirekte Georeferenzierung) in Lage und Höhe wesentlich ist, kann er bei der direkten Georeferenzierung (über GPS/INS) in der Höhe nicht vernachlässigt werden.

Abstract

This paper deals with the problems that arise when an aerial-triangulation (with the bundle-method) is performed in the national coordinate system. These problems are the earth curvature (P1), the different scales in planimetry and height (P2), the variation of the scale in planimetry across the area of a given project (P3). Problem P1 may be solved by the so-called 'correction of the earth curvature'. Whereas P2 and P3 have negligible effects in planimetry and height when performing a conventional aerial-triangulation using control- and tie-points (so-called indirect georeferencing), their effect in height is not negligible when performing 'direct georeferencing' (using GPS/INS).

1. Einleitung

Eine der Hauptaufgaben der Photogrammetrie ist die Rekonstruktion räumlicher Objekte mit Hilfe von (analogen oder digitalen) Luftbildern, wobei die Anzahl der benötigten Bilder von der Gebietsgröße und der geforderten Genauigkeit und Zuverlässigkeit abhängt. Bei dieser Rekonstruktion wird das Objekt durch eine Menge von Punkten und Linienelementen abstrahiert, aus denen in der Folge Kurven und Oberflächen abgeleitet werden können. Die 3D-Koordinaten dieser diskreten Punkte und Linienelemente sind aus den Bildern zu bestimmen und in Bezug zu einem gegebenen Koordinatensystem zu setzen. Im Allgemeinen handelt es sich dabei um das System der staatlichen Landesvermessung.

Der erste (und wesentliche) Schritt bei dieser Objektrekonstruktion ist die Orientierung der Luftbilder, d.h. die Bestimmung der Aufnahme-position und -stellung der Bilder (= äußere Orientierung (XOR)). In jüngster Zeit wird dieser Vorgang auch gern als „Georeferenzierung“ bezeichnet. Die Parameter der inneren Orientierung (IOR), nämlich Bildhauptpunkt, Kamerakonstante und Verzeichnung, werden im Allgemeinen in Form eines Protokolls einer Laborkalibrierung vorgehalten.

Der zweite Schritt ist dann die eigentliche Objektrekonstruktion im Landeskoordinatensystem. Diese erfolgt nach dem Prinzip der Modellaus-

wertung [6] manuell oder automationsunterstützt an analytischen oder digitalen Stereoplottern.

Die Georeferenzierung selbst kann indirekt (über Pass- und Verknüpfungspunkte) oder direkt (über GPS/INS) durchgeführt werden. Die photogrammetrischen Beziehungen (z.B. die Formel der Zentralprojektion) beziehen sich auf ein kartesisches Koordinatensystem. Aus diesem Grund sollte die Georeferenzierung auch in einem solchen System durchgeführt werden, z.B. in einem passend gewählten Tangentialsystem. Da aber die Endergebnisse – jene oben erwähnten diskreten Objektpunkte – letztendlich im System der Landesvermessung anzugeben sind, erfolgt die Georeferenzierung oft gleich in diesem System. Da das Landeskoordinatensystem auf einer Abbildung der gekrümmten Erdoberfläche basiert, bei der prinzipiell Verzerrungen nicht vermieden werden können, erhebt sich folgende Frage: Welche Fehler entstehen in den Objektpunkten wenn die direkte bzw. indirekte Georeferenzierung im System der Landesvermessung durchgeführt wird?

Für die indirekte Georeferenzierung wurde diese Problematik schon ausführlich in der Literatur untersucht; z.B. [10], [8]. Für die direkte Georeferenzierung soll diese Diskussion hier (mit Betonung der Höhenfehler) nachgeholt werden. Da nur die Fehler aufgrund der Verzerrungen im Landeskoordinatensystem von Interesse sind, wird in den folgenden Untersuchun-

gen davon ausgegangen, dass die Bild-, GPS- und INS-Beobachtungen fehlerfrei sind, und dass der Wert der Kamerakonstanten während des Fluges sich nicht von dem Wert unterscheidet, der bei einer Laborkalibrierung ermittelt wurde – d.h. Kamerakonstantenänderungen aufgrund atmosphärischer Parameter werden nicht berücksichtigt.

2. Indirekte und direkte Georeferenzierung

Standardmäßig erfolgt die Bestimmung der XOR eines Verbandes von Luftbildern im Rahmen einer Aerotriangulation (AT) unter Zuhilfenahme von Pass- und Verknüpfungspunkten. Die AT kann dabei in Form einer Blockausgleichung mit unabhängigen Modellen oder einer Bündelblockausgleichung erfolgen. Im Weiteren wird unterstellt, dass eine Bündelblockausgleichung durchgeführt wird. Diese Art der Georeferenzierung wird gerne auch als „indirekte Georeferenzierung“ bezeichnet, da die XOR der Luftbilder indirekt über die Pass- und Verknüpfungspunkte ermittelt wird.

Dieser Methode gegenüber steht die sogenannte „direkte Georeferenzierung“, bei der die XOR der Luftbilder direkt über zwei spezielle Sensoren, die im Flugzeug eingebaut sind, anfällt. Der erste Sensor ist ein INS (Inertial Navigation System), das fest am Kameragehäuse montiert ist. Ein INS besteht aus einer sogenannten Inertialmesseinheit (IMU), welche aus drei Drehbeschleunigungsmessern (Kreisel) und drei linearen Beschleunigungsmessern aufgebaut ist, und zusätzlichen „positioning and guidance functions“ [2].

Mittels Integration erlaubt ein INS die Geschwindigkeit, die Position und die Stellung des Systemträgers (= Flugzeug) relativ zu einem vorgegebenen Bezugssystem zu bestimmen. Da ein solcher Systemträger einer hohen Dynamik ausgesetzt ist, summieren sich die zufälligen und verbliebenen systematischen Fehler während des Integrationsprozesses auf, so dass sich die Genauigkeit eines INS rapid mit der Zeit verschlechtert. Je nach dem Verhalten der Systemgenauigkeit (hoch, mittel, niedrig) werden INS in 3 Gruppen eingeteilt („strategic grade“, „navigation grade“, „tactical grade“). Folgende Tabelle (entnommen aus [3]) gibt einen Überblick über die einzelnen Systemgenauigkeiten. Da die Absolutgenauigkeit zeitabhängig ist, wird diese meist auf unterschiedliche Integrationszeiten bezogen (Sekunde, Minute, Stunde):

Zeitintervall	Systemgenauigkeit		
	Hoch	Mittel	Niedrig
Position			
1 h	300–500 m	1–3 km	200–300 km
1 min	0.3–0.5 m	0.5–3 m	30–50 m
1 s	0.01–0.02 m	0.03–0.1 m	0.3–0.5 m
Neigung [°]			
1 h	0.003–0.008	0.01–0.05	1–3
1 min	0.0003–0.0005	0.004–0.005	0.2–0.3
1 s	<0.0003	0.003–0.005	0.01–0.03
Preis (US\$)	~1.000.000	~ 100.000	~ 10.000

Tabelle 1: Genauigkeitseinteilung für INS

Für die direkte Georeferenzierung von Luftbildern werden im Allgemeinen INS der mittleren Genauigkeitsklasse verwendet. Um die INS-Genauigkeit auf konstantem Niveau zu halten, ist es nun notwendig, dass die INS-Beobachtungen (Geschwindigkeit, Position) periodisch mit Referenzwerten verglichen werden. Ein System, das sich anbietet solche Referenzwerte zu liefern, ist GPS (Global Positioning System). Zu diesem Zweck wird als zweiter Sensor eine GPS-Antenne am Dach des Flugzeugs montiert. Mittels Kalmanfilterung können dann die Beobachtungen beider Systeme integriert werden, wobei die Vorteile beider Systeme bewahrt, die Nachteile hingegen eliminiert bzw. gemindert werden; [3].

Als Ergebnis dieser GPS-INS-Integration erhält man die Position des Flugzeugs auf ~ 5–10 cm (bei dGPS [3]) und die Stellung des Fliegers in etwa mit der Genauigkeit des verwendeten INS bei der Integrationszeit von einer Sekunde, also etwa 0.003–0.005°.

GPS, INS und die im Flugzeug eingebaute Messkamera arbeiten zunächst unabhängig voneinander mit unterschiedlichen Datenraten (GPS: 1–10 Hz, INS: ~200 Hz, Kamera: <1 Hz). Für eine korrekte Verarbeitung der GPS/INS-Beobachtungen, um daraus die XOR der Luftbilder (zu den Belichtungszeitpunkten) abzuleiten, ist eine sehr genaue zeitliche Synchronisation dieser 3 Sensoren notwendig (besser als 1 msec).

Durch den Einsatz der direkten Georeferenzierung ergeben sich viele Vorteile, die einen großen zeitlichen (= finanziellen) Gewinn ermöglichen können: Die Photogrammetrie wird vom Zwang befreit, ein Projektgebiet zum Zweck der Blockversteifung rechteckig und weiter als notwendig zu befliegen. Die Messung von Pass- und Verknüpfungspunkten erscheint nicht mehr notwendig. Ebenso entfällt eine gemeinsame Ausgleichung *aller* Bilder vor der weiteren Bildauswertung. Somit ist die direkte Georeferenzierung besonders für Aufgaben geeignet, wo die

Genauigkeit nicht das primäre Ziel ist, sondern die rasche Verfügbarkeit von georeferenzierten Bilddaten.

Auf die weiteren Probleme der GPS/INS-Integration und auf den praktischen Einsatz dieses Systems bei der Luftbildvermessung wird hier nicht weiter eingegangen; so z.B. zeigt sich die (geringe) Verdrehung (das sog. ‚misalignment‘) zwischen Kamera und INS als z.T. zeitlich instabil. Darum müssen zur Sicherheit nach wie vor Pass- und Verknüpfungsmessungen und eine gemeinsame Ausgleichung aller Beobachtungen (GPS/INS, Bildmessungen, Bodenpasspunkte) vorgenommen werden.

An der direkten Georeferenzierung interessierte Leser seien auf z.B. [3], [2], [9] oder [5] verwiesen.

3. Das Landeskoordinatensystem

Wie eingangs erwähnt wurde, besteht die photogrammetrische Aufgabe darin, mittels gegebener Luftbilder der räumliche Objekte zu rekonstruieren, wobei diese Objekte durch eine Menge von Punkten abstrahiert und deren Koordinaten in Bezug zu einem gegebenen Koordinatensystem angegeben werden. Im Allgemeinen handelt es sich dabei um das System der staatlichen Landesvermessung. Dieses System basiert darauf, dass die mathematisch nicht beschreibbare Form der Erdoberfläche durch ein passendes Rotationsellipsoid angenähert wird. Mit Hilfe dieses Bezugsellipsoids können 3D-Punkte durch deren geodätische Länge L und Breite B (d.h. der Richtung der Ellipsoidnormalen) und den Normalabstand der 3D-Punkte vom Bezugsellipsoid beschrieben werden. Die Abbildung eines Ellipsoids in die Ebene kann niemals zur Gänze streckentreu, sondern nur winkeltreu oder flächentreu sein. Aufgrund der großen Bedeutung der Winkelmessung in der Geodäsie basieren daher Landeskoordinatensysteme meist auf einer konformen Abbildung (z.B. nach Gauß-Krüger).

Die Gauß-Krüger-Abbildung ist durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet [1]:

1. Die Abbildung ist winkeltreu. Aufgrund einer endlichen Reihenentwicklung gilt diese Eigenschaft nicht in aller Strenge.
2. Es werden nur schmale Streifen (in Österreich: 1.5°) westlich und östlich eines Mittelmeridians abgebildet, mit einem $1/2^\circ$ Überlappungsbereich zu den benachbarten Streifen.
3. Der Mittelmeridian wird streckentreu als Gerade (= X_{LS} -Achse des Streifensystems) abgebildet.

Von einem gegebenen Punkt P in der Höhe H über dem Bezugsellipsoid, ist nur der Fußpunkt am Ellipsoid von dieser Abbildung betroffen. In den so erhaltenen Lagekoordinaten wirkt die Streckenverzerrung τ der Abbildung, wobei τ (und somit auch der Lagemaßstab) mit dem Abstand zum Bezugsmeridian quadratisch zunimmt. Die Ellipsoidhöhe H wird unverändert als Höhenkoordinate ins Landeskoordinatensystem übernommen – mit dem Effekt, dass die windschiefen Ellipsoidnormalen parallel gerichtet werden. Somit herrscht nur entlang des Mittelmeridians in aller Strenge in Lage und Höhe derselbe Maßstab; je weiter man sich von ihm entfernt, desto mehr unterscheiden sich diese beiden Maßstäbe. Aufgrund dieser Tatsachen stellt das Landeskoordinatensystem kein kartesisches Bezugssystem dar.

Bei der Gauß-Krüger-Abbildung berechnet sich die Streckenverzerrung τ im Abstand Y_{LS} vom Bezugsmeridian wie folgt (R ist der mittlere Krümmungsradius, abhängig von den Parametern des Bezugsellipsoids (a, b) und der geodätischen Breite B im Punkt $P(Y_{LS}, X_{LS})$), [1]:

$$\tau = 1 + \frac{Y_{LS}^2}{2R^2} + \frac{Y_{LS}^4}{24R^4} \quad \text{mit}$$

$$R = \frac{c}{1 + e'^2 \cdot \cos^2 B}, \quad c = \frac{a^2}{b}, \quad e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \quad (1)$$

Der Effekt von τ auf 1.000 m beträgt am Streifenrand ($L = 1.5^\circ, B = 48^\circ \rightarrow Y_{LS} \sim 112 \text{ km}$) $\sim +15 \text{ cm}$ und am Ende des Überlappungsbereiches ($L = 2.0^\circ, B = 48^\circ \rightarrow Y_{LS} \sim 150 \text{ km}$) $\sim +28 \text{ cm}$.

Die ebenfalls sehr verbreitete UTM-Abbildung (Universal-Transverse-Mercator) entspricht einer Gauß-Krüger-Abbildung, wobei die Streifenbreite auf $\pm 3^\circ$ vergrößert wird. Um den Einfluss der Streckenverzerrung zu verringern, werden die Lagekoordinaten um den Faktor 0.9996 künstlich verändert. Dadurch geht die Streckentreue im Mittelmeridian verloren und entsteht in X_{LS} -Parallelen im Abstand von $\sim 180 \text{ km}$ östlich und westlich des Mittelmeridians.

Der Effekt von τ bei der UTM-Abbildung auf 1.000 m beträgt im Mittelmeridian ($L = 0.0^\circ, B = 48^\circ \rightarrow Y_{LS} \sim 0 \text{ km}$) $\sim -40 \text{ cm}$, am Streifenende ($L = 3.0^\circ, B = 48^\circ \rightarrow Y_{LS} \sim 220 \text{ km}$) $\sim +20 \text{ cm}$ und am Ende des Überlappungsbereiches ($L = 3.5^\circ, B = 48^\circ \rightarrow Y_{LS} \sim 290 \text{ km}$) $\sim +65 \text{ cm}$.

In diesem verzerrten System der Landesvermessung sind die Koordinaten der diskreten Punkte, die ein zu rekonstruierendes Objekt abstrahieren, anzugeben. Die in der Photogrammetrie gültigen Formeln (der Zentralprojektion) und die daraus abgeleiteten Neupunkte beziehen

sich jedoch auf ein kartesisches System. Wie ist diese Problematik zu lösen?

Die erste (und sauberste) Methode besteht darin, die AT in einem kartesischen Hilfsystem (z.B. einem Tangentialsystem, gelagert in der Mitte des Projektgebietes) durchzuführen, und das Ergebnis danach ins Landeskoordinatensystem zu transformieren. Die zweite Möglichkeit ist, die AT bereits im System der Landesvermessung zu berechnen, wobei man die Diskrepanzen zwischen dem verzerrten Landeskoordinatensystem und der „kartesischen Natur“ der Photogrammetrie durch passende Korrekturen zu minimieren versucht.

Im Folgenden soll nur mehr die zweite Methode betrachtet werden. Welche Probleme entstehen nun, wenn man die kartesischen Beziehungen der Photogrammetrie im verzerrten Landeskoordinatensystem anwendet? Abbildung 1 beschreibt die Sachlage schematisch.

In Skizze (A) ist der Schnitt durch 3 ausgewählte Projektionszentren eines entlang eines Breitenkreises von West nach Ost geflogenen Streifens dargestellt (wobei der Einfachheit halber die Schnittellipse durch einen Kreis ersetzt ist). Das Flugzeug fliegt dabei in konstanter Ellipsoidhöhe H_F . Die Kamerakonstante sei c , das Bildformat sei s und es handle sich um exakte Senkrechtaufnahmen. Unterwirft man den durch

diese Bilder abgedeckten Ellipsoidbereich der Gauß-Krüger-Abbildung, so wird dieser Ellipsoidbereich sozusagen konform abgewickelt. Die dabei entstehenden Streckenverzerrungen seien zunächst einmal außer Acht gelassen. Diese Abbildung der Ellipsoidoberfläche liefert die Lagekoordinaten des Landeskoordinatensystems. Als Höhenkoordinate dient die Ellipsoidhöhe der Geländepunkte. Diese beziehen sich aber auf das gekrümmte Referenzellipsoid der Landesvermessung. Diese Ellipsoidkrümmung verhindert, dass die kartesischen Beziehungen der Photogrammetrie unmittelbar im Landeskoordinatensystem angewendet werden können.

In erster Näherung kann man aber die gekrümmte Ellipsoidoberfläche durch ein Polyeder aus Tangentialebenen ersetzen, wobei die Tangentialebenen in den Normalenfußpunkten der Projektionszentren ans Ellipsoid gelegt werden. Die Abwicklung dieser Tangentialpolyederfläche entspricht dann in erster Näherung der Gauß-Krüger-Abbildung der Ellipsoidoberfläche. Zusammen mit den auf die einzelnen Tangentialebenen bezogenen Höhen erhalte man dann für jedes Bild ein individuelles (kleines) kartesisches System. Die Korrektur, die aufgrund der Tangentialapproximation durchzuführen ist, behebt also die Effekte zufolge der Ellipsoidkrümmung. Die Skizze (B) soll die Wirkung dieser Korrektur wiedergeben. Dort ist als meridionaler Schnitt die

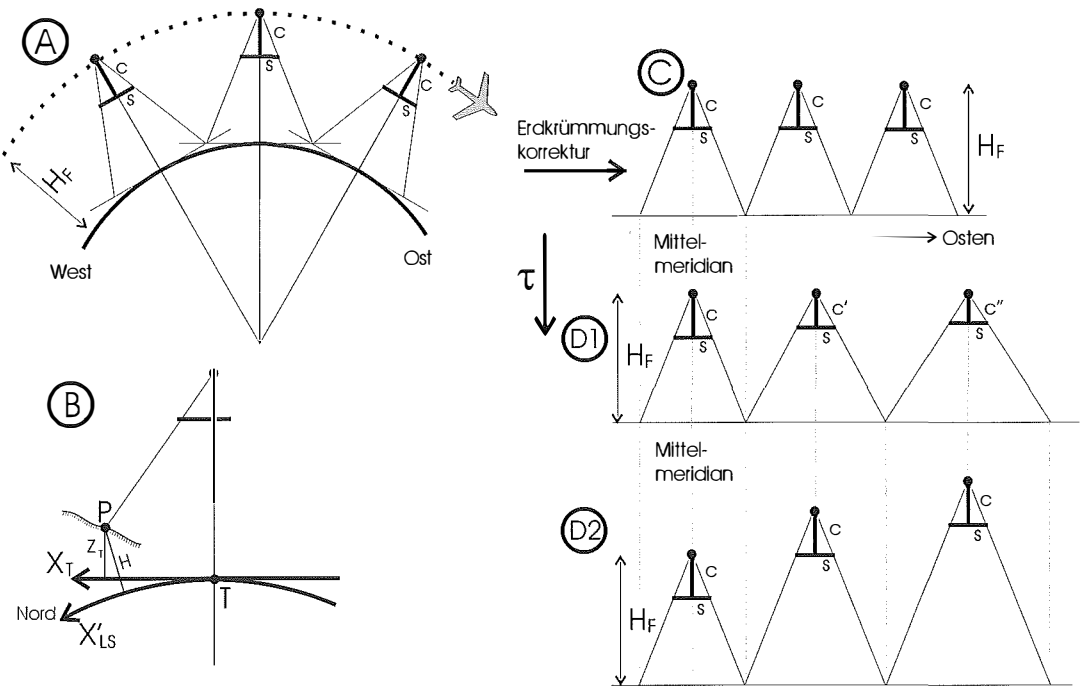


Abb. 1: Flugstreifen im Landeskoordinatensystem

Umgebung eines Normalenfußpunktes T mit zugehöriger Tangentialebene und gekrümmter Ellipsoidoberfläche dargestellt.

Ein Geländepunkt P ist ebenfalls dargestellt, und zwar bezüglich der Ellipsoidoberfläche mit Koordinaten (Y'_{LS}, X'_{LS}, H) ¹ und bezüglich eines kartesischen Tangentialsystems mit Koordinaten (X_T, Y_T, Z_T) . Kennt man die (genähereten) Landeskoordinaten von T und von den Punkten P, die im zu T gehörenden Bild liegen, so kann man diese Punkte P ins Tangentialsystem transformieren. In diesem Tangentialsystem gelten dann die kartesischen Beziehungen der Photogrammetrie.

Diese Transformation wird als Erdkrümmungskorrektur bezeichnet, und ist standardmäßig in den gängigen AT-Programmen enthalten. Die Erdkrümmungskorrektur ist auch in der Weise durchführbar, dass nicht die Objektkoordinaten verändert werden, sondern die Bildkoordinaten. Näheres zur Erdkrümmungskorrektur findet man z.B. in [10], [7], [6].

Mit Hilfe der Erdkrümmungskorrektur wird der in konstanter Ellipsoidhöhe H_F durchgeführte Flug verebnet; d.h. das Flugzeug fliegt jetzt horizontal in konstanter Höhe H_F über der Bezugsebene, in die das Tangentialebenenpolyeder ausgebreitet wird; Skizze (C).

Nun kommt noch die zuvor außer Acht gelassene Streckenverzerrung τ der Gauß-Krüger-Abbildung, deren Zunahme bei Entfernung vom Mittelmeridian und die unveränderte Übernahme der Ellipsoidhöhen ins Spiel. Sie erzeugen eine Diskrepanz, die in den Skizzen (D1) bzw. (D2) dargestellt ist: Einerseits sollten die Höhen der Projektionszentren der Bilder gleich groß sein, schließlich wurde in konstanter Ellipsoidhöhe befliegen. Das führt aber dazu, dass die Bildwinkel sich wegen (und dessen Zunahme nach Osten hin kontinuierlich vergrößern müssen, d.h. das Verhältnis zwischen Kamerakonstante c und Bildformat s müsste sich ändern (Skizze (D1)). Andererseits, wenn dieses Verhältnis konstant bleibt (da ja alle Bilder mit ein und derselben Kamera aufgenommen wurden), müsste die Flughöhe im Landeskoordinatensystem kontinuierlich nach Osten hin zunehmen (Skizze (D2)).

Zusammenfassend entstehen somit 3 Probleme, wenn man eine AT (nach der Bündelblockmethode) im System der Landesvermessung berechnen will:

- P1) Effekt der Erdkrümmung
- P2) Unterschied zwischen Lage- und Höhenmaßstab
- P3) kontinuierliche Veränderung des Lagemmaßstabes im Blockgebiet in lateraler Richtung

Während Problem P1 durch die Erdkrümmungskorrektur beseitigt wird, sind nach Wissen des Autors, die Probleme P2 und P3 bisher außer Acht gelassen worden. Die Frage ist nun, welche Fehler entstehen an den Neupunkten bei indirekter bzw. direkter Georeferenzierung, wenn P2 und P3 nicht berücksichtigt werden.

Anmerkung: Das Problem der Richtungsreduktion (d.h. die Abweichung zwischen der geradlinigen Verbindung zwischen Projektionszentrum und Objektpunkt in der Karte und der Abbildung des entsprechenden Normalschnitts bzw. der entsprechenden geodätischen Linie) braucht nicht berücksichtigt zu werden. So ist der aufs Bild bezogene Effekt der Richtungsreduktion bei der Gauß-Krüger-Abbildung bei $(L = 2.0^\circ, B = 48^\circ; \rightarrow Y_{LS} \sim 150 \text{ km})$ für Bildmaßstäbe größer 1:45.000 kleiner als $1 \mu\text{m}$; bzw. bei der UTM-Abbildung bei $(L = 3.5^\circ, B = 48^\circ; \rightarrow Y_{LS} \sim 290 \text{ km})$ für Bildmaßstäbe größer 1:23.000.

4. Indirekte Georeferenzierung in konformen Kartenabbildungen

In diesem Fall sind 3D-Landeskoordinaten der Passpunkte, die Koordinaten ihrer Abbil-

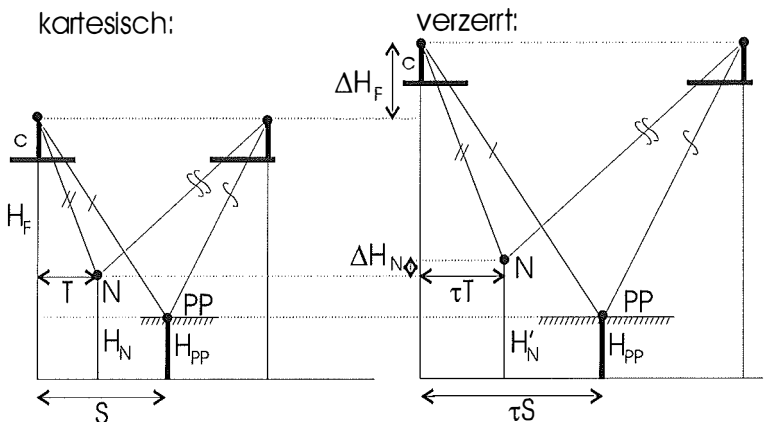


Abb. 2: Indirekte Georeferenzierung

¹ (Y'_{LS}, X'_{LS}, H) sollen ellipsoidische rechtwinklige Koordinaten sein im Stile der Gauß-Krüger-Abbildung mit Ursprung in T und mit X'_{LS} in Richtung des Meridians in T.

dungen in den Luftbildern, die Bildkoordinaten von Verknüpfungspunkten und die IOR gemäß einer gültigen Laborkalibrierung gegeben. Zu bestimmen sind zunächst die Parameter der XOR und anschließend die Koordinaten von Neupunkten. Problem P1 wird durch die Erdkrümmungskorrektur behoben. Wie sieht es mit P2 und P3 aus?

Die XOR der Luftbilder wird indirekt über die Pass- und Verknüpfungspunkte abgeleitet. Die freie Flughöhe passt sich dabei an die Pass- und Verknüpfungspunktsituation am Boden an; d.h. der lokale Lagemaßstab – verursacht durch τ und „realisiert“ in den Passpunkten – überträgt sich auf die Flughöhe. In der Abbildung 2 ist dieser Sachverhalt wiedergegeben (zwei Bilder, Vollpasspunkt PP, Neupunkt N).

In beiden Systemen sind die Bündel der Projektionsstrahlen kongruent, da jedesmal derselbe Wert für die Kamerakonstante c verwendet wird. Somit gilt:

$$\frac{H_F - H_{PP}}{S} = \frac{H_F + \Delta H_F - H_{PP}}{\tau \cdot S} \rightarrow \underline{\Delta H_F = (\tau - 1) \cdot (H_F - H_{PP})} \quad (2)$$

Für die Höhe H_N eines Neupunktes N – unter Verwendung von (2) – gilt:

$$\frac{H_F - H_N}{T} = \frac{H'_F - H'_N}{\tau \cdot T} = \frac{H_F + \Delta H_F - H_N - \Delta H_N}{\tau \cdot T} \rightarrow$$

$$\underline{\Delta H_N = (\tau - 1) \cdot (H_N - H_{PP})} \quad (3)$$

Man erkennt somit: Bei der indirekten Georeferenzierung im Landeskoordinatensystem von Luftbildern mit fester Labor-IOR erfahren die Projektionszentren eine Höhenversetzung ΔH_F proportional zur Flughöhe über Grund (genauer: über dem Niveau der Passpunkte), und da $H_F > H_{PP}$ und $\tau > 1$ bei der Gauß-Krüger-Abbildung, ist die bestimmte Flughöhe größer als in Wirklichkeit. Die Höhen von Neupunkten im Niveau der Bodenpasspunkte werden korrekt bestimmt. Für Neupunkte ober- oder unterhalb dieses Niveaus H_{PP} erhält man Fehler ΔH_N in den Neupunktshöhen H_N proportional zum Höhenunterschied ($H_N - H_{PP}$).

Zahlenbeispiel:

Kamerakonstante $c = 150$ mm, Bildmaßstab 1:10.000 $\rightarrow (H_F - H_{PP}) = 1.5$ km $\rightarrow \Delta H_F = 40$ cm (am Rand des Überlappungsbereichs; $L = 2.0^\circ$)

In diesem Fall und bei einer angenommenen Bildmessgenauigkeit von ± 6 μ m liegt die bestenfalls erreichbare Höhengenaugkeit bei $0.06\% \cdot (H_F - H_{PP}) = 9$ cm [6]. Für ($H_N - H_{PP}$) =

300 m ergibt sich $\Delta H_N = 8$ cm, d.h. für Neupunkte die um ± 300 m vom Niveau der (Höhen-)Passpunkte abweichen, erhält man aufgrund der Streckenverzerrung Höhenfehler ΔH_N , die im Bereich der Höhengenaugkeit liegen. Befindet man sich im Hochgebirge mit ($H_N - H_{PP}$) = 1000 m, so wächst der Höhenfehler in den Neupunkten sogar auf $\Delta H_N = 28$ cm.

Dieses hier angeschnittene Problem der indirekten Georeferenzierung im System der Landesvermessung ist in der Photogrammetrie seit sehr langer Zeit bekannt (z.B. [8]). In der Arbeit [10] wird es ausführlich behandelt. Dort wird der Fehler in den Neupunkten in Abhängigkeit der Art der Kartenabbildung (Gauß-Krüger, Lambert, Stereographische (alle drei konform); Ordinatentreue (nicht konform)), der Blockgröße, der Blocklage relativ zum Bezugsmeridian oder -punkt, der Flugrichtung, des Bildmaßstabs, der Anzahl der Lage- und Höhenpasspunkte und der Anzahl der Verknüpfungspunkte empirisch über Simulationsrechnungen ermittelt. Das erfreuliche Ergebnis dieser Untersuchungen ist, dass bei konformen Kartenabbildungen der Einfluss der Lageverzerrungen (d.h. P2 und P3) auf die Neupunkte der AT von erdkrümmungskorrigierten Bildern vernachlässigbar ist; wobei der Einfluss auf die Neupunktshöhen bei der AT mit Bündeln etwas größer ist als bei der AT mit unabhängigen Modellen. Anzumerken ist, dass in diesen Untersuchungen stets horizontales Gelände angenommen wird, somit sind Fehler in den Neupunkten aufgrund deren Höhenunterschiede zur (mittleren) Höhenpasspunktebene nicht dokumentiert.

5. Direkte Georeferenzierung in konformen Kartenabbildungen

In diesem Fall sind die Parameter der äußeren Orientierung (XOR) der Luftbilder bezogen aufs Landeskoordinatensystem, die Bildmessungen von Neupunkten und die IOR gemäß einer gültigen Laborkalibrierung gegeben. Zu bestimmen sind die Koordinaten der Neupunkte. Das Problem P1 wird durch die Erdkrümmungskorrektur behoben. Wie sieht es mit P2 und P3 aus?

In diesem Fall ist kein Element der XOR frei und somit kann sich die Flughöhe nicht an den lokalen Lagemaßstab – verursacht durch τ und „realisiert“ in den bekannten Lagekoordinaten der Projektionszentren – anpassen. In der Abbildung 3 ist dieser Sachverhalt wiedergegeben (zwei Bilder, Neupunkt N):

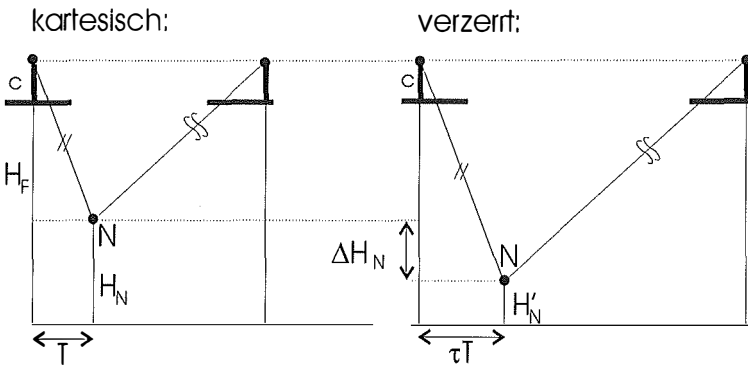


Abb. 3: Direkte Georeferenzierung

In beiden Systemen sind die Bündel der Projektionsstrahlen kongruent, da jedesmal derselbe Wert für die Kamerakonstante c verwendet wird. Somit gilt:

$$\frac{H_F - H_N}{T} = \frac{H_F - H'_N}{\tau \cdot T} = \frac{H_F - H_N - \Delta H_N}{\tau \cdot T} \rightarrow \Delta H_N = (1 - \tau) \cdot (H_F - H_N) \quad (4)$$

Man erkennt somit: Neupunkte erhalten Höhenfehler ΔH_N proportional zur Aufnahmeentfernung und da $H_F > H_N$ und $\tau > 1$ bei der Gauß-Krüger-Abbildung, liegen die Neupunkte immer zu tief.

Fortsetzung des Zahlenbeispiels:

Mit der Aufnahmeentfernung $(H_F - H_N) = 1.5 \text{ km}$ ergibt sich $\Delta H_N = 40 \text{ cm}$, was also deutlich größer ist, als die erreichbare Höhengenaugigkeit von 9 cm .

Im Gegensatz zur indirekten Georeferenzierung sind diese Höhenverfälschungen bei der direkten Georeferenzierung im Landeskoordinatensystem nicht zu vernachlässigen. Vergleicht man Formel (4) mit Formel (3) und ersetzt man H_F durch H_{PP} , so erkennt man deren Äquivalenz; d.h. die Höhenfehler der Neupunkte wachsen bei der direkten und der indirekten Georeferenzierung mit dem Unterschied zum Niveau der (Höhen-)Passpunkte. Bei der indirekten Georeferenzierung sind die Neupunkte annähernd im Niveau der (Boden-)Passpunkte, bei der direkten Georeferenzierung aber nicht, sondern um die Flughöhe tiefer.

Es stellt sich nun die Frage, wie diese Fehler beseitigt werden können. Drei Lösungsmöglichkeiten bieten sich dafür an:

- M1) Berechnung in einem Tangentialsystem
- M2) Korrektur der Höhen
- M3) Korrektur der Kamerakonstante

Methode M1 ist wohl die sauberste Variante, da hier ein kartesisches Bezugssystem verwendet wird, in dem die kartesischen Beziehungen der Photogrammetrie angewendet werden können. Unter Umständen kann es hier in größeren Gebieten zu kleineren Problemen bei der Refraktionskorrektur und bei physikalisch orientierten Beobachtungen (z.B. tachymetrische Polaraufnahmen) kommen [6], bei der im All-

gemeinen angenommen wird, dass die Lotrichtung mit der Z-Richtung des Bezugssystems übereinstimmt – was im System der Landesvermessung stimmt, jedoch nicht im Tangentialsystem. Methode M1 wird hier nicht weiter betrachtet, da die Berechnung aus dem System der Kartenabbildung herausgenommen wird, und somit nicht mehr in den Rahmen dieses Aufsatzes fällt.

Methode M2 und M3 stellen Näherungslösungen dar, um die Probleme P2 und P3 bei der Berechnung einer AT (über die Bündelblockmethode) im System der Landesvermessung zu beseitigen. Bei M2 bleibt die Kamerakonstante unverändert, jedoch werden alle in die Berechnung eingehenden Höhen um den entsprechenden Lagemaßstab korrigiert ($H_{kor} = H_{Ell} \cdot \tau$). Ist das Projektgebiet nicht zu groß, sollte es reichen, τ für die Gebietsmitte zu bestimmen ($\rightarrow \tau_{global}$) und alle Höhen mit τ_{global} zu korrigieren. In diesem Fall wird nur P2 behoben und P3 vernachlässigt. Wenn das Projektgebiet sehr groß ist und P3 nicht mehr vernachlässigt werden kann, dann ist τ für jeden Punkt separat zu bestimmen ($\rightarrow \tau_{lokal}$) und für die Höhenkorrektur zu verwenden.

Diese Methode hat allerdings den Nachteil, dass alle Ergebnishöhen um τ wieder „entkorrigiert“ werden müssen, um sie mit anderen Daten (z.B. terrestrischen Referenzmessungen) vergleichen zu können. Jedoch wäre es denkbar, dass diese Arbeit sowohl vom AT-Programm als auch von der Stereomodellauswertungs-Software im Rahmen einer erweiterten Erdkrümmungskorrektur übernommen wird. Der Programm-Benutzer sieht dann immer nur Ellipsoidhöhen, die, bevor sie in die Ausgleichung eingehen, um τ_{lokal} korrigiert werden. Die Höhen nach der Ausgleichung werden sofort wieder um die Wirkung von τ_{lokal} befreit, und in den entsprechenden Speichern

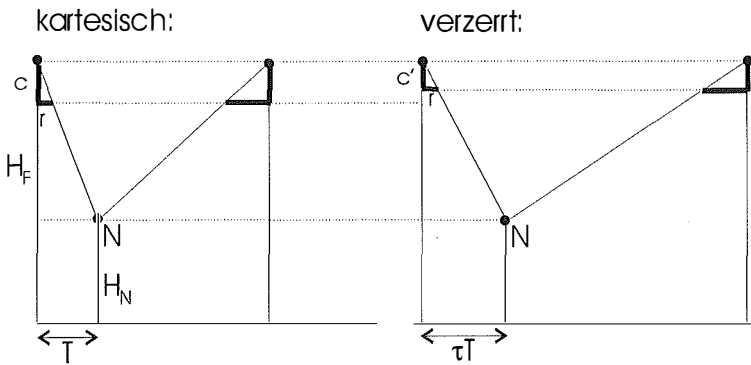


Abb. 4: Änderung der Kamerakonstante

abgelegt. Diese erweiterte Erdkrümmungskorrektur müsste dann wissen, um welche Kartenabbildung es sich handelt und wie die eingehenden Passinformationen vorweg reduziert wurden.

Bei M3 bleiben die Ellipsoidhöhen unverändert, jedoch wird die Kamerakonstante c angepasst, eigentlich verfälscht.

Aus den einfachen Beziehungen in Abbildung 4 sieht man, dass gilt:

$$\frac{H_F - H_N}{T} = \frac{c}{r} \text{ und } \frac{H_F - H_N}{\tau \cdot T} = \frac{c'}{r}, \text{ mit}$$

$$r = \text{Abstand zum Bildhauptpunkt} \rightarrow c' = \frac{1}{\tau} c \quad (5)$$

Auch hier kann man in Abhängigkeit von der Gebietsgröße für alle Bilder dieselbe veränderte Kamerakonstante c'_{global} (über τ_{global}) oder für jedes Bild einen eigenen Wert c'_{lokal} (über τ_{lokal}) verwenden. Und ebenso ist es denkbar, dass diese Arbeit im Rahmen einer erweiterten Erdkrümmungskorrektur durchgeführt wird.

Anzumerken ist, dass M2 und M3 nur Näherungslösungen sind, da die Variation von τ innerhalb des von einem Bild überdeckten Gebiets nicht berücksichtigt wird. Bei M3 ist weiters noch zu sagen, dass die Behebung von P2 über die Änderung der Kamerakonstante in aller Strenge nur für exakte Senkrechtaufnahmen gilt.

Vernachlässigt man die Bildneigungen bei der Verwendung von M3, so entstehen zusätzliche Lage- und Höhenfehler in den Neupunkten. In Tabelle 2 ist wiedergegeben, für welche Werte der Kamerakonstante c diese zusätzlichen Lage- bzw. Höhenfehler aufgrund der Bildneigungen kleiner sind als $10 \mu\text{m}$ im Bild bzw. 0.1‰ der Flughöhe über Grund, wenn M3 verwendet wird. Für die Abweichung von

der exakten Senkrechtaufnahme in Längs- bzw. Querneigung wurden die Werte 3^{gon} bzw. 5^{gon} gemäß [6] verwendet.

Anmerkung:

Dieses hier gefundene Höhenproblem bei der Verwendung von GPS/INS-Daten entsteht nur dann, wenn keine Bodenpasspunkte in die AT eingehen. In diesem Fall stellt sich das Höhenproblem unabhängig davon, ob die Neupunkte in einem Modell oder überbestimmt im ganzen Block vorwärtsgeschnitten werden. Und es ist ebenfalls unabhängig davon, ob die GPS/INS-Werte als Parameter der XOR festgehalten werden oder ob sie im Rahmen ihrer Genauigkeiten als Beobachtungen für die XOR dienen. Verwendet man aber zusätzlich noch (Höhen-)Passpunkte in der AT, so werden diese Höhenfehler (verursacht durch P2 und P3) aufgedeckt. Ist man sich der wahren Ursache für diese Fehler nicht bewusst, so würde man dann entweder eine „on-the-job“-Kalibrierung durchführen oder einen unbekanntem Verschiebungsvektor für die beobachteten Projektionszentren ansetzen. Beide Methoden würden dann P2 lösen – aber nicht P3.

6. Ein Beispiel

Die Effekte von P2 und P3 bei direkter und indirekter Georeferenzierung sollen an einem klei-

Abbildung	Gauß-Krüger-Abbildung		UTM-Abbildung		
	L = 1.5°	L = 2.0°	L = 0.0°	L = 3.0°	L = 3.5°
Lagefehler < $10 \mu\text{m} \cdot m_b$	$c < 729 \text{ mm}$	$c < 390 \text{ mm}$	$c < 273 \text{ mm}$	$c < 547 \text{ mm}$	$c < 168 \text{ mm}$
Höhenfehler < $0.1\text{‰} \cdot H_F$	$c > 21 \text{ mm}$	$c > 39 \text{ mm}$	$c > 55 \text{ mm}$	$c > 28 \text{ mm}$	$c > 90 \text{ mm}$

Tabelle 2: Werte für die Kamerakonstante c bei Verwendung von M3, so dass die zusätzlichen Lage- bzw. Höhenfehler aufgrund der Vernachlässigung der Längs- und Querneigung kleiner sind als $10 \mu\text{m}$ im Bild bzw. 0.1‰ der Flughöhe über Grund

nen Beispiel demonstriert werden. Die Berechnungen erfolgten mit dem am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien entwickelten hybriden Ausgleichungsprogramm ORIENT. Es handelt sich dabei um einen Block von Luftbildern im Maßstab 1:10.000, $c = 153.349$ mm, 85 Bilder mit ~ 25 Punkten/Bild, Befliegungsrichtung SW-NO (5 Streifen), 2 kongruente entgegengesetzte Querstreifen, Gebietsgröße $\sim 6 \times 9$ km², Höhe: 30 – 130 m, geographische Koordinaten der Gebietsmitte M: B = 59.22°, L = 10.93°, als Kartenabbildung wurde UTM/EUREF89 verwendet : in M ist die Streckenverzerrung $\tau_M = 0.999749$ und sie variiert übers Projektgebiet zwischen 0.999735 und 0.999762 – d.h. das Gebiet liegt zwischen dem Mittelmeridian und der X_{LS} -Parallelen mit $\tau = 1$. Die Genauigkeit der Bildkoordinaten beträgt ± 6 μ m, jene der GPS/INS-Beobachtungen ist ± 5 cm für die Koordinaten der Projektionszentren und $\pm 35^\circ$ für Längs- und Querneigung und $\pm 80^\circ$ für den Kurswinkel. Theoretisch sind somit Neupunkte im Rahmen einer Bündelblocktriangulation bestenfalls mit einer Genauigkeit von ± 6 cm in Lage ($10.000 \cdot 6 \mu\text{m}$) und ± 9 cm in Höhe ($0.06\% \cdot 10.000 \cdot c$) bestimmbar [6].

Das Datenmaterial dieses Blockes (Bildpunkte und GPS/INS-Beobachtungen für die äußere Orientierung) entstammen den Daten des OEEPE-Tests „Integrated Sensor Orientation“ [4], an dem das Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien teilgenommen hat. Um ausschließlich die Effekte der Kartenabbildung aufzuzeigen, wurde zunächst in einem Tangentialsystem (gelagert in M) eine Bündelblockausgleichung mit festgehaltenen GPS/INS-Werten berechnet. Die sich dabei ergebenden Bildverbesserungen wurden dann an die Bildmessungen angebracht. In dieser Weise erhält man ein widerspruchsfreies System. Die Koordinaten der Verknüpfungspunkte dieser Ausgleichung wurden daraufhin nach UTM transformiert und dienen dort als Referenzwerte. Ebenso wurden die Parameter der XOR (Koordinaten der Projektionszentren und 3 Drehwinkel) vom Tangentialsystem nach UTM transformiert.

Mit den um die Verbesserungen korrigierten Bildern wurden daraufhin in UTM verschiedene Varianten von Bündelblockausgleichungen unter dem Gesichtspunkt der direkten Georeferenzierung durchgeführt. Die Ausgangssituation dieser Bündelblöcke wurde in zweierlei Hinsicht variiert: Zum einen blieben die XOR-Werte der Luftbilder fest oder wurden frei gelassen und zusätzlich über die GPS-INS-Werte beobachtet. Zum anderen wurde die Kamerakonstante der Bilder ent-

weder vorgegeben als $c = c_{\text{Labor}} = 153.349$ mm (der Wert, der im Tangentialsystem verwendet wurde) oder sie wurde mittels Streckenverzerrung τ in c' verändert. Wobei hier noch die Möglichkeit besteht, für alle Bilder dasselbe $c' = c'_{\text{global}} = 153.388$ mm (über $\tau_M = 0.999749$) oder für jedes Bild ein eigenes $c' = c'_{\text{lokal}}$ (über das τ des entsprechenden Projektionszentrums) zu verwenden.

Die im Zuge eines UTM-Bündelblocks bestimmten Neupunkte wurden dann mit den Referenzwerten verglichen. In der Tabelle 3 ist die Statistik der Differenzwerte der Neupunkte für die einzelnen Bündelblock-Varianten wiedergegeben (Mittelwert (mittl), Standardabweichung (stabw), Maximalwert (max)).

direkte Georef.	Lage [cm]			Höhe [cm]		
	mittl	stabw	max	mittl	stabw	max
XOR-fest, c_{Labor}	0.2	0.1	0.6	38.6	1.0	40.5
c'_{global}	0.2	0.3	1.6	0.4	0.8	2.6
c'_{lokal}	0.2	0.3	1.7	0.1	0.3	1.7
XOR-frei, c_{Labor}	0.1	0.2	0.7	38.7	1.0	40.6
c'_{global}	0.2	0.3	1.2	0.4	0.6	2.0
c'_{lokal}	0.4	0.2	1.3	0.1	0.2	0.9

Tabelle 3: Statistik der Neupunktdifferenzen, direkte Georeferenzierung

Weiters wurden mit diesem Testdatensatz auch noch 3 Bündelblockvarianten mit 4 vorgegebenen Vollpasspunkten ($\sigma_{XYZ} = \pm 1.5$ cm) am Blockrand durchgeführt. Die GPS/INS-Werte für die XOR der Bilder wurden dabei nicht verwendet (\rightarrow indirekte Georeferenzierung). Die 3 Varianten unterscheiden sich in der Vorgabe der Kamerakonstante (c_{Labor} , c'_{global} oder c'_{lokal}). In der Tabelle 4 ist die Statistik der Neupunktdifferenzen wiedergegeben.

indirekte Georef.	Lage [cm]			Höhe [cm]		
	mittl	stabw	max	mittl	stabw	max
XOR-frei, c_{Labor}	0.3	0.4	2.1	0.1	0.7	1.7
c'_{global}	0.3	0.4	2.1	0.1	0.3	1.1
c'_{lokal}	0.3	0.5	2.2	0.1	0.3	1.1

Tabelle 4: Statistik der Neupunktdifferenzen, indirekte Georeferenzierung

In den Werten dieser beiden Tabellen spiegeln sich schön die Erkenntnisse der theoretischen Überlegungen der vorangegangenen Kapitel wider. Bei der indirekten Georeferenzierung (Tabelle 4) treten praktisch keine bzw. nur geringe Differenzen auf (in Relation zur theoretisch erreichbaren Punktgenauigkeit von ± 6 cm in Lage und ± 9 cm in Höhe), wenn für die Kamerakonstante der Laborwert c_{Labor} verwendet wird.

Die Höhen-Differenzen verbessern sich etwas (die Standardabweichung deutlicher als der Maximalwert), wenn c_{Labor} durch c'_{global} ersetzt wird. Der Grund dafür ist, dass die Neupunkte bei c_{Labor} einen Höhenfehler proportional zu ihrem Höhenunterschied gegenüber dem (mittleren) Passpunktniveau erfahren (Formel (3)). Das mittlere Passpunktniveau liegt hier in ~ 70 m Höhe, somit ergeben sich Höhenunterschiede von -40 m bis $+60$ m. Bei τ_{global} ist dann $\Delta H_N \sim +1.0$ bis -1.5 cm. Diese maximalen Höhenfehler findet man bei der Variante mit $c = c_{\text{Labor}}$ und sie vergrößern dort die Standardabweichung. Bei $c = c'_{\text{global}}$ ist die Standardabweichung halbiert und der Maximalwert zumindest verkleinert. Die Wahl von c hat auf die Lagefehler praktisch keinen Einfluss.

Bei der direkten Georeferenzierung (d.h. bei den Bündelblöcken mit GPS/INS-Beobachtungen für die XOR und ohne Bodenpasspunkte) (Tabelle 3) erkennt man schön, wie durch die Wahl von $c = c_{\text{Labor}}$ ein konstanter Höhenfehler von ~ 40 cm entsteht (Formel (4)). Dieser konstante Höhenfehler verschwindet, wenn man $c = c'_{\text{global}}$ bzw. $c = c'_{\text{lokal}}$ setzt. Interessant dabei ist, dass die Differenzen durch die Freiheit der XOR noch einmal verkleinert werden und das, obwohl die GPS/INS-Beobachtungen ja die nach UTM transformierten fehlerfreien XOR des Tangentialsystems darstellen. Die Konsequenz daraus ist, dass für höchste Genauigkeitsansprüche die GPS/INS-Beobachtungen der direkten Georeferenzierung nie als feste Werte für eine Bildauswertung im Landeskoordinatensystem verwendet werden sollten. Es sind die Verbesserungen der Positions- und Rotationsbeobachtungen zwar sehr klein (Position: < 5 mm, Rotation: $< 10^\circ$), jedoch ist die Verbesserung in den Neupunkten sichtbar.

Auffällig ist bei der direkten Georeferenzierung noch, dass beim Übergang von c_{Labor} über c'_{global} zu c'_{lokal} die Statistik in der Höhe besser, jene in der Lage aber geringfügig schlechter wird. Praktisch sind diese Verschlechterungen bedeutungslos, wenn man sie mit den theoretisch erreichbaren Lage-Genauigkeiten von ± 6 cm vergleicht.

Die Ursache, warum die maximalen Lage-Fehler der direkten Varianten (Tabelle 3) kleiner sind als jene der indirekten Varianten (Tabelle 4), liegt

gewiss im unterschiedlichen Verhältnis zwischen der Anzahl der Passinformation und der Anzahl der Bildbeobachtungen begründet. Die Passinformationen geben die Verzerrungen der UTM-Abbildung wieder. Die Bildbeobachtungen gehorchen aber den kartesischen Beziehungen der Photogrammetrie. Bei der direkten Variante steht nun wesentlich mehr Passinformation in Form der GPS/INS-Beobachtungen zur Verfügung. Somit ist dort der Zwang für die Bündel sich an die Verzerrungen der UTM-Abbildung anzupassen größer und die Differenzen zu den Referenzwerten der Neupunkte werden kleiner sein. Bei der indirekten Methode mit nur 4 Vollpasspunkten ist dieser Zwang geringer und die Bündel werden somit weniger verzerrt.

7. Zusammenfassung

In diesem Aufsatz wurde eine alte Problemstellung wieder ins Bewusstsein gerufen: Die Berechnung einer Aerotriangulation (AT) nach der Bündelmethode im System der Landesvermessung. Die Lagekoordinaten im Landeskoordinatensystem resultieren praktisch immer aus einer konformen Abbildungen des Ellipsoids und als Höhenkoordinaten fungieren die unverändert übernommenen Ellipsoidhöhen. Bei der Durchführung der AT (eigentlich bei jeder Auswertung von geodätischen Beobachtungen) im Landeskoordinatensystem hat man drei wesentliche Einflüsse zu berücksichtigen²:

- Erdkrümmung
- Streckenverzerrung τ
- Variation von τ über größeren Projektgebieten

Aufgrund dieser 3 Tatsachen stellt das Landeskoordinatensystem kein kartesisches Bezugssystem dar und es ergeben sich somit prinzipiell Probleme, wenn in ihm Photogrammetrie betrieben wird, die sich ja auf kartesische Beziehungen stützt.³

Das Problem des Einflusses der Erdkrümmung kann sehr gut durch die sogenannte Erdkrümmungskorrektur behoben werden [10], [7]. Die Problematik der Streckenverzerrung τ und ihrer Änderung im Projektgebiet wurde in diesem Aufsatz näher untersucht. *Eine Konsequenz, die aus der Streckenverzerrung τ und der unveränderten Übernahme der Ellipsoidhöhen entsteht, ist, dass eine im Zuge einer Laborkalibrierung (d.h.*

² Die in der terrestrischen Vermessung u.U. notwendige Richtungsreduktion spielt in der Photogrammetrie keine Rolle.

³ Allerdings ist es auch möglich, die kartesischen Beziehungen der Photogrammetrie so abzuändern, dass sie im verzerrten Landeskoordinatensystem gelten – indem implizit die Berechnung über ein Tangentialsystem geleitet wird [10].

in einem kartesischen System) bestimmte Kamerakonstante c_{Labor} im Allgemeinen nicht für eine AT (nach der Bündelmethode) im Landeskoordinatensystem verwendet werden kann.

Allerdings stellte bisher die Verwendung einer Laborkalibrierung für eine AT im Landeskoordinatensystem kein echtes Hindernis dar, da im Zuge der indirekten Georeferenzierung (bei der die äußere Orientierung (XOR) der Luftbilder über Bodenpasspunkte abgeleitet wird) der Einfluss der Streckenverzerrung τ durch die freien Projektionszentren größtenteils beseitigt wird. Die Korrektur durch die freie Flughöhe ist um so wirksamer, je flacher das beflogene Gelände ist. Für Neupunkte, die außerhalb des Höhenniveaus der Passpunkte liegen, ergeben sich dennoch Höhenfehler – besonders im Hochgebirge.

Bei der Methode der direkten Georeferenzierung im Landeskoordinatensystem (bei der die Elemente der XOR direkt über eine GPS-Antenne und einen INS-Sensor bestimmt werden und die deshalb in letzter Konsequenz ohne Bodenpasspunkte auskommen kann), ist der Effekt der Streckenverzerrung τ auf die Höhen aller Neupunkte wesentlich größer und im Allgemeinen nicht vernachlässigbar.

Diese Höhenfehler ergeben sich unabhängig davon, ob die GPS/INS-Werte als feste Werte für die XOR der Luftbilder vorgegeben werden und nur mehr die Neupunkte im Modell bzw. überbestimmt im Block vorwärts-geschritten werden; oder ob sie im Rahmen einer Bündelblockausgleichung (OHNE Bodenpasspunkte) als Beobachtungen mit entsprechenden Genauigkeiten (Position: $\sim 5 - 10$ cm, Stellung: $\geq 50^\circ$) für freie XOR eingeführt werden. Nur dann, wenn bei der letzten Variante auch Bodenpasspunkte beteiligt sind, wird man anhand großer Z-Verbesserungen merken, dass etwas im Block nicht stimmt (und dann – wenn man sich der wahren Ursache nicht bewusst ist – eine „on-the-job“-Kalibrierung durchführen oder bei den Projektionszentren eine Z-Verschiebung ansetzen).

Die Lösung des Höhenproblems bei der direkten Georeferenzierung im Landeskoordinatensystem kann man sich auf 3 Arten vorstellen:

- Übergang zur Berechnung in einem Tangentialsystem
- Korrektur der Ellipsoidhöhen
- Korrektur der laborkalibrierten Kamerakonstanten

Die erste Methode stellt sicher die sauberste Lösung dar, da hier ein kartesisches Bezugssystem verwendet wird, allerdings fallen hier die Ergebnisse nicht sofort im System der Landesvermessung an und müssten somit erst in dieses transformiert werden. Jedoch sollte das bei der heutzutage verfügbaren Computerunterstützung kein echtes Problem darstellen. Verbleibt die Berechnung im Landeskoordinatensystem, so stellen die letzten beiden Methoden Näherungslösungen dar und könnten im Rahmen einer erweiterten Erdkrümmungskorrektur während der AT und der anschließenden Stereoauswertung durchgeführt werden.

Danksagung

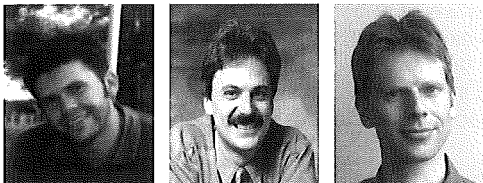
Einen besonderen Dank möchte ich Herrn Dr. Helmut Kager für seine konstruktiven Hinweise im Rahmen der Arbeiten zu diesem Aufsatz aussprechen.

Literatur:

- [1] *Bretterbauer, K.*, (1991) Skriptum zur Vorlesung Mathematische Lehre vom Kartenentwurf, Institut für Höhere Geodäsie, TU Wien
- [2] *Colomina, I.* (1999) GPS, INS and Aerial Triangulation: What is the best way for the operational Determination of Photogrammetric Image Orientation?, IAPRS, Vol. 32, Part 3-2W5, „Automatic Extraction of GIS Objects from Digital Imagery“, München, September 8 – 10
- [3] *Cramer, M.* (2000) Genauigkeitsuntersuchungen zur GPS/INS-Integration in der Aerophotogrammetrie, Dissertation, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Universität Stuttgart
- [4] *Heipke, C., Jacobsen, K., Wegmann, H., Andersen, Ø., Nilsson, B.* (2000) Integrated Sensor Orientation – An OEEPE Test, IAPRS, Vol. XXXIII, WG III/1, Amsterdam
- [5] *Jacobsen, K.* (2000) Potential and Limitation of Direct Sensor Orientation, IAPRS, Vol. XXXIII, Part B3, Amsterdam
- [6] *Kraus, K.* mit Beiträgen von P. Waldhäusl (1994) Photogrammetrie Band I – Grundlagen und Standardverfahren, Dümmler Verlag, Bonn
- [7] *Kraus, K.* mit Beiträgen von J. Jansa und H. Kager. (1996) Photogrammetrie Band II – Verfeinerte Methoden und Anwendungen, Dümmler Verlag, Bonn
- [8] *Rinner, K.* (1959) Einfluß der Definition der Landeskoordinaten auf die Photogrammetrische Triangulation, DGK Reihe A Nr. 34 / Teil II, München
- [9] *Skaloud, J.* (1999) Problems in Direct-Georeferencing by INS/DGPS in the Airborne Environment, Invited Paper for ISPRS Workshop on „Direct versus indirect methods of sensor orientation“, Commission III, WG III/1, Barcelona, Spain, November 25 – 26
- [10] *Wang, S.* (1980) Einfluß der geodätischen Abbildungsverzerrungen auf die photogrammetrische Punktbestimmung, Dissertation, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 263

Anschrift des Autors:

Dipl.-Ing. Camillo Ressel, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, Gusshausstrasse 27–29, 1040 Wien, car@ipf.tuwien.ac.at



Digitale Geländemodelle im Stadtgebiet aus Laser-Scanner-Daten

Christian Briese, Peter Belada und Norbert Pfeifer,
Wien

Kurzfassung

Laser-Scanning ist eine Aufnahmetechnik zur Erfassung topographischer Daten und ist für viele Anwendungsbereiche interessant. In diesem Artikel wird neben einer kurzen Beschreibung der Aufnahmetechnik (mit dem Schwerpunkt Distanzmessung) auf die Filterung und Klassifizierung von Laser-Scanner-Daten zur Erstellung eines digitalen Geländemodells (DGMs) im Stadtgebiet eingegangen. Die hierfür entwickelte Methode – die hierarchische iterative robuste lineare Prädiktion – wird vorgestellt. Dieser vom Groben ins Feine arbeitende Algorithmus bewirkt neben einer Verringerung der Rechenzeit eine Stärkung in der Robustheit der Auswertung. Anhand eines Projekts im Stadtgebiet von Wien (3. Bezirk) wird auf die Genauigkeit des mit dieser Methode berechneten DGMs eingegangen. Den Abschluss bildet ein kurzer Ausblick auf zukünftige Anwendungsmöglichkeiten von Laser-Scanner-Daten.

Abstract

Laser scanning is a widely used technique for obtaining topographic information for a lot of interesting applications ([5], [8], [17]). Following the introduction, we will describe in this article the measurement system in section 2. The emphasis is laid on the distance measurement of this data acquisition method. Next, the data of a small laser scanning project in the 3rd district of Vienna are presented. Using the data of this project, the filtering and classification of laser scanner data for the determination of a digital terrain model (DTM) with iterative robust linear prediction [7] in a hierarchical fashion [12] are explained (section 4). This coarse-to-fine approach makes the method more robust and decreases computation time. The final DTM describes the ground, trees, cars, houses and other urban objects are eliminated. The results for the test data set are shown, an accuracy analysis is included. Finally, a short outlook treats future applications of laser scanning.

1. Einleitung

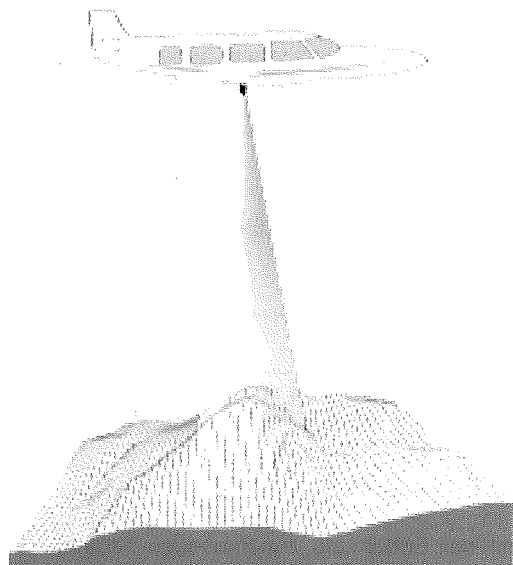


Abb. 1: Prinzip des Laser-Scanning

Laser-Scanning (Abb. 1) ist eine Messmethode zur Bestimmung von dreidimensionalen Punkten auf einer Oberfläche. Die Definition der Punkte

erfolgt über eine getaktete Verspeicherung der Messwerte eines aktiven Multisensorsystems. Die flächenmäßige Erfassung wird durch die Bewegung der Sensorplattform entlang eines Flugweges erreicht.

Diese Aufnahmemethode zur Erfassung topographischer Daten hat sich zur Berechnung hochgenauer digitaler Geländemodelle (DGM) vor allem in bewaldeten Gebieten in der Praxis etabliert [6], [11]. In jüngster Zeit erweiterte sich das Anwendungsspektrum des Einsatzes von Laserscannern erheblich (z.B. Vegetationshöhenbestimmung [8], Hochwasserschutz [3] und Vermessung von Hochspannungsleitungen [1], [9]).

Das Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien (I.P.F.) hat sich bereits in den letzten Jahren intensiv mit der Aufnahmemethode und der Auswertung von Laser-Scanner-Daten vor allem in bewaldeten Gebieten befasst.

Anhand einer von der Wiener Magistratsabteilung 41 (MA 41, Stadtvermessung) in Auftrag gegebenen Testbefliegung im Stadtgebiet von Wien (3. Bezirk) wurden im Rahmen einer am I.P.F. durchgeführten Diplomarbeit [4] die Einsatzmöglichkeiten von Laser-Scannern im dicht

verbauten Gebiet untersucht. Im Folgenden werden einige Ergebnisse dieser Arbeit vorgestellt, wobei der Schwerpunkt neben einer genaueren Betrachtung der Distanzmesseinrichtung auf eine hierarchisch arbeitende Methode zur Erstellung eines DGMs im Stadtgebiet gelegt wird.

2. Prinzip des Laser-Scannings

Die mehr oder weniger zufällig angeordneten Punkte auf der sequentiell vom Laser beleuchteten Oberfläche werden durch die synchronisierten Beobachtungen eines Multisensorsystems bestimmt.

Aufgrund der Beobachtungen kann Laser-Scanning als Polarmethode angesehen werden. Allerdings verändert sich der Standpunkt und die Orientierung des Sensorkoordinatensystems entlang eines Flugpfades kontinuierlich in Bezug auf ein erdfestes Koordinatensystem. Zur Punktbestimmung ist daher einerseits die Bestimmung der Messgrößen im Sensorkoordinatensystem (Distanz und Richtung) nötig, andererseits muss ein synchronisiertes Beobachten der Parameter (Standpunkt und Orientierung des Sensorkoordinatensystems) für die zeitlich veränderliche räumliche 7-Parameter-Ähnlichkeitstransformation erfolgen um die Verknüpfung mit einem erdfesten Koordinatensystem zu ermöglichen.

Die sich mit der Zeit ändernde Position und Orientierung des Sensorkoordinatensystems wird mittels eines „Position-and-Orientation-Systems“ (POS) erfasst [17]. Das POS besteht in der Regel aus einem „Global Positioning System“ (GPS) und einer „Inertial Measurement Unit“ (IMU). Mit einem Laserstrahl wird die Di-

zellenweise abgetastet. Es gibt aber auch andere Ablenkungseinrichtungen, die andere Abtastmuster hervorrufen. Der jeweiligen Entfernung wird die Orientierung des Laserstrahles in Bezug zum Sensorkoordinatensystem zugeordnet.

Distanzmessung

Die Distanzmessung wird von einem aktiven Lasersensorsystem durchgeführt. Dieses System sendet einen Laserstrahl aus und beleuchtet somit die Oberfläche. Dort wird der Laserstrahl in der Folge je nach Oberflächenbeschaffenheit teilweise reflektiert und teilweise absorbiert, und der Receiver empfängt letztendlich ein zeitversetztes Echo (rückgestrahlter Teil des ausgesendeten Laserstrahles).

Für die Distanzmessung wird vorwiegend die Laserimpulsmessung eingesetzt. Die Methode der Phasendifferenzmessung spielt im Moment eine untergeordnetere Rolle. Daher wird in den folgenden Absätzen vor allem auf die Methode der Laserimpulsmessung eingegangen. Als tatsächliche Messwerte fallen zunächst bei beiden Methoden Zeitdifferenzen an, die mit der Lichtgeschwindigkeit c in Entfernungen umgerechnet werden können.

Distanzmessung mittels eines Laserimpulses und seines Echos

In der Praxis treten keine „idealen“ Rechtecks-Laserimpulse und Echos auf (Abb. 2). Ein Laserimpuls muss als Lichtpaket angesehen werden, das durch Divergenz, Pulslänge bzw. Pulsdauer und Intensität (=Amplitude) gekennzeichnet ist. Die Divergenz (~ 0.3 bis 2mrad [17]) bedingt einen

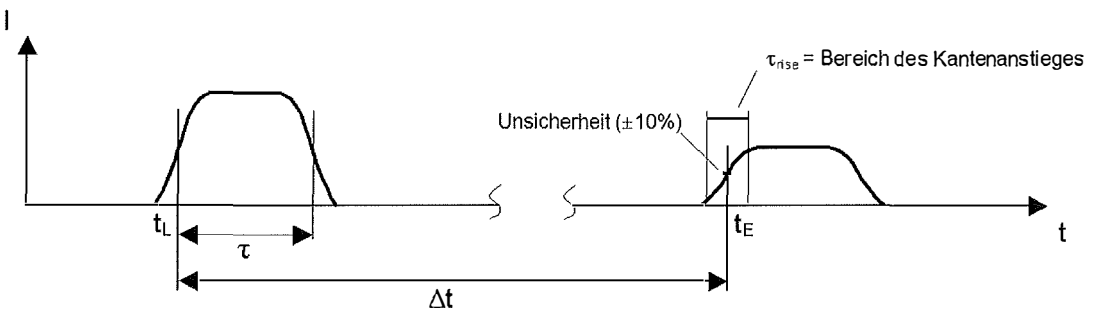


Abb. 2: Laserimpulse

stanz zwischen dem Lasersensor und den beleuchteten, reflektorlosen Punkten auf der Erdoberfläche ermittelt. Der Laserstrahl wird durch eine Ablenkungseinrichtung (z.B. ein schwingender oder rotierender Spiegel) quer zur Flugrichtung ausgelenkt. Dadurch wird die Oberfläche

mit der Entfernung zunehmenden Strahldurchmesser, während die Dauer des Impulses τ (ein typischer Wert für die Pulsdauer ist z.B. $\tau = 5\text{ns}$, was einer Pulslänge von 1.5m entspricht) Referenzzeitpunkte t_L bzw. t_E (aufsteigende Intensitätsflanken) für die Laufzeitmessung (Δt) bedingt.

Das im Lasersensor empfangene Echo ist wegen atmosphärischer Einflüsse und der Reflexionseigenschaft der Oberfläche im Vergleich zum Ausgangssignal verändert. Aufgrund dieser Einflüsse muss das im Lasersensor empfangene Signal verstärkt werden.

Ein Laserimpuls – mehrfache Echos

Ein einziger vom Lasersensor ausgesandter Laserimpuls kann mehrere Echos hervorrufen. Diese Mehrfachreflexion kann auftreten, wenn reflektierende Objekte in unterschiedlichen Distanzen d_{O1} (entlang des Laserstrahl) vorhanden sind und die Divergenz des Laserstrahles ausreichend diese Objekte teilweise zu beleuchten. Im Receiver treten dann mehrere, zeitlich kurz versetzte Echos auf (Abb. 3, links) oder es überlagern sich mehrere Echos zu einem detektierten Echo (Abb. 3, rechts).

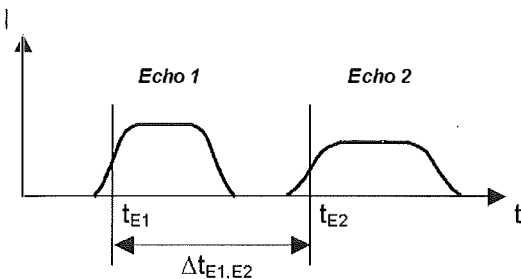


Abb. 3: Mehrfachreflexionen

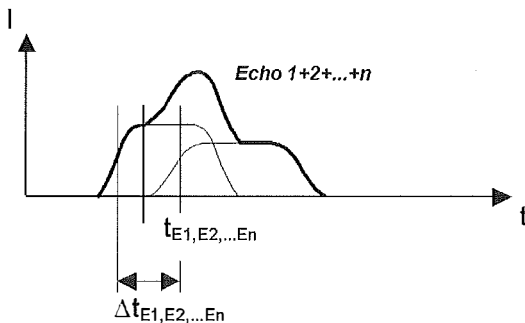
Eine Trennung zweier Echos ist nur dann möglich, wenn ihr zeitlicher Abstand $\Delta t_{E1,E2}$ größer als die Pulslänge τ_{E1} ist. Die Distanz $\Delta d_{O1,O2}$ zwischen den beleuchteten Oberflächen $O1$ und $O2$, die vom Laserstrahl zweimal zurückgelegt werden muss, darf demnach nicht geringer sein als die halbe Pulslänge τ_{E1} . Außerdem benötigt die Elektronik bis zur Detektierung des nächsten Echos eine bestimmte Zeit (recovery time). Für eine realistische Pulsdauer von 5ns liegt somit die minimale Distanz, die zwischen zwei Objekten liegen muss um die Echos getrennt detektieren zu können, im Bereich von über 1.5m. Im Fall der Überlagerung der Einzel-Echos ist die gemessene Strecke keinem konkreten Teil-Echo bestimmter Reflexionsflächen zuordenbar, da es aus der Sichtweise des Detektors nur ein zu detektierendes Echo gibt.

Beleuchtung natürlicher Oberflächen

Die Problematik der Mehrfachreflexionen soll nun anhand der Beleuchtung einer Horizontal-

ebene mit Bewuchs unterschiedlicher Vegetationsarten und -höhen (Abb. 4) demonstriert werden. Im ersten Fall wird die Horizontalebene senkrecht beleuchtet. Die ansteigende Flanke τ_{rise} des reflektierten Echos bleibt unbeeinflusst. Mit der gemessenen Laufzeit Δt kann die Entfernung zwischen Lasersensor und der Horizontalebene bestimmt werden.

Das zweite Lichtpaket beleuchtet zunächst die niedrige Vegetation V1 und trifft erst dann, falls es die Vegetationsdichte zulässt, auf den Boden. Es entstehen zeitlich versetzte Mehrfachreflexionen (multiple Echos). Da die Differenz zwischen Vegetationsecho und Bodenecho kleiner als die Pulslänge ist, detektiert der Lasersensor ein Echo, das sich durch Überlagerung mehrerer Teilechos im Detektor zusammensetzt (rechter Teil der Abb. 3). Die Position der aufsteigenden Kante ist keinem konkreten Teilecho zuzuordnen und bezieht sich auf eine fiktive Reflektoroberfläche.



Beim dritten Laserstrahl erfolgt die erste Reflexion in der Baumkrone. Es entstehen aufgrund der späteren Bodenreflexion ebenfalls mehrfache Echos. Im Gegensatz zum vorherigen Beispiel ist der Abstand der beiden Reflexionsflächen deutlich größer und es kommt somit zu keiner Überlagerung der Teil-Echos im Detektor (Abb. 3, links). Je nach Interessenslage kann das erste und/oder letzte Echo zur Punktbestimmung herangezogen werden. Man spricht dabei von „first pulse“ und „last pulse“ Messungen.

Das vierte Beispiel stellt eine Kombination des zweiten und dritten Falles dar und soll zeigen, wie vielschichtig der vom Lichtpaket zurückgelegte Weg sein kann.

Genauigkeit des Gesamtsystems

Die Genauigkeit des Gesamtsystems setzt sich aus der Genauigkeit der Positionsbestimmung mit GPS, der Orientierung mit Hilfe der IMU, der Distanzmessung, der Richtungs-

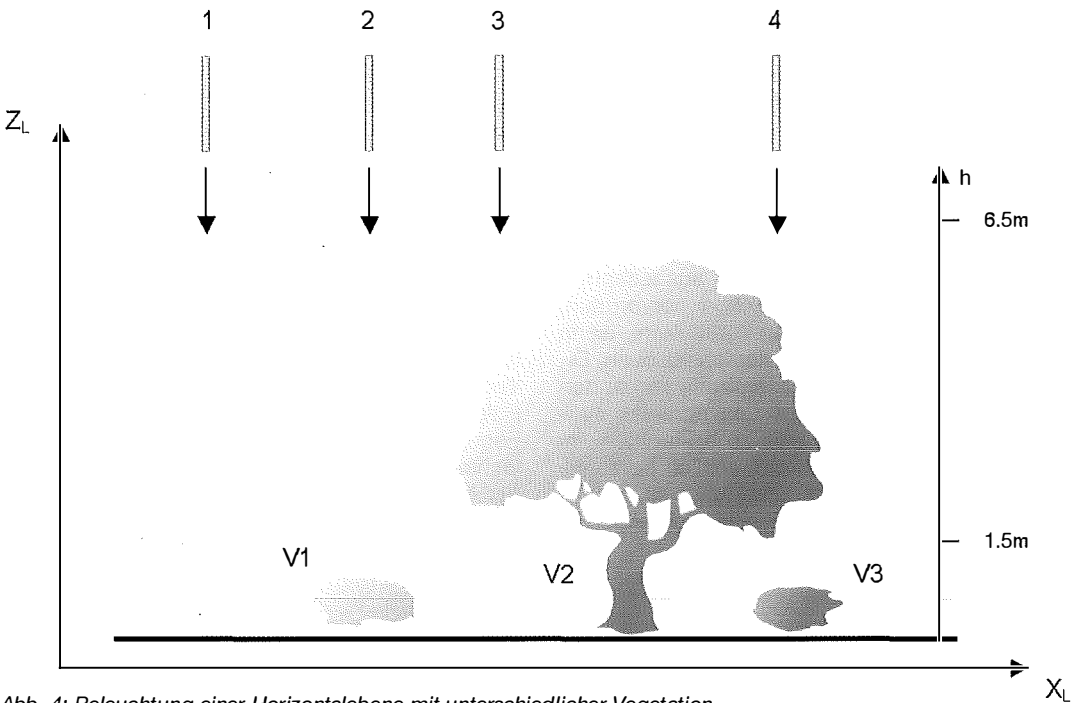


Abb. 4: Beleuchtung einer Horizontalebene mit unterschiedlicher Vegetation

sung, der Synchronisation der Messwerte und der Kalibrierung zusammen. Empirische Genauigkeitsuntersuchungen haben in bewaldeten Gebieten einen mittleren Fehler (root mean square error, RMS) von $\sim(0.2\text{m}$ als Genauigkeitsmaß für ein DGM aus Laser-Scanner-Daten ergeben [8]. Mit zunehmender Geländeneigung verschlechtert sich die Genauigkeit.

3. Daten- und Projektbeschreibung

Als Testgebiet wurde in Wien ein $2.5 \times 1.0 \text{ km}^2$ großes Gebiet im 3. Bezirk von Wien gewählt.

Der bei dieser Befliegung eingesetzte Laser-Scanner TopoSys I [15] arbeitet nach dem Prinzip der Laserimpulsmessung und führt pro Sekunde 83000 Distanzmessungen durch. Die Scanfrequenz (Anzahl der gemessenen Laserzeilen pro Sekunde) beträgt bei diesem System mit einem Scanwinkel von $\pm 7^\circ$ 630Hz. Als Genauigkeit für die Distanzmessung wird seitens der Fa. TopoSys ein Wert $< 0.2\text{m}$ angegeben. Die Auflösung der Distanzmessung beträgt 0.06m.

Die mittlere geplante Flughöhe betrug 500m, wodurch 19 Flugstreifen benötigt wurden um das Gebiet zu erfassen. Aufgrund der Flug- und Systemparameter ergeben sich folgende charakteristische Werte für das Projekt im Stadtgebiet:

Streifenbreite:	123m
Anzahl der Punkte pro Scan:	127
Punktabstand in Flugrichtung:	0.10m
Punktabstand quer zur Flugrichtung:	0.97m
Ø Beleuchtete Fläche (Laser Footprint):	0.25m

Für die Transformation ins Landeskoordinatensystem verwendete die Fa. TopoSys Standardparameter und eine GPS-Referenzstation auf der Gloriette (Schloß Schönbrunn, Wien). Mit Hilfe von der Stadt Wien bereitgestellter Referenzdaten (z.B. Gebäudeumrissen) wurde die Transformation der Laser-Scanner-Daten überprüft [14].

Zur Auswertung der Laser-Scanner-Messungen standen einerseits die „Rohdaten“, d.h. die gemessene Punktwolke im Landeskoordinatensystem und andererseits ein aus den Rohdaten abgeleitetes Oberflächenmodell, das durch ein quadratisches 0.5m-Raster (sehr geringer Speicherbedarf im Vergleich zu den Rohdaten) repräsentiert wird, zur Verfügung (Abb. 5). Die Löcher im Datensatz ergaben sich durch Signalstörungen der DGPS gestützten Navigation [14].

Die Verfahren zur Rasterung der Originaldaten laufen anwendungsorientiert ab. Je nach Anwendung wird entweder versucht den Einfluss der Nicht-Bodenpunkte durch Höhergewichtung der niedrigeren Punkte zu reduzieren, oder aber es werden die Nicht-Bodenpunkte (Gebäuden, Dämme, etc.) hervorgehoben.

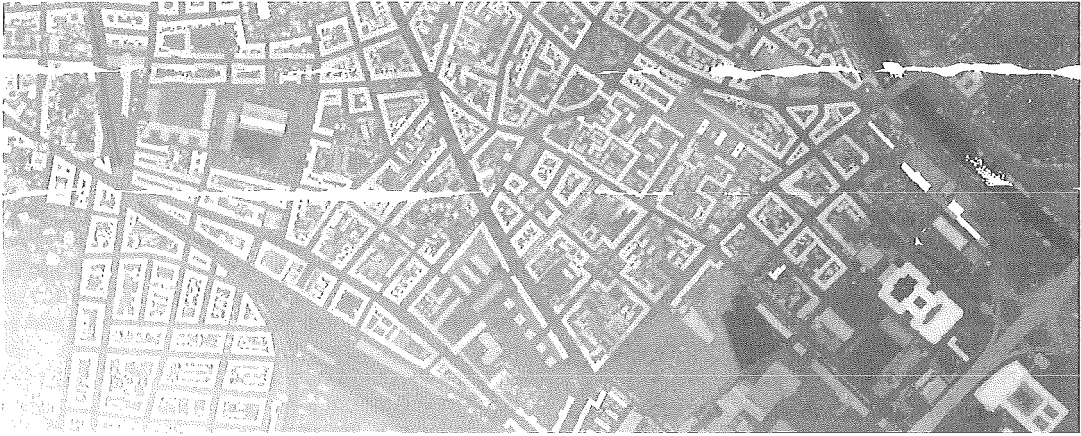


Abb. 5: Laser-Scanner-Messungen – Rohdaten

Für das Projektgebiet in der Stadt Wien wurden seitens der Fa. TopoSys vor allem tief liegende Punkte hoch gewichtet, was einerseits eine Reduzierung der Vegetation bedingt, aber andererseits ein Verkleinern der Dimension anderer Objekte (Häuser, . . .) hervorruft.

4. Erstellung eines DGMs aus Laser-Scanner-Daten in bebauten Gebieten

Das Echo eines Laserstrahls, das im Detektor empfangen wird, stammt von den unterschiedlichsten reflektierenden Oberflächen. Für die Er-

stellung eines DGMs ist es daher notwendig die Nicht-Bodenpunkte zu eliminieren oder ihren Einfluss auf die Modellbildung möglichst zu reduzieren. Die großen Datenmengen machen eine mehr oder weniger automatisch arbeitende Auswertung notwendig.

Den Ausgangspunkt zur Erstellung des DGMs im Stadtgebiet bilden die 0.5m-Rasterdaten der Fa. TopoSys, die in der Abb. 6 perspektivisch dargestellt sind. Im rechten Teil der Abbildung ist dichte Vegetation im Botanischen Garten der Universität Wien sichtbar. Im linken Teil des Bildes ist die Oberfläche einer Straße (Jacquin-



Abb. 6: perspektive Darstellung der reflektierenden Oberflächen

gasse, inklusive parkender Autos) und eines Häuserblockes dargestellt.

Im Rahmen der ersten Projekte wurde am I.P.F. ein Algorithmus zur Berechnung eines DGMs aus Laser-Scanner-Daten entwickelt [7], [10]. Dieser im Programmpaket SCOP [13] implementierte Algorithmus und die für die Erstellung eines DGMs im Stadtgebiet notwendigen Erweiterungen (hierarchischer Ansatz) sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Algorithmus zur Filterung und Klassifizierung von Laser-Scanner-Daten

Der Algorithmus – die *iterative robuste Interpolation mit schiefer Fehlverteilung* – beruht auf einer statistischen Analyse der Verbesserungen der gemessenen Laserpunkte in Bezug auf eine Fläche, die alle Punkte approximiert. Je nach Größe und Vorzeichen der Verbesserung bekommt der Punkt für die nächste Interpolation ein neues Gewicht. Durch eine geeignete Wahl der Gewichtsfunktion (stochastisches Modell), die einerseits Bodenpunkten, also Punkten, die in Bezug zur Referenzfläche tief liegen, ein hohes Gewicht (nahe bei 1) und Nicht-Bodenpunkten, das sind jene Punkte, die über der Referenzoberfläche liegen, ein geringes Gewicht (nahe bei 0) zuordnet, gelingt es schrittweise ein DGM aus Laser-Scanner-Daten abzuleiten. Das funktionale Modell (in diesem Fall die lineare Prädiktion) ist „nur“ für die Art und Weise der Oberflächeninterpolation verantwortlich.

Die Steuerung der Gewichtsfunktion erfolgt mit wenigen Parametern. Da die Berechnung innerhalb von SCOP patch-weise erfolgt (SCOP-Recheneinheiten), passt sich diese Vorgangsweise adaptiv dem Gelände an. Toleranzwerte werden zur Klassifizierung der Daten (in Boden- und Nicht-Bodenpunkte) genutzt. Diese Methode hat sich bereits in einer Vielzahl von Projekten in bebauten Gebieten bewährt.

Hierarchischer Ansatz

Um ein DGM im Stadtgebiet aus Laser-Scanner-Daten möglichst automatisch und ohne zusätzliche Datenquellen ableiten zu können, war eine Erweiterung der Auswertemethode notwendig. Unter einem Gebäude ist das Gelände eine fiktive Fläche, die auf Basis der benachbarten Bodenpunkte berechnet wird.

Im Stadtgebiet, wie auch in Gebieten mit einer geschlossenen Vegetationsdecke, ist die „Sicht“ zum Boden nicht gegeben, wodurch eine Vielzahl von Nicht-Bodenpunkten in räumlich relativ

groß ausgedehnten Gebieten gemessen wird. Die iterative Annäherung an die Geländeoberfläche schlägt in diesen Gebieten mit dem bereits vorgestellten Algorithmus fehl.

Der hierarchische Ansatz arbeitet mit Datenpyramiden, wie sie aus der digitalen Bildverarbeitung bekannt sind. Die verschiedenen Niveaus der Pyramide stellen die Daten in verschiedenen Auflösungsstufen (Generalisierungs-Stufen) dar. Diese höheren Niveaus können mit verschiedenen Methoden aus den niedrigeren gebildet werden. Beispielsweise kann innerhalb eines kleinen, quadratischen Gebiets (Rasterzelle) immer der Schwerpunkt oder der tiefste Punkt selektiert werden. Dadurch wird eine Modellbildung vom Groben ins Feine ermöglicht. Der Ablauf dieser Methode ist durch folgende Schritte gegeben:

1. Berechnung der Datenpyramiden
2. Filterung, Klassifizierung und DGM-Berechnung
3. Vergleich des DGMs mit den Daten der nächsthöheren Auflösung und Auswahl der Punkte innerhalb eines Toleranzbandes

Die Schritte 2 und 3 werden so lange wiederholt, bis nach dem 2. Schritt das DGM mit der endgültigen Auflösung vorliegt.

Dieser hierarchische Ansatz ermöglicht neben einer Reduktion der Rechenzeit eine stärkere Robustheit der Methode und ein Überbrücken von Bereichen ohne Bodeninformation. Mit Hilfe dieser Methode, die mittlerweile in einigen weiteren Projekten zum Einsatz gekommen ist (vom Ingenieurbüro Peter Schmid, Wien und für die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in Koblenz [5]) konnte für das gesamte Projektgebiet ein DGM mit geringen manuellen Aufwand berechnet werden. Abb. 7 zeigt das endgültige DGM (Bodenmodell) in einer Schummerung für das ganze Projektgebiet.

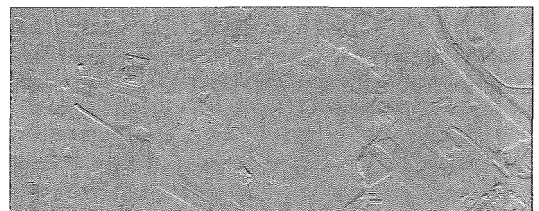


Abb. 7: endgültiges DGM (Bodenmodell) in einer Schummerung

5. Kontrolle des DGMs

Die Kontrolle des DGMs erfolgte durch 816 terrestrisch bestimmten Punkte, die in unterschiedlichen Bereichen im südwestlichen Teil

des Projektgebietes liegen. Diese Punkte wurden von der MA 41 bestimmt. Die Ergebnisse dieser Genauigkeitsuntersuchung sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst, wobei die Abweichungen vom DGM zum terrestrischen Kontrollpunkt (Höhendifferenz) untersucht worden sind. In der zweiten Spalte ist der RMS angegeben, also die Abweichungen quadratisch aufsummiert, in der dritten Spalte ist die Standardabweichung σ , die frei vom systematischen Anteil ist, angegeben.

Region	RMS	σ
Gesamtgebiet	$\pm 10.5\text{cm}$	$\pm 7.1\text{cm}$
Park, dichter Baumbestand	$\pm 14.5\text{cm}$	$\pm 11.1\text{cm}$
Park, geringe Vegetation	$\pm 11.4\text{cm}$	$\pm 7.8\text{cm}$
Park, offenes Gelände	$\pm 8.6\text{cm}$	$\pm 4.5\text{cm}$
Straße, mit parkenden Autos	$\pm 9.2\text{cm}$	$\pm 3.7\text{cm}$
Straße, ohne Autos	$\pm 2.4\text{cm}$	$\pm 1.0\text{cm}$

Diese Ergebnisse zeigen eine deutliche Abhängigkeit der Genauigkeit von der Oberflächenbeschaffenheit. Der sehr geringe Wert für die Abweichungen im offenen Straßengebiet ist auf

grund der Einzelpunktgenauigkeit, die schlechter als 10cm ist, überraschend. Die Methode der linearen Prädiktion ermöglicht jedoch für gut definierte, leicht gekrümmte Oberflächen und der zudem auftretenden hohen Punktdichte die Bestimmung eines Oberflächenmodells, dessen Genauigkeit deutlich höher ist als die Genauigkeit der einzelnen Stützpunkte [6].

6. Ausblick und Zusammenfassung

Die bisher vorgestellte Methode zur Erstellung eines DGMs im Stadtgebiet hat nur die von der Messmethode zur Verfügung gestellten unstrukturierten Massenpunkte verwendet. Sowohl zur Verbesserung der Modellierung, als auch zur Unterstützung des hierarchischen Ansatzes, wäre es jedoch wünschenswert Bruchkanteninformation einzubeziehen. Diese zusätzliche Vektorinformation kann aus bereits vorhandenen Datenbeständen (z.B. eine photogrammetrische Auswertung) übernommen, manuell in einer Visualisierung der Laser-Daten digitalisiert, oder aber auch automatisch aus den Laserdaten ermittelt

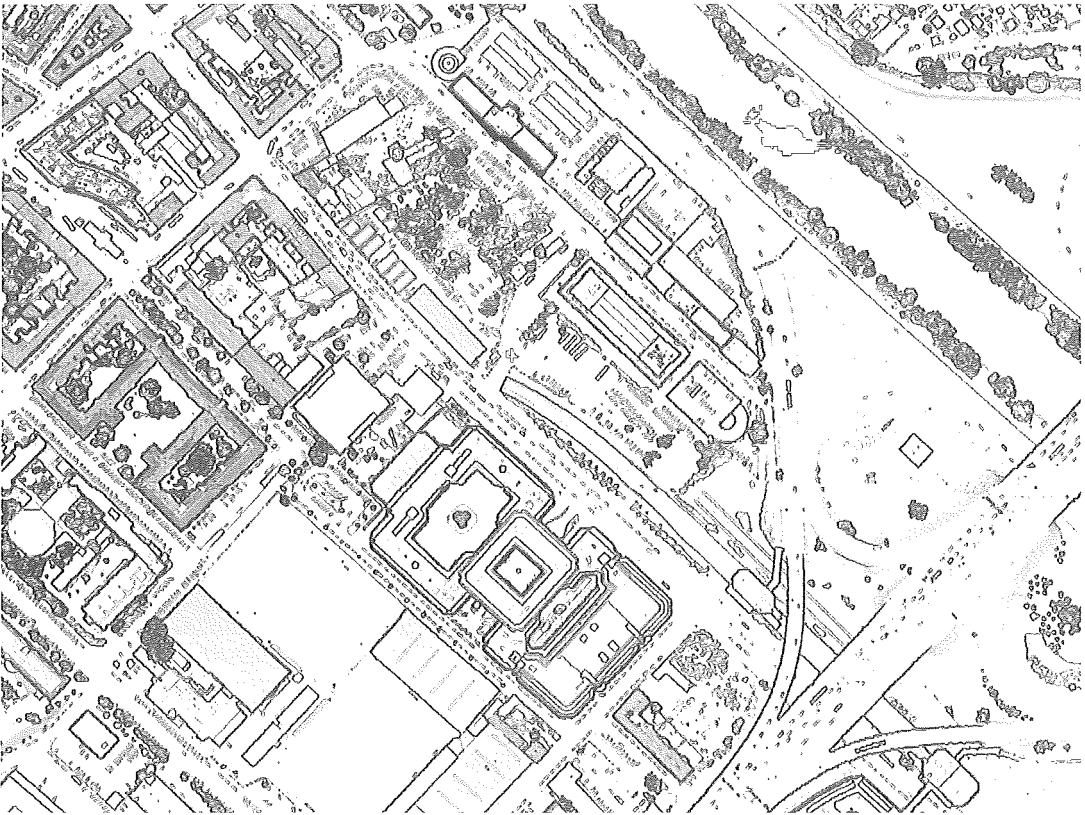


Abb. 8: Gradientenbild aus Oberflächenmodell abgeleitet

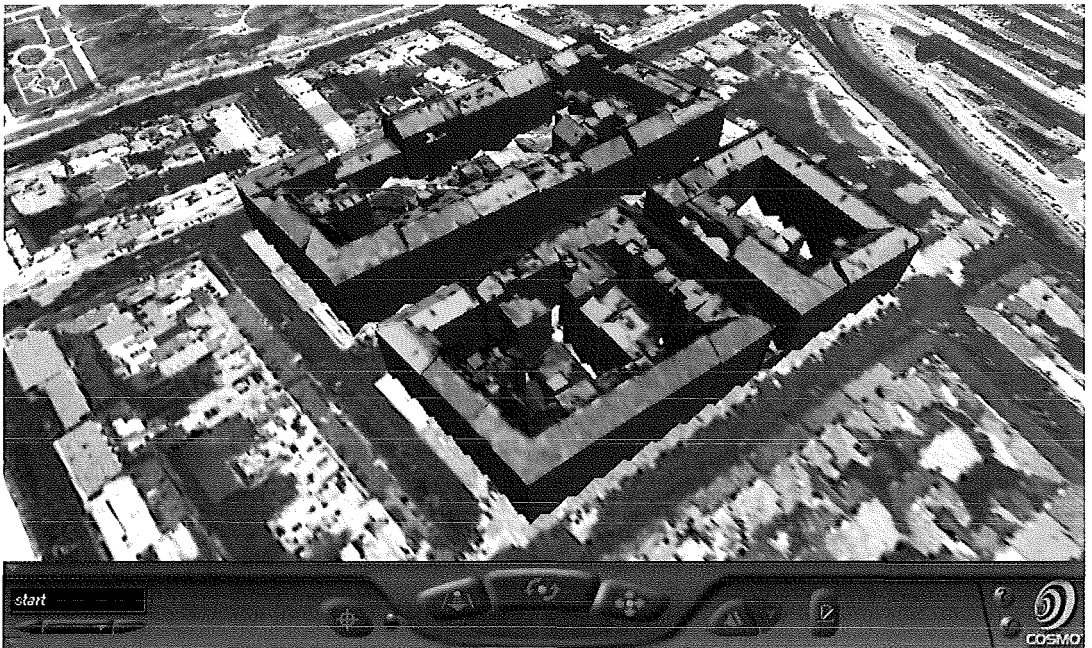


Abb. 9: Ergebnis der Modellierung

werden. Diese automatische oder semi-automatische Bestimmung der Geländekanten aus Laser-Scanner-Daten ist zur Zeit Gegenstand vieler Forschungsprojekte. Im Rahmen der Diplomarbeit [4] wurden mehrere Methoden untersucht und deren Ergebnisse beurteilt. Die Abb. 8, ein aus einem Oberflächenmodell abgeleitetes Gradientenbild (der Länge des in den Grundriss projizierten Gradientenvektors wird ein bestimmter Grauwert zugeordnet), soll einen Eindruck auf die Möglichkeiten der Kantenextraktion aus Laser-Scanner-Daten geben. In diesem Bild sind viele interessante Details erkennbar.

Einen weiteren großen Forschungsschwerpunkt stellt der Bereich der 3D-Stadtmodellierung dar. Die Daten einer Laser-Scanner-Befliegung sollen dabei nicht nur zur Erzeugung des DGMS beitragen, sondern es sollen auf Basis der mit dieser Messmethode erfassten Objekt-oberfläche, z.B. der Punkte an Hausdächern, 3D-Objekte modelliert werden.

Zur Erstellung eines 3D-Stadtmodelles im Projektgebiet von Wien wurde das Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart beauftragt. Die dabei angewandte Methode ist in [2] beschrieben. Das Ergebnis dieser Modellierung für drei Häuserblöcke ist in der Abb. 9 dargestellt. Die Genauigkeit dieser visualisierten Objekte im Bereich der Dächer liegt bei $\pm 1,3$ m [3].

Wie bereits im Kapitel 2 (Prinzip des Laser-Scannings) erwähnt, hängt die Intensität des detektierten Echos von der beleuchteten Oberfläche ab. Das Echo kann somit nicht nur zur Distanzmessung genutzt werden, sondern die detektierte Intensität gibt auch Auskunft über die Oberflächenbeschaffenheit. Diese zusätzliche Information (Abb. 10) steht bei einigen neuen Systemen zur Verfügung.

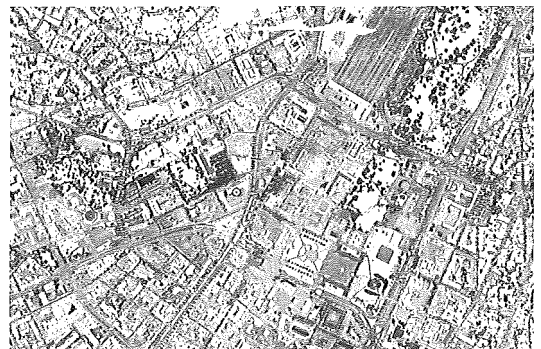


Abb. 10: Oberflächenbeschaffenheit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Aufnahmetechnik des Laser-Scannings interessante Anwendungsmöglichkeiten bietet. In vielen Bereichen stehen die Auswertemethoden jedoch noch am Beginn der Entwicklung und viele in den Laser-Scanner-Daten enthaltene Details

können mit den heute zur Verfügung stehenden Methoden (noch) nicht modelliert werden.

Danksagung

Diese Forschung wird durch den FWF (Österr. Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung), Projekt-Nr. P14083-MAT, unterstützt. Dank geht weiters an die MA 41, Stadtvermessung der Stadt Wien, die nicht nur die Laserdaten bereitgestellt hat sondern dieses Projekt auch durch die Messung der Referenzdaten und fruchtbare Diskussionen unterstützt hat.

Literatur

- [1] Axelsson, P., Sterner, H., 1999: Mapping Electrical Power Lines with Laser Scanning, GIM International, March 1999, Volume 13, Number 3.
- [2] Brenner, K., Haala, N., 1999. Rapid Production of Virtual Reality City Models. Geoinformationssysteme 2/99, S. 22 – 28.
- [3] Briese, C., Kraus, K., Mandelburger, G., Pfeifer, N., 2001. Einsatzmöglichkeiten der flugzeuggetragenen Laser-Scanner, Tagungsband der 11. Internationalen Geodätischen Woche in Oberurgel.
- [4] Briese, C., 2000. Digitale Modelle aus Laser-Scanner-Daten in städtischen Gebieten. Diplomarbeit am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technischen Universität Wien.
- [5] Brockmann, H., Mandelburger, G., 2001. Modelling a watercourse DTM based on airborne laser-scanner data – using the example of the River Oder along the German/Polish Border. OEEPE workshop on airborne laserscanning and interferometric SAR for digital elevation models, Stockholm.
- [6] Kraus, K., 2000. Photogrammetrie – Topographische Informationssysteme, Band 3, 1. Auflage, Dümmler Verlag, Bonn.
- [7] Kraus, K., Pfeifer, N., 1998. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 53, S. 193 – 203.

- [8] Kraus, K., Rieger, W., Processing of laser scanning data for wooded areas. Photogrammetric Week '99, S. 221–231, Wichmann Verlag, Deutschland.
- [9] Lohr, U., Schaller, J., 1999: Trassenbefliegung mit dem TopoSys Laserscanner. Geoinformationssysteme 2/99, S. 3 – 5.
- [10] Pfeifer, N., Kraus, K., Köstli, A., 1999. Restitution of Airborne Laser Scanner Data in Wooded Areas. Geoinformationssysteme 2/99, S. 18 – 21.
- [11] Pfeifer, N., Reiter, T., Briese, C., Rieger, W., 1999. Interpolation of high quality ground models from laser scanner data in forested areas. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Commission III, Working Group 2 and 5, La Jolla.
- [12] Pfeifer, N., Stadler, P., Briese, C., 2001. Derivation of digital terrain models in the SCOP++ environment. OEEPE workshop on airborne laserscanning and interferometric SAR for digital elevation models, Stockholm.
- [13] SCOP (Programmpaket für Digitale Geländemodelle), 2001. Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Produktinformation, 4.05.2001, <http://www.ipf.tuwien.ac.at/produkte/produkte.html>.
- [14] TopoSys, 1999. Protokoll der Auswertung der Höhendaten „Wien“.
- [15] TopoSys, 2001. Homepage der Fa. TopoSys, 4.05.2001, <http://www.toposys.com>.
- [16] Topscan, 2001. Homepage der Fa. Topscan, 4.05.2001, <http://www.topscan.de>.
- [17] Wehr, A., Lohr, U., 1999. Airborne laser scanning – an introduction and overview. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54, S. 68 – 82.

Anschrift der Autoren

Christian Briese, Norbert Pfeifer: Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien. email: {cbriese, np}@ipf.tuwien.ac.at
Peter Belada: Magistratsabteilung 41, Muthgasse 62 / 3. und 4. Stock, A-1190 Wien. email: bel@m41.mag-wien.gv.at



Digitales „Atlas-Informationssystem“ von Österreich Abschlußbericht über das FWF-Projekt „Geoinformationssysteme und EDV-Kartographie“

Fritz Kelnhofer, Wien

Zusammenfassung

In einem fünfjährigen Forschungsprojekt des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (1995 – 2000) mit dem Titel „Geoinformationssysteme und EDV-Kartographie“ wurde das duale Prinzip in der Kartographie konsequent und professionell angewandt, allerdings nicht in der üblichen Form von inhaltlich unterschiedlichen, einander ergänzenden Produkten, sondern gleicher Produkte für unterschiedliche Transportvehikel einzusetzen. Damit erhält auch das elektronische Medium eine Kartographie, welche jener des Printmediums entspricht. Im interaktiven multimedialen Informationssystem „GeoInfo-Austria“ wird der Rastergraphik der Kartenbilder die Skelettgeometrie der Vektoren unterlegt, welche – für den Nutzer nicht sichtbar – das Karten-User-Interface darstellt, über welches alle von der Karte ausgehenden Interaktionen laufen. Für Interaktionen, welche über die DB laufen, bilden Funktions-Buttons und spezielle Interaktionsfenster das User-Interface. Die so erzielten kartographischen Visualisierungen sind in einem topographischen Kartenhintergrund eingebettet und selbst wieder interaktiv angelegt, so daß der Nutzer durch entsprechende Interaktionen bis zu den Primärmodellaten gelangen kann. „GeoInfo-Austria“ verfügt auch über andere mediale Komponenten wie zum Beispiel Text, Bilder, Statistiken, aber auch Toninformationen, welche durch Anklicken von hot spots abgerufen werden können. Selbst einfache Kartogramme nach nutzerspezifischen Vorstellungen können mit „GeoInfo-Austria“ kreiert werden, wobei allerdings nur die in der Datenbank vorgehaltenen Daten benutzt werden können.

Abstract

The topic of this paper is a report on a five year research program (1995 – 2000) of the Scientific Research Fund of Austria (FWF) entitled „Geoinformation systems and computer-assisted cartography“. In this scientific project the so called dual principle of atlas cartography was consistently and professionally applied but not in the usual way of products differing in contents or supplementing each other but in that of the same products were used for different information vehicles. Because only the database is used for print media as well as for the electronic medium, maps are represented even on the electronic medium in an adequate graphical outfit. In the interactive cartographic information system „GeoInfo-Austria“ these symbolized maps in raster mode are underlayed by the skeleton geometry in vector mode which is – not visible for the interacting user – the user interface for all interactions starting from maps. Database queries can be visualized using buttons or retrieval masks with specific functions as user interfaces. The cartographic visualization result is embedded in topographical background and these maps or cartograms are interactive too, so the user of the system can recourse to the primary data. „GeoInfo-Austria“ offers additional media components such as texts, pictures, statistics and sound by clicking hot spots in the map. Users can create simple cartograms relating to the topics of their own choice by using the data of the „Geo-Info-Austria“ database.

Vorbemerkung

Im Rahmen der GeoLis III Tagung (1994) hatte der Verfasser die Gelegenheit, die Konzepte für das 5-jährige Forschungsprojekt „Geoinformationssysteme und EDV-Kartographie“ des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung vorzustellen [4]. Das Ziel dieses Forschungsprojektes war, einen Prototyp eines digitalen „Atlas-Informationssystems“ zu entwickeln, der sowohl in hochqualitativer Form dem Printmedium wie auch in interaktiver Form dem elektronischen Medium zugeführt werden kann. Nach erfolgreichem Abschluß des Projektes werden nachstehend die Ergebnisse präsentiert.

1. Duale Nutzung kartographischer Darstellungen

Der trotz Einsatz von digitalen Arbeitstechniken nach wie vor hohe Aufwand für die Kartenherstellung läßt es naheliegend erscheinen, ein digital vorliegendes kartographisches Visualisierungsprodukt für unterschiedliche Schienen der Informationsverteilung einzusetzen. Gelingt es, punktidenten Basisgeometrien sowohl für das Print- wie auch für das elektronische Medium zu nutzen, reduziert sich nicht nur der Herstellungsaufwand, sondern auch die Evidenzhaltung erheblich. Darüber hinaus wird auch die Bildschirmversion mit einer qualitativ und ästhetisch befriedigenden Kartographie versehen, die dem Kartennutzer aus dem Printbereich vertraut ist. Um ein qualitativ befriedigendes Printergebnis zu erzielen, wird notwendigerweise eine sehr hohe Auflösung in der Ausbelichtung der Druckvorlagen bzw. der Druckform angestrebt. Im Gegensatz dazu erscheint das Kartenbild am Bildschirm als relativ grob aufgelöst, wobei aber durch bildverbessernde Maßnahmen (z.B. Anti-aliasing) eine Kartographie erreicht werden

kann, die den Kartographen einigermaßen zu befriedigen vermag.

Auch in einem multimedialen, interaktiven, kartographischen Informationssystem trägt die kartographische Darstellung im weitesten Sinn die Hauptlast des Geoinformationstransfers, einfach deshalb, weil diese Form der räumlichen Informationspräsentation der „Gestalt“-Wahrnehmung und ganzheitlichen Sicht der menschlichen Visualperzeption weitestgehend entgegen kommt. Interaktive nutzerseitige Informationserschließung und der Einsatz unterschiedlicher Medien zur Enkodierung von Rauminformationen eröffnen dem Kartographen neue Applikationsformen und dem Nutzer neue Informationszugänge [1].

Im Rahmen des genannten Projektes wurden fast 60 Kartenblätter zu unterschiedlichen Thematiken in den Maßstäben 1:1 Mio. bzw. 1:2 Mio. generiert und für den Vierfarbendruck nach der Euro-Skala eingerichtet und in Form seitenverkehrter Offsetdrucke ausbelichtet. Der im Sinne des dualen Prinzips für das elektronische Medium entwickelte Prototyp „GeoInfo-Austria“ stellt ein voll interaktives kartographisches Informationssystem dar, welches nach einigen Adaptionen über CD oder Internet portiert werden könnte. Prototyp bedeutet in diesem Zusammenhang, daß alle technologischen Funktionalitäten in den Interaktionsformen realisiert wurden, die inhaltliche Umsetzung dagegen nur exemplarisch vorgenommen werden konnte, da die Förderungsmittel für die Abgeltung von Urheberrechten an Daten u.ä. nicht ausreichten.

2. Konzeption der Basismodule für den dualen Medieneinsatz

Eine kartographische Darstellung ist dadurch gekennzeichnet, daß die räumliche Information objekt- und geometriemäßig in der Kartensym-

bolik kodiert ist. Um die Wahrnehmung im Rahmen der Dekodierung zu sichern, muß die Symbolisierung der perzeptiven Möglichkeiten des menschlichen Auges genügen. Diese Vorgaben bedingen Informationsgestaltungsprozesse, welche als kartographische Generalisierung bezeichnet werden, die in der Maßstabsfolge dazu führen, daß die Kartenobjektmaßstäblichkeit in immer stärkerem Maße vom eigentlichen Maßstab abzuweichen beginnt. Die im Zuge der Symbolisierung ausgelöste Kartenobjektüberhaltung bewirkt, daß gleichartige Informationen nicht mehr gleichwertig behandelt werden können, was einerseits zu einer Heterogenität des Inhaltes, andererseits zu lokalen Geometriedeformationen führen muß. An dieser Grundkonzeption kartographischer Informationsgestaltungsbedingungen ändert sich auch dann nichts, wenn die Geometrie- und Sachverhaltsvorhaltung auf digitalem Wege erfolgt. Wird ein visuell auffassbares Kartenbild angestrebt, welches die Möglichkeit des Erfassens, Einprägens und Interpretierens räumlicher Zusammenhänge bietet, dann müssen diese Geometriedeformationen in Kauf genommen werden. Wird dagegen die korrekte geometrische Verortung angestrebt, dann wird diese Geometrie in der jeweiligen Verkleinerung den Wahrnehmungsnotwendigkeiten nicht genügen können, da eben keine speziellen Vorkehrungen zur Sicherung der visuellen Erfassung getroffen wurden. Die maßstabsungebundene Primärmodellierung bildet die Grundlage für alle modellorientierten Analyseoperationen, während die an maßstäblich unterschiedliche Sekundärmodelle gebundene Visualisierungsmodellierung an einem Wahrnehmungskonzept ausgerichtet ist. Die Aufgabe der Kartographie ist in diesem Zusammenhang die Generierung von sekundären Visualisierungsmodellen, die sich an einem bestimmten Anwendungsprofil orientieren und für einen bestimmten Nutzerkreis konzipiert werden.

2.1. Gestaltungsgrundsätze für die Topographie-Datenbasis

Der Beginn des FWF-Projektes fiel in die Zeit der Umstellung des Instituts von analogen zu digitalen Bearbeitungstechnologien, so daß – zumindest was den Kartenentwurf anlangte – mit einem Verschnitt aus manueller Entwurfszeichnung und EDV-unterstützten Weiterbearbeitungsmethoden das Auslangen gefunden werden mußte. Da die kartographische Generalisierung bislang ohnedies nicht EDV-unterstützt ausgeführt werden kann, hat sich diese Vorgehensweise in vielen Belangen als durchaus vor-

teilhaft erwiesen. Auf jeden Fall konnte auf diese Weise das durch eigenschöpferische Leistung begründete Urheberrecht problemlos nachvollziehbar gemacht werden, was über digitale Entwurfs- und Originalisierungstechniken zunehmend schwieriger zu belegen ist. Der Kartenentwurf wurde in allen wesentlichen Elementen im Maßstab 1:700.000 durchgeführt und nach dem Einscannen der analogen Vorlagen im eigentlichen Publikationsmaßstab 1:1 Mio. im Zuge der Symbolisierung digital nachbearbeitet. Als geometrische Bezugsbasis wurde ein flächentreuer Kegelentwurf mit zwei längentreuen Parallelkreisen (47° und 49° n. Br.) gewählt. Das Gewässernetz und die Höhenlinien bildeten dabei das Grundgerüst für alle weiteren Kartenelemente, wobei bei letzteren – infolge der Kleinheit des Maßstabs – ein geteiltes Äquidistanzsystem gewählt wurde, welches bis 1.200 m mit Intervallen von 200 m, über 1.200 m jedoch in Intervallen von 400 m angelegt wurde. Diese Kompromißlösung ergab sich aus der Notwendigkeit, einerseits die graphischen Mindestabstände zu sichern, andererseits aber auch die Versetzungs- und Verdrängungseffekte in einem vertretbaren Ausmaß zu halten. Dieser Umstand ist im Rahmen der interaktiven Kartometrie noch einer näheren Betrachtung zu unterziehen. Der Entwurf der Situationselemente im engeren Sinn (Siedlungen, Verkehrswege, administrativ-politische Grenzen etc.) wurde in diese Basisgeometrie aus Gewässernetz und Höhenlinien voll integriert, so daß in einem sehr arbeitsintensiven Prozeß ein maßstabsadäquates und semantisches Koinzidieren aller Kartenelemente erreicht werden konnte. Damit wurde auch eine der wesentlichen Grundlagen für das interaktive Abfragen im kartographischen Informationssystem geschaffen. Neben diesen linienhaften Kartenelementen wurden auch die flächenhaften Elemente (Wald, Gletschergebiete etc.) der Topographie entwickelt, bei denen die Ausgrenzung des sogenannten Dauersiedlungsraumes sich als höchst aufwendig erwies, da eine Fülle von Grundlagenmaterial (Luft- und Satellitenbilder, großmaßstäbiges Kartenmaterial u.ä.) einzuarbeiten war [6], [7].

Die linienhaften bzw. flächenhaften Kartenelemente der Entwurfsphase wurden auf den Publikationsmaßstab verkleinert, gescannt und anschließend teils „automatisch“, teils „halbautomatisch“ vektorisiert und nach unterschiedlichen Nachbearbeitungsschritten (z.B. Reduzierung der Stützpunktezahle u.a.) schließlich topologisch wie auch attributiv – im Sinne der festgelegten Kartenlegende – symbolisiert in Layern abgelegt. Diese Attributierung umfaßte neben den seg-

mentweise beigefügten Codes der Legenden-Sachkategorien vor allem auch die Generierung der Kartenschrift. Innerhalb Österreichs wurde die Schreibweise der Siedlungen auf das Ortsverzeichnis des ÖSTAT abgestimmt, um für das interaktive kartographische Informationssystem die problemlose Anbindung an die Daten der Großzählungen sicherzustellen. Die Gebiets-, Berg- bzw. Gewässernamen orientieren sich in ihrer Schreibweise an den amtlichen Karten Österreichs. Im Ausland wurden die amtliche Schreibweise der offiziellen topographischen Karten übernommen, wobei auf deutschsprachige Bezeichnungen verzichtet wurde. Lediglich in Südtirol wurden die deutschen Namensbezeichnungen allein verwendet. Da für den außerösterreichischen Teil keine interaktive Informationserschließung vorgesehen war, konnte eine dem jeweiligen Nutzungszweck bestangepaßte Vorgehensweise gewählt werden.

2.2. Bearbeitung bildhafter kartographischer Elemente

Von der ursprünglichen Idee, aus den Höhenlinien ein DHM für eine schattenplastische Geländedarstellung abzuleiten, wurde sehr bald Abstand genommen, da nicht nur der Arbeitsaufwand die Kapazitätsmöglichkeiten des Instituts überschritten hätten, sondern eine entsprechende Generalisierung und Adaptierung in die vorgegebenen Kartengeometrien nicht sichergestellt werden konnte. Durch eine Lizenzvereinbarung mit dem BEV konnte die Halbtongeländezeichnung der ÖK 500 als Basis genutzt und in das Abbildungssystem des Maßstabs 1:1,0 Mio. mit Photoshop transformiert werden. Die starke Verkleinerung des Halbtongeländebildes führte – wie zu erwarten war – zu einer übertriebenen reliefierten, die Kleinformen überbetonenden Reliefwiedergabe. Photoshop bietet im Rahmen sogenannter graphischer Effekte eine Möglichkeit an, unter Vorgabe einer Beleuchtungsrichtung und eines Einfallswinkels „schattenplastische“ Graphikeffekte zu generieren, welche ihrem Konzept nach an die „Tanaka-Methode“ in der Kartographie erinnern. Unter Verwendung dieses Werkzeuges wurde ein Tiefenbild unter Zugrundelegung der vorhandenen Höhenlinien erzeugt, welches zur Dämpfung der zu hohen Lichtanteile in den Schattenpartien eingesetzt wurde. Um die Bildwirksamkeit zu steigern, wurde in einem weiteren Arbeitsgang eine „luftperspektivische Abstimmung“ angestrebt, indem durch Teilung der Höhenstufen in zwei Höhenbereiche eine „Kantenverstärkung“ im Hochgebirge und eine „Kantenmilderung“ im Flach- und Mittelgebirgsraum erreicht werden konnte.

Die nur in groben Zügen dargelegten Arbeitsphasen zur Herstellung der Basismodule waren in Wirklichkeit natürlich wesentlich komplexer und umfaßten gut ein Drittel des etwa 15 Personenjahre umfassenden Gesamtaufwandes des Projektes. Der hohe Aufwand in der Konzeptionsphase und Grundlagenbearbeitung war eine der wesentlichen Voraussetzungen für das klaglose Funktionieren der interaktiven Applikation.

3. Die Überführung der Basismodule in das Printmedium

Im Sinne der dualen Nutzung der Basismodule mußte aus den vorhandenen Bausteinen die Druckvorlagengenerierung für einen Vierfarbendruck nach der Euro-Skala vorgenommen werden [5]. Zu diesem Zweck wurde ein internes Farbmanagementsystem für unterschiedliche Ausgabe-Devices eingerichtet, da Sujet-Ausgabe, Proof und Druckergebnis zu gleichen Farbindrücken führen sollten. Eine besondere Hürde in dieser Prozeßkonzeption bildeten jedoch farbige Linienelemente mit geringer Strichbreite (z.B. Höhenlinien), für die ein Weg gefunden werden mußte, um trotz einer aus mehreren gerasterten Prozeßfarben aufgebauten Linie auch eine hinreichende Linienschärfe ohne störende Treppeneffekte sicherzustellen. Erst die Nachrüstung des hochauflösenden Belichters (BARCO GRAPHICS 3600M) mit einem Fast-Rip und der Einsatz eines frequenzmodulierten Rasterungskonzeptes („Monet-Raster“) konnte zusammen mit einem entsprechend dosierten Trapping eine professionelle kartographische Lösung garantieren, die auch im Druck passermäßig gehalten werden kann. Das Kartenwerk für das Printmedium gliedert sich in zwei Teilbereiche mit unterschiedlicher Schwerpunktsetzung, nämlich in

- topographische Grundlagen und administrativ-politische Übersichten bzw. in
 - themenbezogene sozio-ökonomische Sachverhaltsvisualisierungen,
- von denen jeweils Kartenausschnitte im beigefügten Folder enthalten sind.

Für die topographische Übersichtskarte wurde ein sogenannter integrativer Farbaufbau angewendet, der dem Konzept nach einer Umkehrung des Farbausuges entspricht. Die Geländezeichnung wird dabei nicht in einer eigenen Farbe gedruckt, sondern der Unbunton Grau für das Geländebild entsteht aus einem Buntaufbau, welcher in die Farbhypsometrie durch Bildaddition integriert und einem UCR unterzogen wurde. Für die Aufrasterung der Kartenausschnitte wurden nur

frequenzmodulierte Raster eingesetzt, die sich hervorragend zur Wiedergabe feiner Linienstrukturen eignen, die aber – wie sich aus der Moiretheorie leicht begründen läßt – zu unregelmäßigen Feinstmoires in glatten Flächentönen führen. Aus diesem Grund wurde für die Ausbelichtung der Druckvorlagen eine Trennung der Kartenelemente in linienartige Graphikelemente und Flächentöne vorgenommen, wobei erstere mit einem frequenzmodulierten, letztere mit einem amplitudenmodulierten Rasterungskonzept auf dem gleichen Filmträger belichtet wurden. Diese „Dokumenten-Addition“ konnte infolge der hohen Wiederholbarkeitspositionierung des Nullpunktes des Image-setters des Instituts erfolgreich ausgeführt werden. Aus Vereinfachungsgründen wurden jedoch alle Kartenausschnitte des Folders nur in Monet-Rastern ausbelichtet.

Die sachbezogene Schwerpunktsetzung des Kartenwerkes liegt jedoch nicht im topographischen, sondern im thematischen Kartographiebereich, in dem in erster Linie Daten aus statistischen Erhebungen einer räumlichen Visualisierung zuzuführen waren. Für die kartographische Gestaltung derartiger Produkte benötigt man einen sehr flexiblen „Werkzeugkasten“ an technischen Möglichkeiten, um auch mehrschichtige Aussagekombinationen realisieren zu können. Intergraph bietet für die professionelle kartographische Gestaltung eine Fülle von Möglichkeiten an, so daß eine Kartengraphik realisiert werden kann, die auch höheren Ansprüchen zu genügen vermag. Um diese Möglichkeiten auch in Wert zu setzen, bedurfte es allerdings einer nicht unbedeutlichen Applikationsprogrammierung. Die wiedergegebenen Kartenbeispiele stellen jeweils eine auf eine bestimmte Sachthematik abgestellte individuelle Lösung dar, für die auch jeweils eine bestangepaßte technische Realisierungsstrategie zu entwickeln war. Auch wenn viele Arbeitsschritte in „automatischen“ Prozeduren durch den Rechner übergeführt werden konnten, so war doch eine beträchtliche Nachbearbeitung am Bildschirm durch den Kartographen notwendig, um ein lesbares und damit verständliches Kartenbild zu gewährleisten. Es gibt derzeit keine algorithmischen Lösungen, welche Visualisierungskonflikte in der Kartensymbolik oder Generalisierungserfordernisse nachhaltig und nutzergerecht egalalisieren bzw. exekutieren könnten.

4. Die Transformation der Basismodule in ein interaktives kartographisches Informationssystem

Das kartographische Informationsangebot, welches über das Printmedium läuft, ist grund-

sätzlich mit einem fixen Informationsumfang und einer bestimmten Informationstiefe ausgestattet. Während der Informationsumfang in erster Linie kartenmaßstabsabhängig ist und durch die Erfordernisse der Perzeption determiniert wird, ist die Informationstiefe nur mittelbar maßstabsabhängig, dafür aber sehr stark an die jeweils vorhandene Sachdatenauffächerung gebunden. Die Informationen, welche im Rahmen der Informationstiefe an die Kartenelemente attributiv angefügt werden, sind in erster Linie Kartendaten und entsprechen eigentlich der Vorhaltung unterschiedlicher Sachinformationen auf gleicher Bezugsgeometrie. Genau so gut könnte man jeweils Kartendarstellungen zu jedem Sachthema ausarbeiten. Der Vorteil der Informationsvorhaltung in der Informationstiefe ist zunächst in der lokalen Abrufmöglichkeit einer Vielfalt von Daten zu sehen. Der Nachteil dagegen liegt ebenso klar auf der Hand, nämlich, daß nur Informationen angeboten werden können, die auf die Bezugsgeometrie attribuiert werden können, wobei eine Gesamtbetrachtung einer Merkmalsausprägung a priori nicht vorgesehen ist. Aus dieser Betrachtung ergibt sich unmittelbar, daß Sachdaten im allgemeinen bei Koinzidenz von kartographisch-maßstäblichem Geometriebezug und Sachdatengeokodierung, wie sie zum Beispiel in sehr großen Kartenmaßstäben vorliegt, unproblematisch zu realisieren ist. In ähnlicher Weise liegt die Situation bei relativ kleinen Maßstäben vor, wo es ebenfalls zur Koinzidenz von kartographisch-maßstäblichem Geometriebezug und der Sachdatengeokodierung – allerdings auf einem höheren Abstraktionsniveau – kommt. Im Bereich der mittleren Kartenmaßstäbe entstehen die Schwierigkeiten bei der interaktiven Informationsanbindung dadurch, daß die Kartenobjekte (z.B. bei flächenhafter Informationsdarstellung) lediglich generalisierten Aggregationen von „Reale-Welt-Objekten“ entsprechen und so eine unvollständige Visualisierungsgeometrie einer vollständigen Georeferenzierung von Sachdaten gegenüber steht.

4.1. Nutzerinteraktivitäten im Rahmen eines kartographischen Informationssystems

Kartographen haben für die Erstellung ihrer kartographischen Produkte in den EDV-unterstützten Arbeitsverfahren stets interaktive Werkzeuge eingesetzt, um sowohl nicht interaktive wie auch interaktive kartographische Kreationen zu generieren. Mit der Nutzung des Bildschirms als Präsentationsmedium für den Informationsnachfrager (= Karto-Info-Systemnutzer) war es naheliegend, die Informationsmöglichkeiten an

das neue Medium anzupassen. Dadurch wird der Informationsnachfragende in eine auch für ihn neue Rolle versetzt, da er sich gleichsam aktiv und zielgerichtet in den Prozeß der Informationsakquisition einbringen muß [1]. Da ein kartographisches Informationssystem jedoch ein kartographisches Produkt – vergleichbar mit bisherigen Kartenprodukten – darstellt, besteht für den Systemnutzer keine Möglichkeit der Erweiterung, weder im Informationsumfang noch in der Informationstiefe. Die Interaktionen des Nutzers beziehen sich demnach auf

- Systemhandlung und Präsentationsveränderungen (im Kartenausschnitt und Maßstabswechsel),
- Formen der Informationserschließung,
- Kartometrie bzw.
- gegebenenfalls nutzerdefinierte Kartenkreationen.

Den Zusammenhang zwischen den Interaktionsformen des systemerzeugenden Kartographen und des systemnutzenden Informationskonsumenten zeigt Abbildung 1.

viduelle Geo-Kompetenz keine andere wie die eines üblichen Kartennutzers, so daß auch durch ein Überangebot an neuen Informationsmöglichkeiten nicht unbedingt ein tieferes Verständnis bewirkt werden muß. Aus diesen Überlegungen ist weiters zu schließen, daß sogenannte nutzerdefinierte Kartenkonstruktionen lediglich auf ein sehr schmales Anwendungsegment beschränkt bleiben werden, da wohl kaum ein größeres Publikum bereit sein wird, sich mit methodischen Fragen der Kartographie, diversen Darstellungsformen u.ä. auseinander zu setzen.

4.2. Aufbau von „GeoInfo-Austria“

„GeoInfo-Austria“ ist als multimediales, interaktives kartographisches Informationssystem vom Typ „Atlas-Informationssystem“ konzipiert, wobei alle Karten des Printmediums in eine interaktive Informationsakquisition eingebunden sind und die Visualisierung nutzerspezifischer DB-Abfragen aus 450 Datensätzen ermöglicht wird.

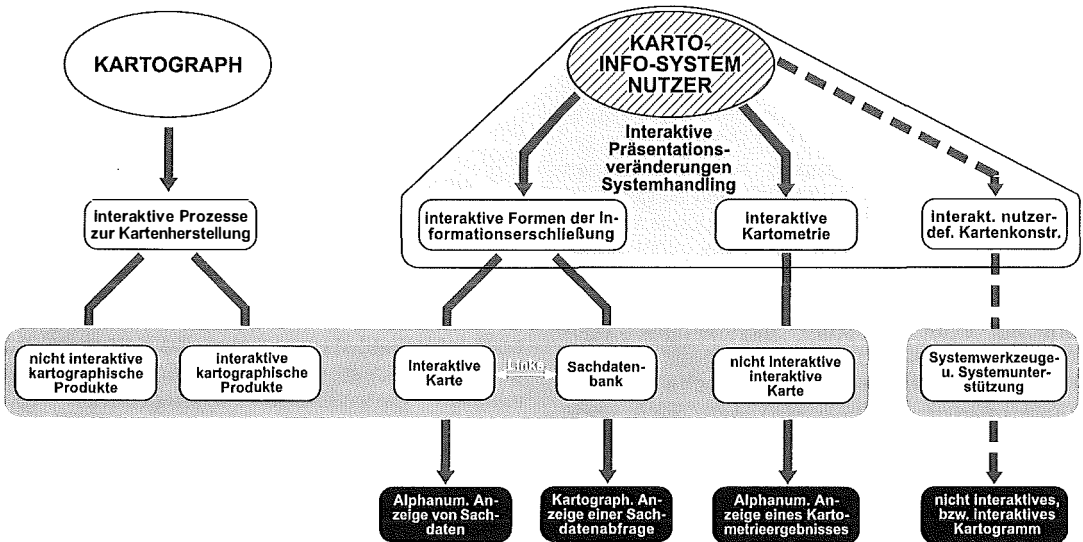


Abb. 1: Die Funktion der Interaktivität in der Kartographie

Auch wenn sich auf den ersten Blick eine neue Welt des Informationsangebotes und der Informationsnachfrage eröffnet, sollten zumindest Kartographen zwei Umstände nicht aus den Augen verlieren. Üblicherweise wird der Karto-Info-Systemnutzer bestimmte Nutzungsabsichten haben, die er im allgemeinen sehr schnell und zielgerichtet befriedigen möchte. Darüber hinaus ist trotz der Mächtigkeit eines kartographischen Informationssystems die indi-

„GeoInfo-Austria“ ist aus Gründen eines benutzerfreundlichen Handlings in drei Informationsbereiche gegliedert, wobei über TOPO-INFO maßstabsbezogene topographische Informationen und Daten, über THEMA-INFO stärker sachverhaltsorientierte Fragestellungen erschlossen werden können, während mittels MEDIA-INFO multimediale Ergänzungsinformationen (Texte, Bilder, Sprache etc.) nutzerspezifisch ausgewählt werden können.

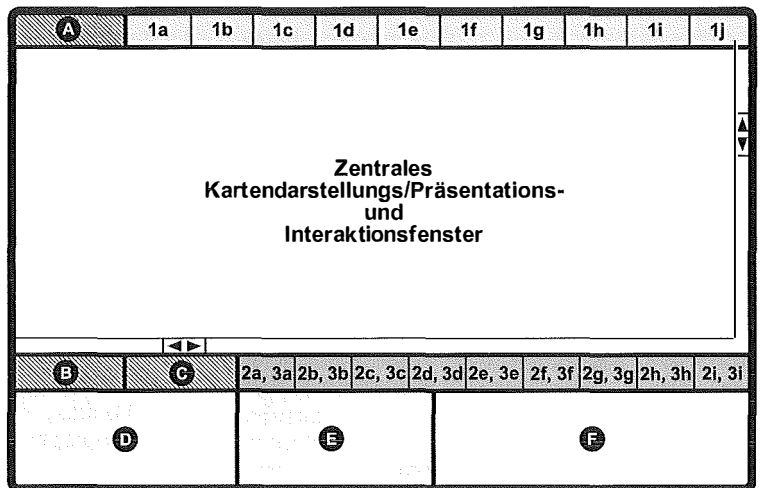
Der Leitgedanke für die Gestaltung des User-Interfaces war, dem Kartenbe-trachter ein möglichst unge-störtes Bild für die „Gestalt-Wahrnehmung“ zum Ein-prägen räumlicher Relatio-nen anzubieten. Daher wur-den alle Interaktionsfunctio-nen entweder auf Funkti-ons-Buttons oder spezielle Interaktionsfenster gelegt, um ein ständiges Überblen-den der Kartendarstellun-gen durch Interaktionsmas-ken zu vermeiden. Der Wechsel zwischen den ein-zelnen Maßstabsebenen, sofern diese nicht vom Sys-tem festgelegt werden, ist mit einer dynamischen Kar-tenausschnittsanzeige in einer Orientierungskarte ge-koppelt.

Beim Einstieg in das Sys-tem wählt der Systemnut-zer einen der möglichen In-formationenbereiche aus, wobei die zu diesem In-formationenbereich gehörenden Interaktionsmög-lichkeiten in der unteren Buttonleiste aufscheinen, während die obere Buttonleiste systemweite In-teraktionsmöglichkeiten aufweist, die unabhängig vom gewählten Informationsbereich ständig dem Nutzer zur Verfügung stehen (vgl. Abbildung 2). Das in „GeolInfo-Austria“ vorhandene Leitsystem kann allerdings in Abhängigkeit von den in den je-weiligen Informationsbereichen gewählten Interaktionsfunktionen systemweite Interaktions-möglichkeiten zeitweilig sperren, wenn diese nicht sinnvoll mit den Nutzeraktivitäten in Einklang ge-bracht werden können. Damit ist keine Nutzerbe-vormundung, sondern eine Nutzerunterstützung verbunden, um unzweckmäßige Formen der Infor-mationsakquisition hintanzuhalten.

Die kartographischen Präsentationen erfolgen maßstabsbezogen in drei unterschiedlichen In-formationendichten, welche mit global für ganz Österreich, regional auf etwa Bundesländer-ebene und lokal mit dem Raumbezug der politi-schen Bezirke approximativ gekennzeichnet werden können.

4.3. Nutzerspezifische Informationerschlüßung in „GeolInfo-Austria“

Die textliche Erörterung eines derartigen Infor-mationssystems kann aufgrund des beschränk-



- A** Auswahl der Informations-bereiche
- B** Anzeige des dynamischen Vergleichsmaßstabes
- C** Anzeige der gewählten Informationsebene
- D** Dynamische Anzeige des ak-tuellen Kartenausschnittes
- E** Anzeigefenster für Hinweise zu Nutzerinteraktionen
- F** Interaktionsfenster zur Nut-zerinteraktionsspezifikation

1a bis 1j Systemweite Interaktionsmöglichkeiten
 2a bis 2i Interaktionsmöglichkeiten für TOPO - INFO
 3a bis 3i Interaktionsmöglichkeiten für THEMA - INFO

Abb. 2: User Interface zu „GeolInfo-Austria“

ten Umfanges einer Beschreibung nur in groben Zügen erfolgen, wobei mit einigen ausgewählten Beispielen versucht werden soll, die Funktionsweise nachvollziehbar zu machen.

Die nutzerspezifischen Interaktionen zur Infor-mationsakquisition wurden in „GeolInfo-Austria“ in Funktionen und Anzeigen gegliedert. Mit dem Anklicken eines „Funktions-Buttons“ leitet der Nutzer eine mehr oder weniger umfangreiche Prozedur ein, wobei das System unterschiedliche Spezifizierungen verlangt, bevor diese Pro-zedur abgearbeitet wird. Mit dem Begriff „An-zeige“ soll dem Systemnutzer signalisiert wer-den, daß auf eine bestimmte formalisierte Frage eine Antwort in Form einer alphanumerischen Anzeige oder einer kartographischen Visualisie-rung erfolgen wird.

Im Rahmen der systemweiten Interaktions-möglichkeiten werden derzeit in „GeolInfo-Austria“ der Maßstabswechsel zwischen vorbe-reiteten Informationsebenen, die Anzeige der Kartenschnitte der amtlichen topographischen Kartenwerke, die Anzeige der politisch-admini-strativen Einheiten Österreichs sowie die An-zeige von Höhenstufen angeboten. Die Funkti-onen der maßstabsbezogenen Kartometrie um-fassen die Anzeige der geographischen Koordi-naten, Luftlinien, Entfernungen, Visualisierungen von Umkreisen und Kreisringen, Streckenbe-

stimmungen entlang von linearen Kartenelementen (Routenverläufe) u.ä.m. Eine spezielle Funktion ist die „Aussprache von geographischen Namen“, bei der durch Anklicken eines Kartennamens (derzeit nur für Siedlungsnamen möglich) der geographische Name über den Lautsprecher des PC als gesprochenes Wort übermittelt wird. Mit welchen Fallstricken manche Funktionen versehen sein können, soll an einem „Abfrage-Anzeige-Beispiel“ etwas näher ausgeführt werden. „GeoInfo-Austria“ bietet dem Kartenbetrachter eine ansprechende Kartengraphik, da professionell gestaltete Kartengraphik in Rasterbildern übermittelt wird. Die Interaktivität wird jedoch über Vektorelemente im Hintergrund, die für den Betrachter nicht sichtbar sind, abgewickelt, so daß für den Systemnutzer der Eindruck entsteht, er interagiere mit dem ihm präsentierten Kartenbild. Diese Vorgehensweise beinhaltet natürlich einige Unwägbarkeiten, die für den Kartennutzer zu nicht verständlichen Situationen führen können. Bietet man dem Systemnutzer zum Beispiel an, daß er für jedes Kartenelement feststellen kann, in welcher Gemeinde sich dieses befindet, so wird dies für viele Abfragen unproblematisch funktionieren, indem über die geklickte Cursorposition eine Point-in-Polygon-Abfrage erfolgt und so der diesem Polygon zugeordnete Gemeindegemeinde ausgewiesen wird. Liegt jedoch der angeklickte Punkt direkt auf einer Grenzlinie – wie dies etwa bei einer Bergspitze und einer Gemeindegrenze durchaus der Fall sein kann –, dann kann eine wiederholte Abfrage zu zwei unterschiedlichen Gemeindegemeindezuordnungen führen. „GeoInfo-Austria“ unterstützt den Systemnutzer insofern, als dieser im Anzeigefenster Erläuterungen und Hinweise nachlesen kann, welche diese Problematik zu erläutern vermögen. Natürlich könnte man diese Unsicherheit a priori dadurch abfangen, indem man derartige Fälle bereits im Vorfeld herausfiltert und in der DB mit dem expliziten Hinweis versieht, daß dieser Punkt auf einer Grenze liegt und daher keiner Gemeinde zugeordnet werden kann.

Die Trennung in einen TOPO-INFO- und einen THEMA-INFO-Bereich wurde in erster Linie zur Vereinfachung des System-Handlings durchgeführt, wobei über die systemweiten Interaktionsmöglichkeiten durchaus wechselseitige Verbindungen zwischen den beiden Informationsbereichen bestehen. Im Rahmen von TOPO-INFO stehen derzeit die Funktionen interaktive Legendenschließung bzw. nutzerspezifische Erschließung der Informationstiefe zur Verfügung, welche durch die Funktion „Wechsel des Informationsumfanges“ im Sinne einer Zu- und Weg-

schaltung von Informationslayern ergänzt wird. Die Anzeigemöglichkeiten für „nutzerspezifisch selektierte Sachattribute“ bzw. „Selektion von geographischen Namen“ aus dem Ortsverzeichnis Österreich bieten dem Systemnutzer Möglichkeiten der kartographischen Visualisierung von Kartenattribut- bzw. Sachdatenabfragen via Datenbank an. Beispielfähig soll die Anzeige geographischer Namen etwas näher ausgeführt werden.

Durch das Aktivieren der Anzeige „geographische Namen“ erwartet das System im Interaktionsfenster rechts unten eine Eingabe über die Tastatur. Diese Namenseingabe wird zunächst dazu benützt, das Register der Kartennamen der topographischen Karte zu durchsuchen. Gibt es zu einer Eingabe mehrere gleichlautende Einträge (z.B. für Tulln den Stadtnamen und die Gewässerlaufbezeichnung), so wird der Systemnutzer über das Interaktionsfenster aufgefordert, eine Wahl zu treffen, welches geographische Objekt in der Karte angezeigt werden soll. Im Falle des Siedlungsnamens wird dieser zusammen mit dem Siedlungssymbol bildschirmzentriert gehighlighted und neu farbig kodiert. Es wird kein neuer Schriftzug in Form eines kleinen Schildchens überlagert, sondern der bestehende Schriftzug für die Anzeige benützt. Dies erfolgt dadurch, daß im Rasterbild der gleiche Kartenname in der gleichen Schriftgröße und gleichem Schriftfont nochmals pixelident überzeichnet wird. Findet das System für eine Eingabe eines geographischen Namens keinen Eintrag im Register der topographischen Karte, dann wird im nächsten Schritt das gesamte Ortsverzeichnis des ÖSTAT abgeglichen. Wird dort ein Namens-eintrag gefunden, so hat dieser natürlich keine Entsprechung in der topographischen Karte. Daher wird vom System die Gemeinde in der topographischen Karte ausgewiesen, in welcher sich diese geographische Örtlichkeit befindet. Durch diesen Wechsel in der Visualisierungsform kann auch eine umfangreiche Hintergrundinformation in die Abfrage einbezogen werden, ohne einen Maßstabswechsel durchführen zu müssen.

Der Informationsbereich THEMA-INFO bietet in „GeoInfo-Austria“ die zweifellos mannigfaltigsten Informationsmöglichkeiten an. Während der Systemnutzer beim Einstieg über TOPO-INFO mit einer Übersichtskarte von Österreich konfrontiert wird, erfolgt der Einstieg zu THEMA-INFO über eine Auswahlmaske, mit welcher der Systemnutzer die von ihm gewünschte Sachthematik auswählt. So findet sich eine inhaltliche Aufgliederung aller professionell bearbeiteten kartographischen Darstel-

lungen des Printmediums, welche interaktiv bis in die statistischen Primärdaten erschlossen werden können. Die Anzeige nutzerspezifische Sachdatenabfrage und kartographische Visualisierung des Abfrageergebnisses erlaubt die Selektion eines oder mehrerer Datensätze nach nutzerspezifisch festgelegten Kriterien und der kartographischen Anzeige innerhalb von Grenznetzen. Der Nutzer hat auch die Möglichkeit, zwischen unterschiedlichen regionalen Berechnungs- und Anzeigeeinheiten (z.B. Bundesländer) zu wählen und so seinen explorativen Interessen freien Lauf zu lassen. Die so kreierte Visualisierungen können selbstverständlich interaktiv hinsichtlich statistischer Primärdaten weiter abgefragt werden. Schließlich räumt „GeoInfo-Austria“ auch die Möglichkeit ein, nutzerspezifisch definierte Kartogramme zu kreieren. Mit dieser Funktion wird für viele Nutzer wahrscheinlich die Grenze der Benutzungsfähigkeit erreicht werden, da diese in den Abfragemasken Entscheidungen treffen müssen, deren Notwendigkeit und Tragweite wahrscheinlich einem „Informationskonsumenten“ nicht immer einsichtig sein werden.

Im folgenden soll daher die grundsätzliche Problematik der nutzerdefinierten Kartenkonstruktion näher betrachtet werden, die in der Literatur oft sehr abgehoben von der eigentlichen Nutzersituation reflektiert wird [8], [9]. Es besteht wohl kaum ein Zweifel, daß die professionelle Bewältigung einer kartographischen Aufgabenstellung eine entsprechende Ausbildung, sachliche Kompetenz, aber auch Erfahrung in der visuellen Informationsgestaltung voraussetzt. Es liegt wohl auf der Hand, daß gelegentliche Benutzer kartographischer Informationssysteme – und die Mehrzahl der kartographischen Informationskonsumenten werden nur gelegentliche Nutzer sein – nicht bereit sein werden, sich speziell über kartographische Fragestellungen zu informieren, geschweige denn, sich einer Ausbildung zu unterziehen. Das hätte für die nutzerdefinierte Kartenkonstruktion unmittelbar zur Folge, daß über die „Trivialisierung der Sachfragestellung“ und über die „Simplifizierung der kartographischen Informationsgestaltung“ ein möglicher Ausweg aus diesem Dilemma gefunden werden müßte, welcher einer optimalen und sachadäquaten Informationsübermittlung nicht unbedingt förderlich wäre. Dies alles spräche zunächst dafür, die nutzerdefinierte Kartenkonstruktion in interaktiven kartographischen Systemen überhaupt nicht anzubieten und den Nutzer in der Rolle des passiven Informationsrezipienten verharren zu lassen. In „GeoInfo-Austria“ wurde ein Kompromiß angestrebt, indem komplexe Sach-

fragestellungen als professionell vorgefertigte Produkte dem Nutzer zur interaktiven Informationserschließung angeboten werden, diesem aber auch die Möglichkeit eingeräumt wird, seine explorativen Bedürfnisse an hinlänglich einfachen Fragestellungen durch eine nutzerbestimmte Kartenkreation auch „informationsgestaltend“ zu befriedigen, wobei ein von Kartographen konzipiertes Leitsystem dem Nutzer eine entsprechende Unterstützung gewähren soll. Damit wird zumindest gewährleistet, daß keine völlig unsinnigen kartographischen Lösungen entstehen können, die schlußendlich dem Informationsbedürfnis des Systemnutzers nicht gerecht werden.

Das Prozedurale der nutzerdefinierten Kartenkonstruktion wird in „GeoInfo-Austria“ zunächst dadurch eingeleitet, daß dem Systemnutzer Sachthemen Gruppen und in diesen Sachdateien zur freien Auswahl angeboten werden. Nach Auswahl einer entsprechenden Sachdatei tritt der Systemnutzer in einen „Dialog“ mit „GeoInfo-Austria“ ein, in welchem alle notwendigen Spezifikationen für die nachfolgende kartographische Visualisierung festgelegt werden. „GeoInfo-Austria“ bietet dem Systemnutzer die Möglichkeit einer räumlichen Eingrenzung eines Interessensgebietes (derzeit auf Bundesländerebene) an, für das alle nachfolgenden Berechnungsschritte und Präsentationsparameter abgestimmt werden. Das Leitsystem von „GeoInfo-Austria“ legt aufgrund des vorliegenden Datensatzes fest, ob die kartographische Visualisierung über Figuren- oder Flächensymbole zu erfolgen hat, um so eine methodisch vertretbare Lösung zu gewährleisten. Weiters legt das Leitsystem zwingend eine Wertgruppenbildung sowohl für die Absolut- wie auch Relativwertumsetzung fest, da graphische Symbolmaßstäbe infolge der schlechten Bildschirmauflösung unzuweckmäßig wären und die Primärdaten mittels interaktiver Informationserschließung ohnedies zugänglich sind. Der Systemnutzer kann zwischen unterschiedlichen Gruppenbildungsverfahren wählen sowie die Festlegung der Gruppenzahl vornehmen. Mit diesen nutzerseitigen Voreinstellungen überprüft das System, ob diese Parameter zu einer kartographischen Darstellung führen können, in welcher auch alle Wertgruppen besetzt sind, bei Figurensymbolen keine Überdeckungen entstehen, die den perzeptiven Grundsätzen entgegenlaufen etc. Die eigentlichen Graphikparameter werden erst nach Abschluß dieser Datenvorbereitungsphase vom Systemnutzer bestimmt, indem dieser aus vorgegebenen Möglichkeiten seine eigene Wahl trifft.

Diese straffe Bindung des Systemnutzers an das Leitsystem sichert die zielgerichteten Manipulationen und die Brauchbarkeit des Ergebnisses, auch wenn dadurch die Möglichkeiten des „kreativen Spielens“ gegebenenfalls etwas eingeschränkt werden (vgl. Abbildung 3).

Der Informationsbereich MEDIA-INFO war im FWF-Projekt nicht vorgesehen, da dieses nur auf die duale Nutzung von Print- und elektronischen Medien abgestellt war, so daß – letztlich auch aus monetären Gründen – lediglich exemplarische Lösungsansätze entwickelt wurden. Aufgerufen werden diese Informationen über „hot spots“ in den einzelnen kartographischen Informationsebenen. Mit einem Klick auf den „hot spot“ Krems in der Übersichtskarte erscheint ein Stadtplan, in welchem – durch unterschiedliche Symbole gekennzeichnet – über weitere „hot spots“ Informationen zu Baudenkmälern (Bilder, Texte), Beherbergungsbetrieben (inklusive Leistungs- und Preisangebote) erschlossen werden können. Der weitere Ausbau von MEDIA-INFO ist an viele Copyright-Fragen geknüpft, da diese medialen Informationsformen nicht in den unmittelbaren Bereich der Kartographie fallen.

gleicher Maßstäbe, die für ein bestimmtes Gebiet oder zu einem bestimmten Sachthema konzipiert sind. Aus Gründen der Zweckmäßigkeit sind die Kartenblätter i.a. von gleichem Format, so daß sie einfach zu einem Kartenband bzw. zu einer Kartenmappe zusammengefaßt werden können. Diese zunächst auf das Printmedium ausgerichtete Deskription des Atlas-Begriffes gilt in Prinzip mit Ausnahme des buchbinderischen Hinweises auch für das „Atlas-Informationssystem“. Die Informationserschließung bleibt – so weit diese die Wahrnehmung und Dekodierung und Interpretation betrifft – für das Printprodukt wie die Bildschirmpräsentation gleich. Für den Fall der interaktiven Informationserschließung ergeben sich für den Nutzer neue Möglichkeiten der Informationsakquisition, die einerseits in kartographischen Sekundärmodellen einen – auch multimedialen – Informationszugriff über die Kartengeometrie zu Attributen in der Informationstiefe ermöglichen, andererseits mit Einschränkungen auch einen Rückgriff auf Primärmodellaten gestatten. Ein „Atlas-Informationssystem“ ist seiner Konzeption und Anlage als kartographisches Produkt nach ein geschlos-

NUTZERDEFINIERTER ANZEIGEFUNKTION

RÄUMLICHER BEZUG FÜR DIE BERECHNUNG UND KARTOGR. GESTALTUNG

ÖSTERREICH

BUNDESLAND: Wien Burgenland Oberösterreich Kärnten Vorarlberg

Niederösterreich Steiermark Salzburg Tirol weiter

GEWÄHLTER DATENSATZ

Ant. Pendler ins Ausland / Beschäftigte insgesamt 1991

STAT. KENNGRÖSSEN DES GEWÄHLTEN DATENSATZES

Maximalwert: Minimalwert: Arithmetisches Mittel: Median:

Gesamtanzahl der ausgewählten Gemeinden: Absolutwert (Symbole) Relativwert (Flächen)

WERTGRUPPEN BILDUNG UND GRAPHIK

Festlegung des Gruppierungsverfahrens

Quantilen (default) Geometrische Progression

Arithmetische Progression Individuelle Gruppen

Schwellwerte des Gruppierungsverfahrens

Anzahl der Gemeinden pro Gruppe

<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
A	A	A	A
A	A	A	A
A	A	A	A
A	A	A	A

Festlegung der Gruppenzahl

4 Gruppen 6 Gruppen 8 Gruppen

5 Gruppen (default) 7 Gruppen 9 Gruppen

Graphikfestlegung

Symbolart und Farbe

Tonwertreihe und Farbe

aufsteigend absteigend

Abb. 3: Spezifizierung der Kartenkonstruktionsparameter für die nutzerdefinierte Kartenkonstruktion

5. Schlußbetrachtung

Unter dem Begriff Atlas versteht man in der Kartographie üblicherweise eine systematische Zusammenstellung von topographischen und/oder thematischen Karten verschiedener oder

senes System, welches nutzerseitig weder erweiterbar noch veränderbar ist. In diesem Sinne stellt ein derartiges kartographisches Informationssystem kein Werkzeug für raumbezogene geometrische oder sachbezogene Analysen dar, was zur Folge hat, daß die interak-

tive Kartometrie, aber auch die explorative Nutzung aufgrund des Maßstabsbezuges der Informationsaufbereitung relativ starken Beschränkungen unterliegen.

Im Rahmen des FWF-Projektes „Geoinformationssysteme und EDV-Kartographie“ wurde ein digitales „Atlas-Informationssystem“ aufgebaut, welches in dualer Form sowohl zur Generierung anspruchsvoller Druckvorlagen für das Printmedium wie auch zur Einbindung in ein multimediales interaktives kartographisches Informationssystem genutzt werden kann. Das zugrundegelegte Konzept erlaubt eine professionelle kartographische Bearbeitung auch komplexer Sachfragestellungen, die vom Nutzer interaktiv bis in die Primärdatenebene erschlossen werden können. Andererseits werden dem Nutzer für einfache Fragestellungen unterschiedliche Abfragemöglichkeiten über die Sachdatenbank eingeräumt, die auch die Generierung einfacher kartographischer Visualisierungen nach Nutzervorgaben umfassen. In allen diesen Aktivitäten unterstützt ein vom Kartographen geschaffenes Leitsystem den Informationsakquisiteur, um einerseits das Informationsbedürfnis möglichst schnell und zielgerichtet zu befriedigen und andererseits um sicherzustellen, daß wahrnehmungsgerechte kartographische Darstellungen für die kognitive Modellbildung generiert werden.

Literatur

- [1] *Dymon, U.J.* (1995): The potential of electronic atlases for geographical education. In: *Cartogr. Perspectives*, 20, S. 29–34.
- [2] *Fremlin, G.; Robinson, A.H.* (1998): Maps as Mediated Seeing. In: *Cartographica*, Monograph 51, 141 S.
- [3] *Jiakun, G.* (1997): The Interaction of Multimedia Maps. In: *Proceedings ICC '97*, Vol. 1, S. 556–562.
- [4] *Kelnhöfer, F.* (1994): Kartographisches Informationssystem von Österreich im Maßstab 1:1.000.000. In: *VGI*, 1 + 2, S. 71–79.
- [5] *Kelnhöfer, F.* (1995): Kartographische Informationssysteme – Ende des Printmediums Karte? In: *Int. Geodätische Woche Obergurgl 1995 (= Institutsmitt., 16)*, S. 127–141. Innsbruck, Univ. Innsbruck, Inst. f. Geodäsie.
- [6] *Kelnhöfer, F.* (1996): Geographische und/oder kartographische Informationssysteme. In: *Kartographie im Umbruch – neue Herausforderungen, neue Technologien, Beiträge zum Kartographiekongreß Interlaken '96*, S. 9–26.
- [7] *Kelnhöfer, F.; Pammer, A.; Schimon, G.* (2000): „Geoinfo-Austria“ – interaktives, multimediales, kartographisches Informationssystem von Österreich. In: *Schrenk, M.* (Hrsg.): *Computerunterstützte Raumplanung – Informationstechnologie in der und für die Raumplanung, Beiträge zum 5. Symposium CORP 2000*, 1, S. 69–75.
- [8] *Müller, J.C.* (1997): GIS, Multimedia und die Zukunft der Kartographie. In: *Kartographische Nachrichten*, 47, S. 41–51.
- [9] *Peterson, M.P.* (1995): *Interactive and animated cartography*. Englewood Cliffs. 257 S.
- [10] *Spiess, E.* (1996): Attraktive Karten – ein Plädoyer für gute Kartographie. In: *Kartographie im Umbruch – neue Herausforderungen, neue Technologien, Beiträge zum Kartographiekongreß Interlaken '96*, S. 56–72.

Anschrift des Autors:

O.Univ.Prof. Dr. Fritz Kelnhöfer, Institut für Kartographie und Reproduktionstechnik, TU Wien, Karls gasse 11, 1040 Wien



Rauminformationssystem Österreich – ein digitaler thematischer Datensatz des Staatsgebietes

Martin Seger, Klagenfurt

Zusammenfassung:

Eine das ganze Staatsgebiet umfassende Landnutzungskartierung in thematisch differenzierter Form liegt als digitales Datenset vor, das „Rauminformationssystem Österreich“. Dieses enthält im Mittleren Maßstab und z.T. erstmals die räumliche Verteilung und Struktur von bestimmten Nutzungs- bzw. Oberflächentypen. Darüber wird in Verbindung mit einem Ausschnitt aus dem Datenset (Farbkarte als Beilage) berichtet. Das Produkt wurde am Institut für Geographie der Universität Klagenfurt erarbeitet (Arbeitsgruppe Prof. Seger).

Abstract:

A landuse and landcover dataset for the entire territory of AUSTRIA is available at the Department of Geography and Regional Studies, Klagenfurt University, Carinthia. The system of land use units is represented at an outline of the data set (color map). The geometrical resolution as well as the accuracy of the delineation of the land use patches is more detailed than in any other comparable data sets. A number of land use categories are shown for the first time, such as, e.g., different classes of forests (defined by the percentage of deciduous trees versus coniferous trees) or the differentiation between arable land and grassland areas.

1. Generalinformation

Am Institut für Geographie und Regionalforschung der Universität Klagenfurt hat eine Arbeitsgruppe um Prof. SEGER im Rahmen des FWF-Forschungsschwerpunktes „Österreich-Raum und Gesellschaft“ (1994-1999) sowie des Man and Biosphere-Projektes „Grünland im Berggebiet Österreich“ (1999–2002) eine Realraumanalyse des gesamten Staates durchgeführt [1, 2]. Darüber wird hier berichtet. Ein Ausschnitt aus dem Gesamtprodukt liegt diesem Heft als Farbkarte bei, und das Werk ist wie folgt zu charakterisieren. Es handelt sich um eine

- thematische Analyse des „Realraumes“ nach Landnutzungs- bzw. Landoberflächen-Klassen,
- für das gesamte Staatsgebiet Österreichs und im Mittleren Maßstab erstellt,
- in Form eines digitalen Datensets vorliegend und zur kartenmäßigen Präsentation in digitaler oder analoger Form verwendbar,
- wobei die digitalen Daten nach Struktur und Geometrie für alle GIS-Operationen verwendet werden können.

Mit diesem Datenset steht erstmals eine landesweite Erfassung des Status quo der Landnutzung (und des „Landschaftsverbrauches“) zur Verfügung, wobei sowohl der über das Staatsgebiet gleichartige Modus der Raumanalyse als auch bislang nicht vorhandene inhaltlich-strukturelle Gliederungen der Siedlungsflächen, des Agrarraumes, der Wälder und des alpinen Höhenstockwerkes hervorzuheben sind (vgl. Kartenbeilage und deren Legende). Das staatsübergreifende Projekt ist zwangsläufig nur im „Mittleren Maßstab“ zu realisieren, was zwei Implikationen zur Folge hat: zum einen wird eine bestimmte Generalisierung bei der Erfassung räumlicher Sachverhalte erzwungen. Dies bedingt zum anderen, dass (im „Mittleren Maßstab“ gesehen) geringere Veränderungen der Nutzungsstruktur von der Generalisierung „aufgefangen“ werden, und dass die Validität der thematischen Karte darunter nicht leidet. Der Datensatz wurde aufgrund mehrerer und unterschiedlicher raumbezogener Grundlagen (Multi-Input-Ansatz), in der zweiten Hälfte der 90er-Jahre erstellt. In Ballungsräumen und bei markanten Veränderungen der Siedlungsstruktur gibt es laufende Nachführungen. Das digitale Datenset ist aufgrund einer internen hierarchischen Struktur vielfach veränderbar (z.B. Zusammenlegung von Klassen, Abänderung der visuellen Repräsentation, und die digitalen Daten ermöglichen vergleichsweise einfach eine Verbesserung des Karteninhaltes, z.B. was größere Siedlungszuwächse anlangt). Hin-

sichtlich der Validität der kartographischen Aussage wirken sowohl der Mittlere Maßstab als auch die dadurch erzwungene Generalisierung wie ein Puffer gegenüber der Vielzahl von kleinräumigen Veränderungen. Das darf bei einer gesamtstaatlichen Darstellung der Landnutzung und des Flächenverbrauches auch hingenommen werden.

Das Datenset steht für Forschungskoperationen zur Verfügung und ist darüber hinaus im Wege der universitären Drittmittelfinanzierung als Ganzes oder in Teilen erhältlich.

Der gegenständliche Beitrag stellt das Produkt (vgl. Kartenbeilage) in den folgenden Sachzusammenhang:

- Schema der Landnutzungsklassen und kartographische Generalisierung im Kontext des Mittleren Maßstabes,
- Methodik und Praxis der Erstellung des „Rauminformationssystems Österreich“,
- Grundfragen der Nutzung von raumbezogenen Landinformationsdaten.

2. Landnutzungsklassen und ihre Präsentation im Kartenmodell: Der Mittlere Maßstab und das Problem der zweifachen Generalisierung

Im Zeitalter digitaler Karten ist man vielfach der Ansicht, das Maßstabsfragen obsolet seien. Eine unzulässige Vereinfachung der Sachlage: denn sowohl bei der Erstellung der Primärdaten (Kartenaufnahme) als auch bei der stets visuellen Begutachtung eines Kartenbildes kommt dem Maßstab eine bedeutende Rolle zu, bei letzterem z.B. in der Ausgewogenheit zwischen Maßstab und Karteninhalts-Gestaltung. Das „Rauminformationssystem Österreich“ ist ein Produkt im „Mittleren Maßstab“ sowohl nach der Entwurfskartographie (dem Kartenentwurf im M 1:50.000) als auch hinsichtlich der optimalen Ausgabemaßstäbe (zwischen M 1:50.000 und M 1:200.000). In diesem Relationsbereich zwischen Objekt und Kartenmodell ergeben sich zwangsweise zwei Ebenen der Generalisierung, auf die folgend eingegangen wird:

- Die zusammenfassende *Strukturierung der Landnutzungs- bzw. Landoberflächenklassen* in ein Schema wohldefinierter Klassen oder Landnutzungstypen, und
- die *kartographische Generalisierung*, die bei der Erstellung des Kartenentwurfes einsetzt und bei der bereits der visuelle Eindruck des Kartenbildes auch in kleineren Maßstäben mit zu berücksichtigen ist.

2.1. Das Schema der Landnutzungsklassen

Die Strukturierung der Vielfalt der Landnutzung und damit die Erstellung eines Typensets an Landnutzungs- bzw. Landoberflächen-Kategorien ist eine der a priori-Arbeiten zur Realraum-analyse. Dabei gilt es mehrere Aspekte zu berücksichtigen, wie: ist ein Typusbegriff klar definiert, und ist er anhand bestimmter raumbezogener Daten und Quellen gut zu bestimmen und abzugrenzen? Oder: sind die ausgewählten Landnutzungstypen charakteristische Merkmale der Landesnatur, und stellen sie unter Umständen sogar in Bezug auf die räumliche Konfiguration nicht bekannte Landschaftsmerkmale dar? Und: welche Vorbilder für eine Landnutzungskartierung liegen vor - ist es das Begriffsschema der Flächenwidmungspläne, oder von Biotopkartierungen, oder sollen Begriffe aus der Agrar- oder Forststatistik verwendet werden. Zumindest die letzte Frage ist eher einfach zu beantworten, als Hauptkategorien der Landnutzungsanalyse wurden die folgenden Kategorien bestimmt:

Siedlungsraum
agrarischer Hauptarbeitsraum
Waldflächen
subalpin-alpines Höhenstockwerk
sonstige ausgewiesene Flächenkategorien.

Die Unterteilung dieser Hauptlandnutzungstypen ist aus der Legende der Kartenbeilage ersichtlich, in deutscher und in englischer Sprache. Mit einer knappen Definition versehen, befindet sich das Schema der Landnutzungs- bzw. Landoberflächenkategorien auch als Anhang (Kap. 6) in diesem Beitrag. Die Frage der Landnutzungsgliederung ist für Geographen nicht neu, und auch in Österreich gibt es Vorläufer und Beispiele der

Bearbeitung dieses Themas. Das betrifft sowohl die Karte zur „ökologischen Gesamtwertung“ im Österreich-Atlas von H. Bobek [3] als auch jene der Gliederung Wiens von E. Lichtenberger [4], an der sich die vorliegende Differenzierung des Siedlungsraumes in gewissem Sinne orientiert hat. Auch gibt es methodische wie praktische Beispiele (Formann-Godron [5], Zonneveld [6], Lenz et al. [7]) zu diesem Problemkreis sowie Vorarbeiten dazu: Seger u. Mandl [8], Seger [9]. Das Schema der Landnutzungsklassen stellt eine zielorientierte und übersichtliche Strukturierung der Vielfalt des Realraumes dar. Auf innovative Aspekte dieser Gliederung wird an anderer Stelle eingegangen.

2.2. Die kartographische Generalisierung

Neben der Zusammenfassung der Vielfalt der Landnutzung stellt die zeichnerisch-kartographische Vereinfachung den anderen Teil der oben angeführten zweifachen Generalisierung dar. Ihr Ziel ist es, ein ansprechendes Kartenbild zu erzeugen, sowohl unter Berücksichtigung der Bedingungen des Kartenentwurfes als auch hinsichtlich der später verkleinerten Wiedergabe (Kartenentwurf 1:50.000, Wiedergabe mit Abstrichen variabel verkleinerbar, vgl. auch Beispiel in der Kartenbeilage). Das Ziel eines generalisierten Kartenbildes führt u.a. dazu, dass Vorlagen aus topographischen Karten im M 1:50.000 nicht übernommen, sondern bearbeitet werden mußten, man denke an schmale Waldstreifen, an das Bild aufgelockerter Siedlungen usw. Für die Erstellung eines Kartenentwurfes gelten die Hinweise, die in einem „Kasten“ zusammengefasst sind.

Richtlinien zur Erstellung eines thematischen Kartenentwurfes

Der Kartenentwurf bezieht sich auf ein Schema der *Landnutzungs- bzw. Landoberflächenklassen*, und die einzelnen Klassen sind hinreichend definiert (vgl. Anhang). Der thematische Kartenentwurf beginnt mit der Ausgrenzung der Oberklassen Siedlung und Wald. Dabei gelten die folgenden Regeln:

1. Zur Erstellung eines Polygon-Layers

- Beim *Ausgrenzen der Polygone* im M 1:50.000 ist ein Ausgabemaßstab 1:100.000 zu beachten.
- Kleinste Polygone: ca. 2x3 mm in 1:50.000 (ca. 100x150 m).
Kleine Flächen: Bei *Siedlungsflächen* als „Siedlungssplitter“ festhalten (Punktsignatur)
Bei Wald: weglassen oder benachbarter Waldfläche zuschlagen.
- *Hüll-Linien, Erfassung und Generalisierung:* Nutzung aller relevanter Daten. Hochzeichnen aus rezenten ÖK-Blättern. Siedlung: wenn „Einsprünge“ in den Siedlungsflächen zu klein (< 2 mm in 1:50.000), dann in den Siedlungsraum mit einbeziehen. Analoges Vorgehen bei lockerem Siedlungsverband. Hausgärten etc. sind Teil der Siedlungsfläche.
- *Wald:* Wenn Waldstreifen zu schmal (< 2mm), dann Darstellung als lineares Element (Waldstreifen, Hecken, Windschutzgürtel).

2. Zur wechselseitigen Beziehung von Objekten und Attributen
(Polygone = Objekte, Landnutzungstypen = Attribute)

Nutzungstyp („Attribut“) einer Fläche:	kartographische Form einer Nutzungsfläche:	Handlungs-Anweisung:
eindeutig	angemessen	Polygon zeichnen und codieren
eindeutig	zu „zerrissen“	Polygon generalisieren
eindeutig	zu klein	weglassen bzw. dazuschlagen
mehrdeutig, Gemenge	aufteilen möglich? ja	Polygon teilen und codieren
mehrdeutig, Gemenge	aufteilen möglich? nein	Begriffserweiterung der Attributsklassen: neue „Mischklasse“

3. „Best practice“: Zum methodischen Prozedere bei der Erstellung des Datensets zur Bestandaufnahme der Landnutzung

Will man das Charakteristische an der Daten- und Kartenproduktion der Landnutzungsanalyse „Rauminformationssystem Österreich“ herausstellen, dann sind es drei methodische Ansätze, die das Werk kennzeichnen:

- a. Nutzung von Synergien im Produktionsablauf,
- b. Verknüpfung tradierter Techniken mit der Anwendung von High Tech,
- c. Erstmalige kartenmäßige Präsentation bestimmter Landoberflächen-Kategorien.

ad a. Synergien

Die Raumgliederung nach einem Set von Landnutzungstypen benötigt raumbezogene Datenquellen, aus denen ein Nutzungstyp erkennbar und abgrenzbar abgeleitet werden kann. Im gegenständlichen Projekt kommt diesbezüglich ein „Multi-Input-Ansatz“ zum Tragen: unterschiedliche Quellen werden für die Analyse nach Oberflächenklassen herangezogen, so Landsat TM- und KFA1000-Satellitenbilder, topographische Karten und Stadtpläne, Flächenwidmungsinformationen und Luftbilder. Zudem wurde zumindest in allen Ballungsräumen des Landes vor Ort kartiert. Der Multi-Input-Ansatz ist notwendig, um die nachgefragten Nutzungsklassen angemessen ausweisen zu können. Er führt unterschiedliche räumliche Informationen zusammen. Wie die Resultate zeigen, ist der Multi-Input-Ansatz dem Mono-Daten-Ansatz (der Verwendung von Fernerkundungsdaten alleine, z.B.) überlegen. Ein weiterer Synergieeffekt des Projektes liegt in der Auslagerung von Arbeitsschritten dorthin, wo die besseren technologischen Voraussetzungen gegeben sind. Konkret wird damit die Kooperation mit Prof. Kelnhofer angesprochen. Am IKR der TU Wien wurden die Kartenentwürfe der Klagenfurter Arbeitsgruppe (Strichkarten im ÖK 50-Blattschnitt) gescannt. Die digitalen Daten wurden an-

schließend in Klagenfurt weiterbearbeitet, doch dazu die folgenden Zeilen.

ad b. Kartenentwurf und digitale Daten

Die vorliegende Rauminformation zur Landnutzung in Österreich beruht auf einem eigenen Kartenentwurf. Das heißt, alle Polygone und Linienzüge wurden als Strichkarte angefertigt, wobei für jedes Gebiet zwei Kartenlayer (Polygonlayer, Linienlayer) herzustellen waren. Die Strichkarten folgen dem Blattschnitt der ÖK 50, auf der auch die grundsätzliche Geometrie des neuerstellten Datensatzes beruht. Nach dem Scannen der Strichkarten an der TU Wien (eine Kooperation im Rahmen des erwähnten FWF-Forschungsschwerpunktes) wurden die Daten nach der Geometrie der Meridianstreifen M28, M31, M34 rektifiziert, mit Attributen versehen und zu einem Datenset zusammengefügt.

Dieses Vorgehen, nämlich eine traditionelle Entwurfskartographie für eine komplexe thematische Karte eingangs zu wählen, und anschließend von den High Tech-Möglichkeiten des Geoinformationswesens Gebrauch zu machen, hat sich gut bewährt. Allerdings wurde vielfach die Frage aufgeworfen, warum nicht bereits eingangs digitale thematische Daten verwendet wurden. Mehrere gute Gründe sind es, warum davon Abstand genommen wurde. Einer der Hauptgründe ist die ungeneralisierte Form solcher Daten, und das Zusammenfügen von digitalen raumbezogenen Daten aus unterschiedlichen Quellen führt zu einer Fülle von kartographischen Detailproblemen. Der digitale Prozess, die Verschneidung von (rektifizierten) Datensätzen alleine, ist an sich unproblematisch. Aber auch die Kostenfrage des Datenankaufes hat den Entschluss zum eigenständigen Kartenankauf bestärkt.

ad c. Neue Inhalte

Das „Rauminformationssystem Österreich“ birgt in sich eine Reihe von Differenzierungen der Landbenützung, die im Mittleren Maßstab bislang

nicht bekannt waren, und schon gar nicht über die gesamte Staatsfläche. Vier Inhaltsbereiche sind dabei vorrangig zu nennen, die Differenzierung der Siedlungsflächen, des Agrarraumes, der Wälder und des alpinen Höhenstockwerkes (vgl. Kartenbeilage und den Anhang zu diesem Beitrag). Die Gliederung von *Siedlungsflächen* nach baulich-funktionellen Kriterien ist ein klassisches Aufgabefeld der Stadtgeographie. Stadtpläne aller größeren Siedlungen und rezenter Bildflüge der Großstädte wurden für diesen Analysebereich benutzt. Im *Agrarbereich* zeichnet sich die Nutzungsanalyse durch eine Differenzierung der Acker-Grünland-Relation aus, die aufgrund der KFA 1000-Bilder (und von Landsat TM-Bildern) vorgenommen wurde. Eine stete Plausibilitätskontrolle dazu bietet die gemeindebezogene Agrarstatistik. Durch die Acker-Grünland-Differenzierung wird die vielfach geländebedingte und daneben klimabedingte Trennung dieser grundsätzlichen Landnutzungsformen im Kartenmodell gut wiedergegeben. Es versteht sich, dass dabei nicht parzellenscharf, sondern über die visuelle Interpretation der Satellitenbilder nach Landschaftskriterien abgegrenzt wird. In ähnlicher Form wird das alpine *Höhenstockwerk* gegliedert, wobei der Deckungsgrad der Vegetation und die Durchsetzung des alpinen Grünlandes mit Gehölzen eine Rolle spielen.

Von besonderer Bedeutung aber erscheint die Gliederung der *Waldflächen*, stellen doch Wälder den dominanten Anteil an der Staatsfläche dar. Nach Beratungen mit Spezialisten der Forstlichen Bundesversuchsanstalt wurde festgelegt, die Waldflächen nach den dominanten Gehölztypen (vgl. Kartenlegende) zu differenzieren. Dazu konnten rezente Farbinfrarot-Bildflüge des BEV ausgewertet werden, eine Arbeit, die von Experten aus der Zeit der Waldschadensforschung durchgeführt wurde. Im Luftbild erkannte und

abgegrenzte Waldareale wurden mit Hilfe korrelativer topographischer Merkmale in den Maßstab 1:50.000 übertragen. Die Qualität dieser Analyse wurde bereits bei einer Nutzung dieser Areale für eine Vegetationskarte überprüft. So wie bei der Interpretation der Luftbilder nach Waldtypen wurden übrigens bestimmte Interpretationen der Klagenfurter Arbeitsgruppe stets für dieselben Analyseaufgaben herangezogen. Dadurch ist ein gleichbleibender Duktus im jeweiligen Teil des Kartenentwurfes sichergestellt.

4. Zur wissenschaftlich-praxisbezogenen Nutzung des Datensatzes „Rauminformationssystem Österreich“

Das Ergebnis der Landnutzungsanalyse (ein Produktbeispiel stellt die Kartenbeilage zu dieser Präsentation dar) ist ein neuartiges Bild des Landes: thematisch vielfältig, GIS-kompatibel und im regionalen Maßstab gehalten. Ein Überblick über Landschaft und Landnutzung in Österreich an der Schwelle zum Dritten Jahrtausend. Ein Bild auch der Siedlungsentwicklung und Zersiedelung, und der Landoberflächen in den weiten Bereichen außerhalb des Dauersiedlungsraumes. In diesem Zusammenhang stellen Daten und Karten dieser Realraumanalyse gewiss wertvolle Informationen dar – sowohl für die Regionalplanung auf Länderebene als auch dann, wenn es darum geht, dass der Staat die Problematik eines Alpen- und Gebirgslandes auf internationaler Ebene visualisieren will. Was aber unterscheidet eine Landnutzungskarte von den Statistiken, in denen bestimmte Merkmale zur Landnutzung ja ebenfalls enthalten sind. Drei Antworten dazu:

- Die thematische Karte in digitaler oder analoger Form zeigt die Raumstruktur bestimmter Landnutzungsmerkmale, ihre Vernetzung und

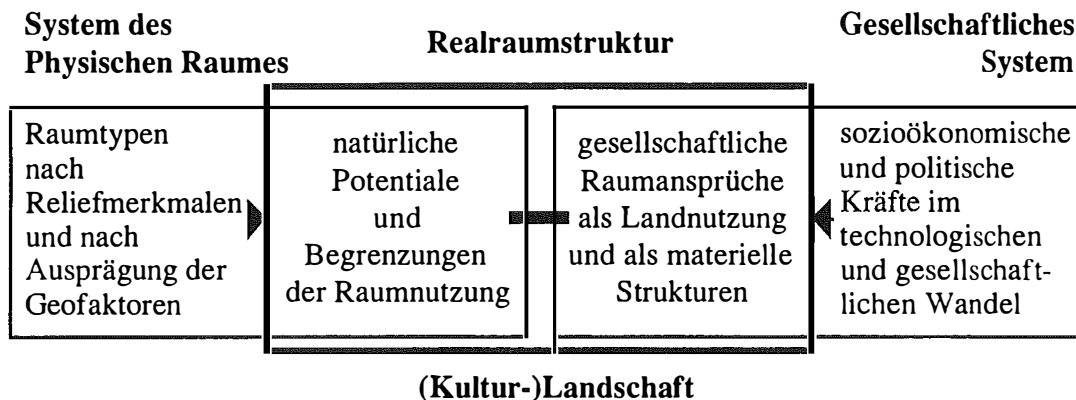


Abb. 1: Erklärung der realen Landschaftsstruktur (der Struktur der Kulturlandschaft) durch die Wechselwirkungen von Gesellschaft und Physischem Raum. In Anlehnung an Messerli [10] und Schaller [11]

- ihre Nachbarschaftslagen, die Polyongestalten und Distanzen zu anderen Objekten u.a.m.
 - Die digitale Struktur des Rauminformationssystems erlaubt zugehörige Flächen-, Entfernungs- und Vergesellschaftungsberechnungen, und die Anwendung des gesamten GIS-Repertoires.
 - Was die ausgewiesenen Flächentypen anlangt, sind darunter etliche, die es in keiner Statistik gibt. Die Statistiken selbst sind stets auf bestimmte administrative Einheiten ausgerichtet, und damit ohne konkreten Lagebezug. Welcher Erklärungswert, lautet eine andere Frage, wohnt den Daten des „Rauminformationssystems“ inne? Auch darauf eine dreifache Antwort:
 - Das Bild der Landnutzungs-Raumstruktur alleine vermittelt anschaulich und eindringlich, wie wir mit unserer Landesfläche umgehen, wo die Zersiedelung besonders augenfällig ist, etc. Gunst- und Ungunsträume können erkannt werden, und für Leitbilder der Regionalplanung ist die Darstellung des „Status quo“ hilfreich.
 - Daneben erschließt sich mancher Erklärungswert des Datensatzes erst in Kombination mit anderen Daten, wobei das digitale Höhenmodell und administrative Einheiten vorrangig zu nennen sind.
 - Insgesamt stellen das Muster der Siedlungsflächen, die Differenzierung der Landnutzung und die Lage anderer Objekte des Realraumes ein *Modell der regionalen Kulturlandschaft* (im Mittleren Maßstab) dar, denn ein großer landeskundlicher Erklärungswert innewohnt: das Kartenbild zeigt das Ausmaß der Inanspruchnahme des Raumes durch die Gesellschaft. Darin mit enthalten ist die historisch-genetische Entwicklung der Kulturlandschaft ebenso wie die unterschiedliche Landesnatur.
- In diesem Sinne fordert die thematische Karte der Landnutzung und der Landoberflächen geradezu die Frage heraus, welche einander wechselseitig beeinflussenden Kräfte zu einer bestimmten Kulturlandschaftsstruktur führen. Als ein Erklärungsansatz dazu (und als ein Beitrag



Abb. 2: Nutzungsflächen (Areale unterschiedlichen Nutzungstyps) sind die kleinsten räumlichen Einheiten der Landnutzungserfassung. Welch unterschiedliches gesellschaftliches Interesse an jeder Flächeneinheit bestehen kann, veranschaulicht diese Graphik

zu einer „Theorie der Landnutzung“) wird das Schema der Wechselwirkung von gesellschaftlichem System und Naturraum (dem Physischen System) vorgestellt (Abb.1). In diesem führt das Zusammentreffen von gesellschaftlichen Raumansprüchen (für den Nahrungserwerb, die Siedlungstätigkeit etc.) mit den natürlichen Potentialen eines konkreten Raumes zu jener Konfiguration der Raumnutzung, die uns als Struktur der Kulturlandschaft entgegentritt.

Im Zusammenhang mit der wissenschaftlich-praktischen Bedeutung des vorgestellten Produktes wird abschließend auf die Bedeutung einzelner Nutzungstypen bzw. Nutzungsareale eingegangen: sie sind *Indikatoren* für bestimmte Kräfte dahinter, und an ihnen besteht ein *vielseitiges und unterschiedliches Interesse* von Seiten bestimmter Gruppen der Gesellschaft. Was die

Indikatorfunktion eines Landoberflächentyps anlangt, stehen dahinter Geo- und Biofaktoren, Ausprägungsformen von Ökosystemen und die Vielfalt von Lebensraumtypen. Mit zunehmender wirtschaftlicher Nutzung treten die ökonomischen Interessen der Gesellschaft in den Vordergrund, stets aber noch in deutlicher Abhängigkeit von natürlichen Faktoren (des Reliefs, der edaphischen und klimatischen Verhältnisse usw.). Zugleich sind die Flächen juristische Objekte – sowohl im Sinne des Grundbesitzes als auch der Raumordnung, und nicht zuletzt Elemente der visuellen Wahrnehmung und Bestandteile dessen, was als Landschaftsbild von landeskulturellen wie von touristischem Interesse ist. All dies wird in der Abb.2 abschließend verdeutlicht: um darauf hinzuweisen, dass hinter dem „Rauminformationssystem Österreich“ mehr steht als nur ein Kartenbild.

5. Anhang: Das Typenset des Rauminformationssystems

Beschreibung der Landnutzungs- bzw. Siedlungskategorien für die thematische Flächennutzungs- bzw. Landoberflächen-Karte

1. SIEDLUNGSRAUM

1.1 Vorwiegend geschlossene Bebauung (Siedlungskerne, Ortszentren, Sammelsiedlungen): *Dominanz des Siedlungsgrundrisses bei der Abgrenzung. Siedlungszentren bzw. dörfliche Sammelsiedlungen. Lückenlose Reihung oder dichte Scharung von Gebäuden unterschiedlicher Nutzung und verschiedenen Baualters, gelegentlich unterbrochen von einzelnen freistehenden Objekten.*

- **Stadtkerne.** Historische Zentren und Vorstädte der Gemeinden mit Stadtrecht aufgrund der vorindustriell-dichten Bebauung, und unbeschadet verschiedener Umgestaltungen.
- **Sonstige Ortskerne.** Meist Zentren von Marktorten, in der Regel gut gegen das Umland abgrenzbar.
- **Ländliche Sammelsiedlungen,** so Straßen- und Angerdörfer im Osten Österreichs, einschließlich der zum Ortsverband gehörigen Hausgärten und Scheunenzellen sowie einschließlich von Ortserweiterungen, sofern diese nicht gesondert dargestellt werden. Klare Abrenzung gegenüber dem Umland beziehungsweise gegenüber anderen Bebauungsformen, z.B. in topographischen Karten.
- **Zentren nicht geschlossener ländlicher Siedlungen.** Dorfkern von Ortsgemeinden, dichte Bebauung im Zentrum von Haufendörfern, an Hauptstraßen, um Kirchen etc. Abgrenzung dort, wo sich die Bebauungsdichte ändert. Dorfzentren nur dort, wo zumindest eine Filialkirche im Ortskern vorhanden ist. Dieser Typus tritt im Bereich der Sammelsiedlungen nur dort auf, wo Hinweise auf den Straßendorf-Typ fehlen.
- **Unvollkommene Straßendörfer.** Im Randbereich der Sammelsiedlungen dort, wo diese in das Bergland übergehen (Niederösterreich). Gegründete, „kompakte“ Ortsanlage noch im Ortsbild erkennbar und auch in der topographischen Karte.
- **Kettendörfer, lockere Sammelsiedlungen.** Zeilenförmige, z.T. unterbrochene Siedlungsbänder entlang von Straßenzügen oder auf Höhenrücken (Steiermark, Burgenland). Dort Typus „Berghäuser“, zur Siedlungskette verdichtet vielfach erst in jüngerer Zeit. Übergang zum Bebauungstyp der Einzelhausgebiete fließend. Kettendörfer aber stets auch mit Gehöften in Zeilenlage, was in den topographischen Karten des Mittleren Maßstabs gut zum Ausdruck kommt.

1.2 Sonstige städtisch-dichte Bebauung

Überwiegend geschlossen bebaute Siedlungsfläche. Städtisches Gebiet der Reihenhausbauung, Gründerzeit-Viertel in den Großstädten, überbaute Vorstädte, inklusive aller jüngeren baulichen Veränderungen. Außen-grenze der dichten Bebauung des 19. Jh. und Übergang zu lückiger Bauweise nach Luftbildern und Karten eindeutig feststellbar.

- **Städtische Verdichtung, Mengung von Wohnblöcken und Reihenhäusern mit Flächen offener Bebauung.** Typischer Fall der rezenten Verdichtung einer (älteren) Einzelhaus-Peripherie durch dazwischengestellte oder randlich angelagerte mehrgeschoßige Objekte oder durch andere Formen des verdichteten Bauens; in der Regel bei Dominanz der Wohnfunktion. Ausdruck des Trends zur intensiveren Flächennutzung. Häufige Mengung der Bauungsformen ungleichen Baualters. Auch angewendet, wenn mehrgeschoßige „Wohnsiedlung“ flächennäßig zu klein ist, um gesondert ausgewiesen zu werden.
- **Große mehrgeschoßige Wohnanlagen unterschiedlicher Bauperioden.** Wohnkomplexe ab Baualter Zwischenkriegszeit inklusive zugehöriger Freiflächen und Versorgungseinrichtungen, auch Reihensiedlungen.

Im „Mittleren Maßstab“ können nur auffällige Wohnanlagen erfaßt werden, und die interessante Differenzierung nach dem Baualter kann nur Gegenstand einer weiterführenden Kennzeichnung sein.

- **Städtische Verdichtung nach funktionalen und strukturellen Merkmalen.** Erweiterung der Stadtkernmerkmale (tertiärer Sektor, dichte Bebauung) in anschließende Stadtbereiche und analoge Verdichtungsformen.
- **In der Agglomeration aufgegangenes Dorf.** Vom Grundriß her noch als ehemaliges Dorf (meist Siedlungsanlagen) erkennbar, vielfältig umgestaltet und von Bauland umgeben. Resultat des Siedlungswachstums in den Ballungsräumen.

1.3 Vorwiegend offene Bebauung

- **Offene Bebauung ohne nähere Differenzierung.** Einzelhausgebiete unterschiedlicher Prägung, Dominanz der Wohnfunktion. Auch Mehrparteien-Wohngebäude und diverse andere Nutzungen mit eingeschlossen.
- **Größere einförmige Einzelhausgebiete.** „Siedlungshaus“-Flächen vornehmlich bzw. vormals bescheidenen Zuschnittes. Größere Gebiete kleinflächiger Parzellierung. Stadtrand-Typus ab Zwischenkriegszeit, heute vielfach in Aufwertung begriffen. Bauungsform vornehmlich des Randes der Agglomerationen.
- **Siedlungssplitter.** Weiler, Gutshöfe, kleine Hausgruppen. Kleine Siedlungsflächen (bis zu etwa 100x150 m als kleinste Fläche, Abmessungen aus Luftbild bzw. Karte geschätzt) codiert unter „offene Bebauung“ (1.3.1). Noch kleinere Flächen, bzw. einzelne Gehöfte oder Gebäude in Streulage dargestellt als Punktsignatur (Kreis, Innenfarbe analog 1.3.1).
- **Mischgebiet von Wohn- und Betriebsfunktion.** Gemischte Bebauung, wie sie häufig am Rande von Ortschaften oder längs der Ausfallstraßen zu finden ist.
- **(Ausgeprägte) Kellergassen.** Im Osten Österreichs vielfach in der ÖK 50 gut dokumentiert, meist abseits der örtlichen Siedlungsfläche gelegen oder daran anschließend.
- **Extensive periphere Nutzungen.** Gebiet des „weichen Randes“ der Großstädte, Flächen der Nichtnutzung bzw. des Nutzungswandels, der Brache nach vorheriger Nutzung bzw. der Inwertsetzung. Auch kleinere Sportflächen und andere Zwischennutzungen.

1.4 Betriebsgebiete

- **Betriebsgebiete i. allgem.:** Produktions-Dienstleistungsfunktionen und alle ähnlich genutzten Flächen, die nicht unter den folgenden Punkten erwähnt sind.
- **Stadtrand-Verbrauchermärkte** und zugehörige Nutzungen, sofern flächenmäßig gesondert darstellenswert.
- **Abbau- und Deponieflächen:** Steinbrüche, Schottergruben, Müllablagerungsplätze lt. Flächenwidmungsplan.
- **Gärtnereien, Baumschulen:** Nur größere Betriebe erfaßbar und darstellungswürdig. Feldgemüsebau von Gärtnereien sowie Baumschulflächen im Agrarraum nicht differenziert.

1.5 Flächen der öffentlichen Hand

- **Größere Objekte und Anlagen** der öffentlichen Hand.
- **Sonstige größere Flächen** der öffentlichen Hand (z.B. Übungsgelände im Anschluß an Kasernen).

1.6 Grünraum im Siedlungsverband

- **Sportanlagen, Freizeiteinrichtungen** von entsprechender Größe
- **Freizeitwohngebiete**, z.B. an Badeteichen und im Bergland, Zweithausansiedlungen (meist als solche gewidmet)
- **Öffentliche Parkanlagen** von entsprechender Größe
- **Kleingartenanlagen.**

1.7 Historische Anlagen

- Kulturelle Einrichtungen und Sehenswürdigkeiten, Schlösser und Klöster, vielfach mit zugehöriger Parkanlage. Unabhängig i.d. Regel von derzeitiger Nutzung und der Frage der Zutrittsmöglichkeiten.

1.8 Verkehrsflächen

- **Autobahnen und Schnellstraßen** zusammengefaßt und als Polygone ausgewiesen, inklusive der Flächen von Kreuzungen und Abfahrten.
- **Tunnelstrecken** der Autobahnen und Schnellstraßen. Tunnelstrecken können unterschiedlich zum oberirdischen Verlauf des Verkehrsweges dargestellt werden. Zugleich bleibt der ununterbrochene Verlauf des Verkehrsweges erhalten, was für spätere GIS-Berechnungen von Bedeutung ist.
- **Bahnhöfe:** Bahnareale größerer Ausdehnung
- **Flugplätze** mit Linienverkehr. Andere Flugplätze siehe Sportflächen. Militärflughäfen unter „Sonstige Flächen der öffentlichen Hand“.

2. AGRARRAUM

Drei Merkmalebenen: Acker-Grünlandverhältnis, Reliefverhältnisse, Sonderkulturen

- **Acker-Grünland-Verhältnis** in fünf Abstufungen. Bezeichnungen erklären sich selbst (vgl. Legende). Angegebene Prozentwerte abgeschätzt. Interpretationsgrundlage: Satellitenbilder. Abgrenzung der Polygone als „weich“ zu sehen. Vielfach in Anlehnung an die Relieftypologie abgegrenzt, weil damit häufig ein Wechsel des Acker-Grünland-Verhältnisses verbunden ist. Kontrolldaten: Bodennutzungsstatistik nach Gemeinden.

- **Grünland** außerhalb (meist auch: oberhalb) des Dauersiedlungsraumes. Vor- und Zwischenalmen, Maiensässe. In der Regel im Waldgürtel gelegen.
- **Relieftypisierung des Agrarraumes.** Vier Kategorien der Hangneigung:
Verebnungen, flach bis sanft geneigt (bis ca. 2°). Z.B. Quartäre Terrassen und Fluren, andere Verebnungsflächen, Talböden inkl. deren Randbereiche.
Welliges und schwach geneigtes Gelände (ca. 2°–5°), häufig in den Vorländern sowie in den Durchgangslandschaften des Berggebietes.
Kuppirtes Gelände und mäßig geneigte Hangzonen (ca. 5° bis unter 15°).
 Unterschiedliche Neigungs- und Expositionsverhältnisse.

Dominanz steiler Hanglagen und Talflanken (über 15°), auch Rücken und Hangleisten der montanen Zone. Die Hangneigungsverhältnisse werden durch eine unterschiedlich dichte Scharung von Punkten dargestellt. Die Neigung wurde aus den Höhenlinien-Abständen abgeschätzt und stellt nur eine überschlägige Angabe der Hängigkeit dar. Im Nordosten zusätzlich angeführt:

Höhergelegene Flächen geringer Neigung, ältere quartäre Terrassenfluren, Plateauflächen, „Mittelgebirgs“-Terrassen, und ähnliche höher gelegene Verebnungen. Gunstlagen.

Sonderkulturen:

- **Weinbauflächen und Acker-Weinbau-Komplexe** (Grünlandparzellen und andere Spezialkulturen zum Teil enthalten).
 Mit lockerer Signatur (Striche): eben bis schwach geneigt, mit enger Signatur: mäßige bis steile Hangneigung.
- **Obstbau sowie Acker-Sonderkultur-Komplexe** (wie z.B. in der West- und Oststeiermark; Mengung der Sonderkulturen mit kleinflächigen Feld- und Wiesenparzellen)
 Mit lockerer Signatur (Kreise): eben bis schwach geneigt, mit enger Signatur: mäßige bis steile Hangneigung.

3. WALDFLÄCHEN

Differenzierung der Waldflächen nach dem Bestandshabitus. Dazu wurden im gesamten Berggebiet die rezenten (1992–1996) aufgenommenen Farbinfrarot-Luftbildmeßflüge des BEV ausgewertet und in den Maßstab 1:50.000 interpretativ übertragen. Kern der Walddifferenzierung ist die Ausgrenzung von Bestandesflächen nach der Dominanz des Laubgehölz- bzw. Nadelgehölzanteiles, in 4 Stufen zwischen „Laubwald“ (ca. 85% Laubgehölze) und „Nadelwald“ (ca. 90% Nadelgehölze). Daneben „Mischwald“, je eine Klasse mit Dominanz der Laub- oder Nadelbäume. Ferner flussbegleitende Gehölze und in der Höhe: montan-subalpines Buschwerk (Erlenbusch). Felsdurchsetzte Wälder bzw. Felsflanken mit Waldbestockung durch zwei weitere Klassen (Nadelwald/Laubwald) hervorgehoben. Schmale Waldstreifen sowie Hecken und Windschutzstreifen: als grüne Linien dargestellt.

- **Nadelwald:** Nadelbäume etwa 90%
- **Laubwald:** Laubbäume etwa 85%
- **Mischwald, Nadelwald dominiert**, d.h. über 50% Nadelbäume
- **Erlenbuschwerk** (z.T. mit Krummholz, z.T. baumdurchsetzt), meist innerhalb der Waldgrenze
- **Nadelwald felsdurchsetzt**
- **Misch- und Laubwald felsdurchsetzt**
- **größere Bestände flussbegleitender Gehölze**
- **Mischwald, Laubwald dominiert**, d.h. über 50% Laubbäume
- **Moorflächen mit Gehölzbestand** bzw. im Waldbereich

4. SUBALPIN-ALPINES HÖHENSTOCKWERK

- **Gletscher**, nach rezentem Stand und Spätsommer-Satellitenbildern. Kleinere Veränderungen im M 1:50.000 nicht erfaßbar.
- **Felsgelände u. Geröllhalden**, Schutzzone, Pioniervegetation. Eine in Westösterreich flächenmäßig umfangreiche Landoberflächenklasse, die weiter untergliedert werden sollte (Anstehendes – Lockermaterialien z.B.)
- **Felsdurchsetzte magere alpine Rasen**, vielfach geringer Deckungsgrad der Vegetation
- **Alpine Rasen und Heiden** in geschlossener Vegetationsdeckung. Hauptgebiete der bewirtschafteten Almen.
- **Alpine Rasen in Mengung** mit Krummholz
- **Flächige Krummholzbestände**
- Mengung von **alpinen Rasen mit Baumgruppen**. Gebiet zwischen aktueller und potentieller Waldgrenze
- **Mengung von Grünerlen u. Krummholz** mit Rasen- u. Felsgelände, Kampfzone des Waldes, oberhalb bzw. außerhalb der geschlossenen Waldzone.
- **Grünlandbereiche** außerhalb des Dauersiedlungsraumes, Vor- und Zwischenalmen, meist im Waldbereich
- **Moore** im subalpin-alpinen Bereich

5. SONSTIGE FLÄCHEN

- **Gewässer:** stehende Gewässer bzw. größere Fließgewässer als Polygone
- **Sport- und Freizeitflächen:** Golfplätze als neuer Flächenanspruch, daneben Motor- u. Flugsportgelände u. andere Sportflächen

- **Wintersportgelände:** Lage und Verlauf von Schipisten nach unterschiedlichen Quellen, differenziert nach der Umgebung; auf Gletschern/in der Hochregion/der Almzone/im Wald- u. Grünlandbereich.

6. LINEARE STRUKTUREN

- **Straßenzüge:** „Hauptverbindungen“ und „Nebenverbindungen“ in Anlehnung am Straßenaufdruck der ÖK 50. Amtliche Einteilung (z.B.: Bundes- u. Landesstraßen) nicht zielführend. Autobahnen und Schnellstraßen als Polygone dargestellt, bei „Verkehrsflächen“. Tunnelstrecken gesondert erfaßt und ausgewiesen.
- **Eisenbahnlinien:** Strecken-Differenzierung nach Beförderungskategorien aufgrund rezenter Informationen der ÖBB. Tunnelstrecken gesondert ausgewiesen.
- **Fließgewässer:** Drei Kategorien nach der durchschnittlichen Durchflussmenge, benannt als: Hauptfluss und wasserreicher Nebenfluss/Oberlauf, Neben- u. Zufluss von Hauptflüssen/Bach. Breite Fließgewässer als Polygone ausgewiesen; Traun und Enns z.B. auf dem Blatt „Linz“ (Kartenbeilage).

Literatur

- [1] *Seger, M.* (1999): Landinformationssystem Österreich – ein neuer Datensatz für regionale Raumordnungsfragen. In: CORP 99 Computergestützte Raumplanung. Symposiumsbericht TU Wien, S. 423–426.
- [2] *Seger, M.* (2000): Rauminformationssystem Österreich - digitaler thematischer Datensatz des Staatsgebietes fertiggestellt. In: Strobl/Blaschke/Griesebner (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg. Wichmann Verlag, Heidelberg. S. 465–468.
- [3] *Bobek, H. u. G. Mras* (1979): Ökologische Gesamtwertung. Atlas der Republik Österreich, 6. Lief. Verlag Freytag-Berndt, Wien.
- [4] *Bobek, H. u. E. Lichtenberger* (1960): Wien. Verbauungstypen 1:50.000. Atlas der Republik Österreich VI/10. Freytag-Berndt u. Artaria, Wien.
- [5] *Forman R. u. M. Godron* (1986): Landscape Ecology. J. Wiley & Sons Verl. New York, 619 S.
- [6] *Lenz R., Riedel B. u. U. Voerkelius* (1990): Landschaftsanalyse mittels Ökosystemtypen und -potentialen und ihre Bedeutung für die Planung. In: Landschaft + Stadt, 22, 3, S. 84–87.
- [7] *Zonneveld I.S.* (1979): Land Evaluation and Land(scape) Science. Enschede, Holland, International Training Center (ITC).
- [8] *Seger, M. u. P. Mandl* (1994): Satellitenbildinterpretation und ökologische Landschaftsforschung. Ein konzeptiver Ansatz und die Fallstudie Peloponnes. In: Erdkunde 48/2, S. 34–47.
- [9] *Seger, M.* (1987): Die Landschaftselemente der Nationalparkregion Hohe Tauern. Eine landschaftsökologische Raumgliederung nach Farbinfrarot-Orthofotokarten im M 1:10.000. Erläuterungen zum Kartenwerk „Landschaftselemente“. In: ÖBIG (Hrsg.): Nationalpark Hohe Tauern-Infrarot-Orthofotokarte und Bildanalyse für die Landschaftsplanung, 18 S., Verlag Frick-Man, Wien.
- [10] *Messerli, P.* (1986): Modelle und Methoden zur Analyse der Mensch-Umwelt-Beziehungen im alpinen Lebens- und Erholungsraum: Erkenntnisse und Folgerungen aus dem Schweiz. MAB-Programm 1979-1985 (= Nat. Forschungsprogramm d. Schweiz. Nationalfonds, Nr. 25).
- [11] *Schaller J.* (1985): Anwendung Geographischer Informationssysteme an Beispielen landschaftsökologischer Forschung und Lehre. In: Verhandlungen d. Ges.f. Ökologie (Bremen 1983), S. 443–464.

Anschrift des Autors:

Univ.Prof. Dr. Martin Seger: Institut für Geographie und Regionalforschung, Universität Klagenfurt, Universitätsstraße 65-67, A-9020 Klagenfurt. email: martin.seger@uni-klu.ac.at



Vermessung von Massenrohstoff-Abbauen mittels hochauflösender Fernerkundungsdaten

Sebastian Pfeleiderer und Gerhard Letouzé-Zezula, Wien

Zusammenfassung

Die Vermessung von Abbaustätten mit Hilfe von hochauflösenden Fernerkundungsdaten wird am Beispiel einer Kiesgrube im Wiener Becken demonstriert. Über drei Jahre hinweg werden die Abbaufortschritte in Fläche und Volumen bestimmt. Geocodierte Luftbilder und IKONOS-Satellitendaten dienen als Grundlage zur Planimetrierung im geographischen Informationssystem (GIS). Zusammen mit Abbautiefen, die einerseits aus Vermessungsplänen entnommen, andererseits aus Schattenlängen berechnet sind, werden Abbauvolumen ermittelt. Der Vergleich mit Firmenangaben zeigt gute Übereinstimmung zwischen tatsächlichen und mittels Fernerkundung abgeleiteten Daten. Die Abweichungen betragen =1% für längere Zeitintervalle und 6% für kurze Zeitabschnitte.

Abstract

Air photos and satellite data with high ground resolution have been used to determine area and volume of a gravel pit over the last three years. The images are imported into a geographic information system (GIS) to measure the surface area. Information about depth comes from geodetic surveys as well as from calculations using the length of shadows of the pit walls. Comparison with data provided by the gravel pit owner shows good agreement between real and modelled volumes. Deviations amount to =1% for long time periods and 6% for short intervals.

1. Einleitung

Bei der Mineralrohstoff-Vorsorge spielt die Erhebung aktueller Abbaumengen eine wichtige Rolle für die Einschätzung der Produktion, des Bedarfes und der Reserven auf regionaler Ebene. Die große Anzahl der Abbaustätten oberflächennaher Mineralrohstoffe in Österreich erfordert einen Zeitraum von mehreren Jahren für einen konsequenten Erfassungsdurchgang dieser Daten. Die Aktualisierung der Informationen durch periodische Betriebsbefragungen verursacht unverhältnismäßig hohe Kosten. Im Rahmen eines Pilotprojektes [1] wurde von der Geologischen Bundesanstalt überprüft, inwieweit mittels der Auswertung von Satellitendaten der im Gelände zu leistende Teil der Erhebungsarbeiten bzw. der Betriebsbefragungen minimierbar ist. Ziel der hier vorgestellten Teilstudie dieses Projekts war, die Genauigkeit der Vermessung von Abbaustätten mit Hilfe von Fernerkundungsdaten zu bestimmen.

Schon 1981 benutzten Schmidt & Witt [2] Landsat-MSS-Aufnahmen zur Lokalisierung und Kartierung von Kiesgruben. Durch verschiedene Arten der Klassifizierung unterschieden sie Kiesgruben, Gras-, Wald-, Siedlungs- und Wasserflächen mit einer Erfolgsrate von 80%. Turnipseed & Miller [3] vom Mississippi Mineral Resources Institute benutzten Landsat-MSS-Daten zur Erkennung der zeitlichen Entwicklung von aktiven Kiesabbauen sowie zur Abschätzung der Flächenausdehnung von Kiesgruben. Das National Remote Sensing Centre in England unternahm eine Studie zur Identifizierung und Charakterisierung von bestehenden Kiesabbauen [4]. Dabei wurden kombinierte SPOT- und Landsat-TM-Bilder zum Erkennen von Lage, Abbaustatus und Flächenausdehnung verwendet.

Seit der Verfügbarkeit von geometrisch hochauflösenden Satellitendaten (z.B. IKONOS-Daten mit 1 m Pixelgröße) besteht jedoch die Möglichkeit, weit höhere Genauigkeiten bei der Planimetrierung und Volumetrierung von Abbaugruben

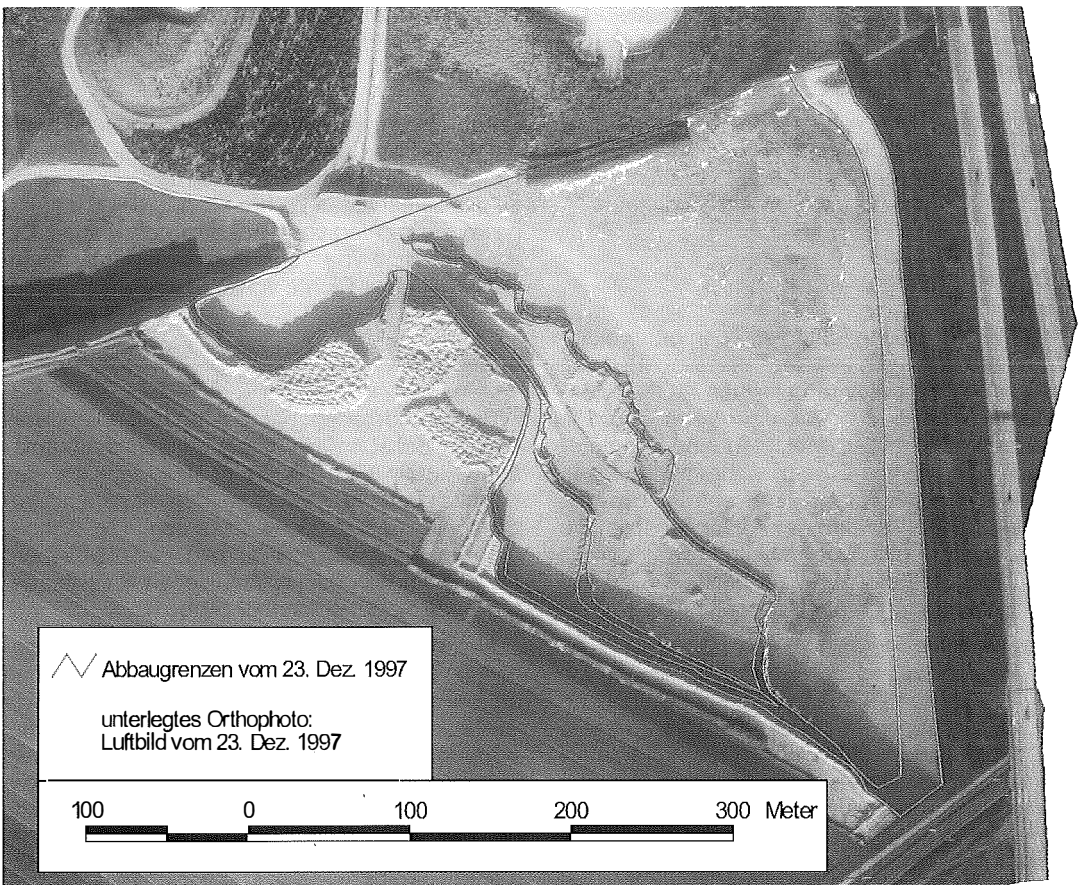


Abb. 1: Abbaugrenzen der Kiesgrube vom 23. Dez. 1997 – nachgezeichnet im GIS mit unterlegtem Luftbild-Orthophoto.

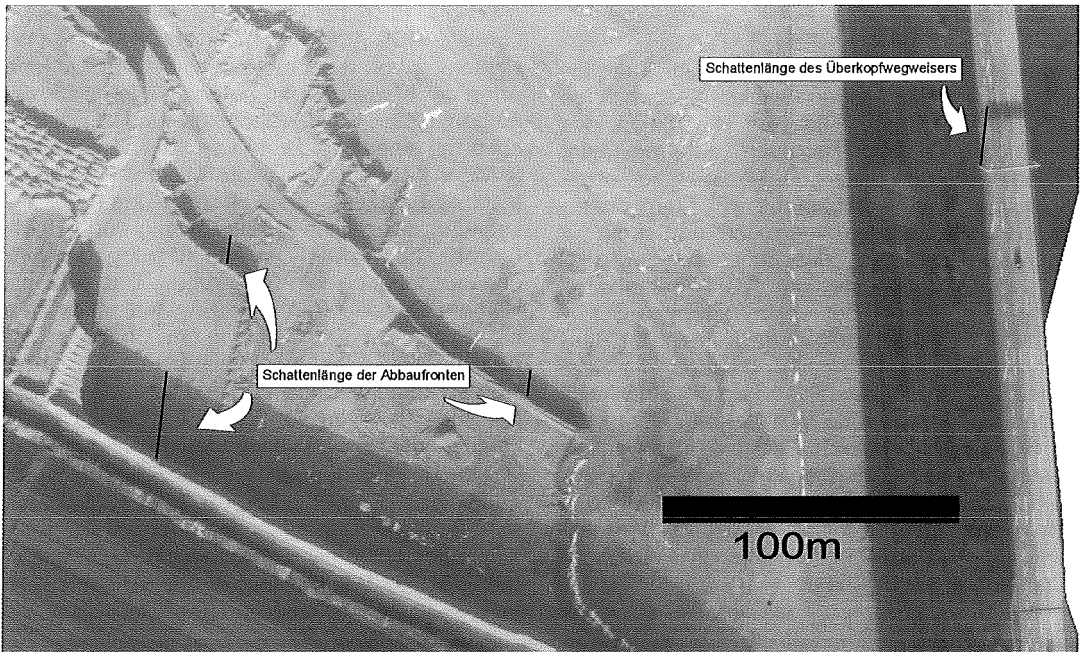


Abb. 2: Ermittlung der Schattenlängen zur Berechnung von Abbautiefen – Kalibrierung anhand eines vertikalen Objektes bekannter Höhe.

zu erreichen. Der vorliegende Artikel demonstriert für das Beispiel einer Kiesgrube im Wiener Becken die Anwendbarkeit der Satellitenfernerkundung zur Feststellung von Abbaumengen.

2. Datengrundlage

Als Fernerkundungsdaten standen orthorektifizierte Luftbilder vom 23. Dez. 1997 und 10. Aug. 2000 sowie ein panchromatisches IKONOS-Satellitenbild vom 5. Jan. 2001 zur Verfügung. Die gescannten Luftbilder erreichten eine geometrische Auflösung von 20 cm, während die Pixelgröße der Satellitendaten 1 m betrug. Um den Einfluss der Orthorektifizierung abschätzen zu können, wurde das Satellitenbild sowohl vor als auch nach der Entzerrung zur Flächen- und Volumenbestimmung herangezogen.

Zur Verifizierung lagen Vermessungspläne eines Ingenieurbüros in jährlichen Abständen (1997 – 2000) und Firmenangaben über monatliche Abbaumengen in Tonnen für den Zeitraum Jan. 1997 – Dez. 2000 vor. Um die aus Fernerkundungsdaten abgeleiteten Volumina mit den Gewichtsangaben vergleichen zu können, erfolgte eine Dichtebestimmung, bei welcher Material aus der Abbauwand in ein genau definiertes Volumen ($7,11 \text{ m}^3$) abgefüllt und gewogen wurde. Dabei ergab sich eine Dichte von 1,94

to/m^3 . Naturgemäß ging bei der Entnahme die ursprüngliche Lagerungsdichte des Materials verloren. Um diesen Effekt auszugleichen, wurde zu der berechneten Dichte ein aus der Erfahrung gewonnener Wert von 10% dazugeschlagen. Die Konvertierung von Volumen zu Gewicht erfolgte daher mit einer Dichte von $2,1 \text{ to/m}^3$.

3. Methodik

Die geocodierten Fernerkundungsdaten wurden zunächst in ein geographisches Informationssystem (GIS) importiert. Dort erfolgte das Nachzeichnen der Grenzen der einzelnen Grubensohlen und Böschungskanten. Die Abbaugrenzen waren sowohl in den Farb-Luftbildern als auch in den panchromatischen Satellitendaten visuell leicht erkennbar (Abb. 1).

Anschließend wurden sämtliche Böschungsober- und -unterkanten im GIS mit Geländehöhen attribuiert und für jeden der drei Datensätze wurde ein Höhenmodell der Grube berechnet (Abb. 2). Die Abbautiefen stammten dabei einerseits aus in den Vermessungsplänen angegebenen, absoluten Seehöhen, andererseits wurde der Fall simuliert, dass keine externen Informationen vorliegen und die Grubentiefen aus den Schattenlängen der Abbaufrenten ermittelt werden müssen. Dies setzt einen geeigneten Son-

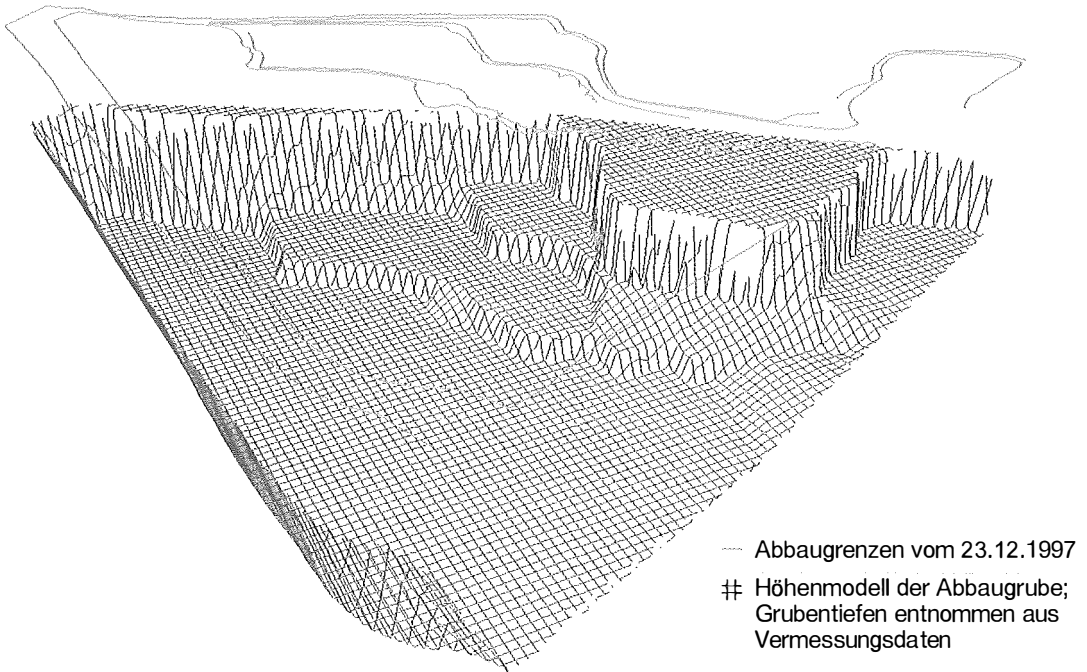


Abb. 3: Höhenmodell der Kiesgrube vom 23. Dez. 1997, berechnet im GIS.

nenstand zum Zeitpunkt der Bildaufnahme voraus. Außerdem muss die Annahme getroffen werden, dass die Abbautiefen im gesamten Bereich einer Sohle konstant sind. Sobald diese zwei Bedingungen erfüllt sind, kann über einfache trigonometrische Beziehungen zwischen Schattenlänge und Einfallswinkel der Sonne die Abbautiefe berechnet werden.

Für das Luftbild vom 23. Dez. 1997 und das Satellitenbild vom 5. Jan. 2001 wurden die Abbautiefen anhand der Schattenlängen ermittelt. Als zusätzliche Kalibrierung diente die eigens vermessene Höhe eines Überkopfwegweisers, der auf der neben der Abbaustätte verlaufenden Autobahn seine Schatten wirft (Abb. 3). Abbildungen 1, 2 und 3 illustrieren die Arbeitsschritte für den Datensatz vom 23. Dez. 1997.

4. Ergebnisse

Tabelle 1 listet die ermittelten Abbaumengen und -fortschritte auf. Diese Ergebnisse entsprechen den Modellierungen mittels vermessener Seehöhen. Die Gegenüberstellung von vermessenen und aus den Schattenlängen berechneten Abbautiefen illustriert Tabelle 2. Die größte Abweichung (9%) ergibt sich bei der Bestimmung der Abbautiefe der höchsten Abbausohle aus dem Satellitenbild. Bei längeren Schatten und

höherer Bildauflösung reduzieren sich die Fehler auf <1%.

Nimmt man die aus den Schattenlängen berechneten Abbautiefen zur Berechnung der Höhenmodelle, so ergeben sich Volumenabweichungen von 0,1% für den 23. Dez. 1997 und 4,5% für den 15. Jan. 2001. Der geringe Fehler für den ersten der beiden Zeitpunkte ist dadurch bedingt, dass die Abbautiefen der verschiedenen Abbausohlen teils über-, teils unterschätzt wurden.

Die Bestimmung des Grubenvolumens mit Hilfe des Satellitenbildes wurde sowohl mit den nur einfach geometrisch korrigierten Rohdaten als auch mit orthorektifizierten Daten durchgeführt. Aufgrund des ebenen Geländes im weiteren Bereich der Abbaustätte fällt der Unterschied erwartungsgemäß sehr gering aus. Die Differenz im Volumen beträgt 4.351 m³ (oder 0,2%).

5. Verifizierung

Abbildung 4 zeigt die Abbaufortschritte laut Firmenangaben, die zur Verifizierung der Modellierungsergebnisse herangezogen wurden. Der lineare Anstieg der kumulativen Summe der Abbaumengen wird lediglich von kurzzeitigen Winterpausen unterbrochen. Abbildung 5 veran-

	Abbaufäche (m²)	Abbauvolumen gesamt (m³)		Abbauvolumen- Differenz (m³)
23.12.97	101.895	1.233.684		
			zwischen 23.12.97 und 10.8.00	660.255
10.8.00	156.215	1.893.939		
			zwischen 10.8.00 und 15.1.01	131.988
15.1.01	180.273	2.025.927		
			zwischen 23.12.97 und 15.1.01	792.243

Tabelle 1: Ergebnisse der Planimetrierung und Volumetrierung mittels Fernerkundungsdaten.

	Vermessene Grubentiefe [m unter GOK]	Grubentiefe [m unter GOK] berechnet aus Schattenlängen	
		Luftbild vom 23.12.1997	Satellitenbild vom 15.1.2001
höchste Abbausohle	8,6	9,1	9,4
mittlere Abbausohle	11,7	11,6	12,2
tiefste Abbausohle	14,2	14,1	14,2

Tabelle 2: Gegenüberstellung von tatsächlichen und mittels Schattenlängen berechneten Grubentiefen.

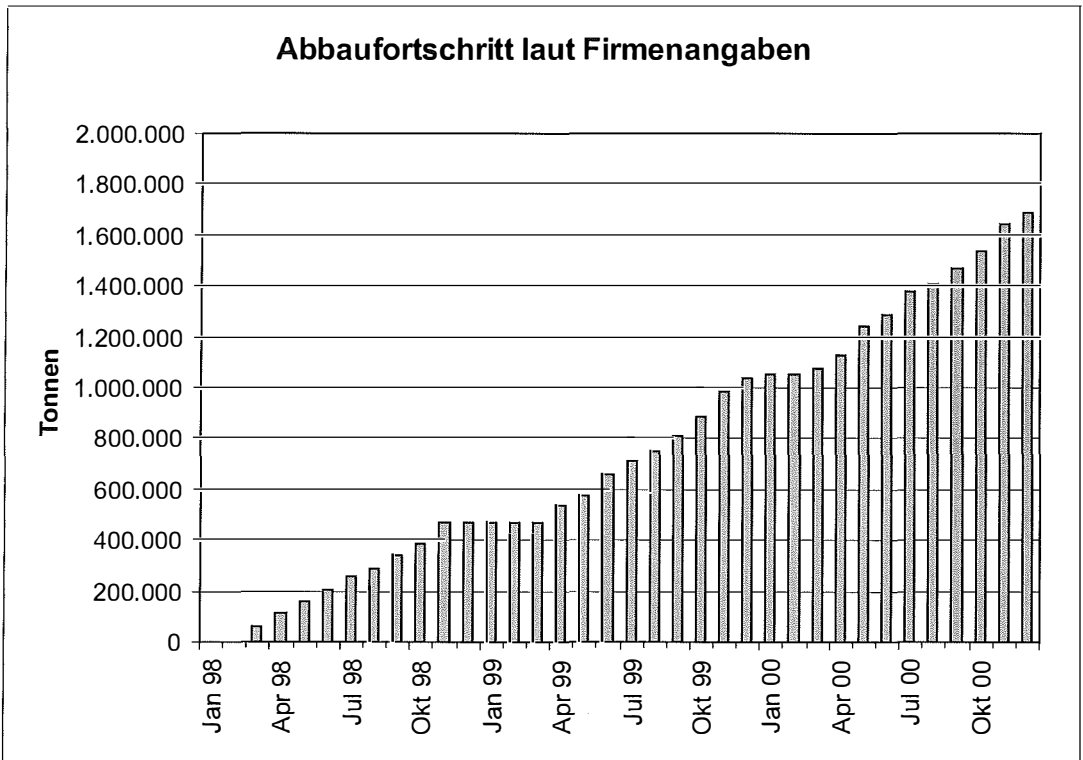


Abb. 4: Kumulative Summe der Abbaumengen laut Firmenangaben in Tonnen.

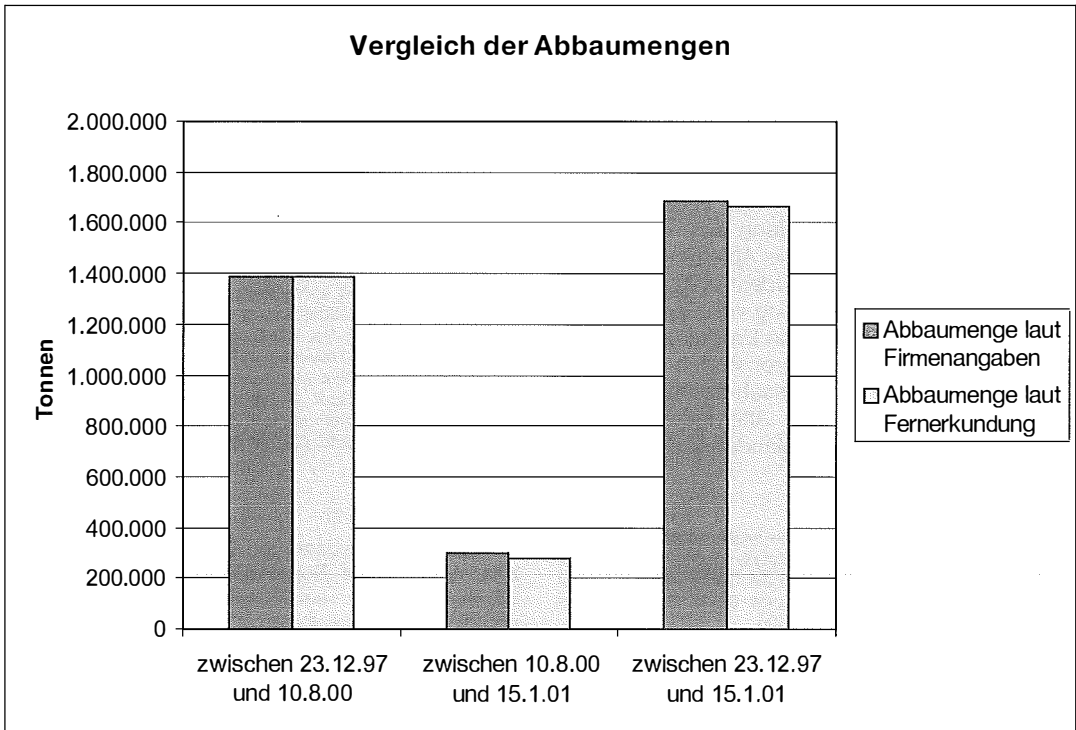


Abb. 5: Vergleich der Firmenangaben mit Ergebnissen der Fernerkundung.

schaulich, dass zwischen den modellierten und den Firmendaten weitgehende Übereinstimmung besteht. Die Unterschiede betragen rund 3.000 Tonnen (oder 0,2%) zwischen 23. Dez. 1997 und 10. Aug. 2000 sowie rund 19.000 Tonnen (oder 6,4%) zwischen 10. Aug. 2000 und 15. Jan. 2001. Für die gesamte Zeitspanne (zwischen 23.12.97 und 15.1.01) ergeben sich 22.000 Tonnen (oder 1,3%) Abweichung.

6. Diskussion

Bei der Modellierung der Abbaumengen mit Hilfe der Luft- und Satellitenbilder bestehen zwei mögliche Fehlerquellen, nämlich bei der flächenhaften Abgrenzung der Grube und der Böschungskanten und bei der Oberflächenmodellierung der Sohlen der verschiedenen Abbauebenen mit Hilfe der Seehöhe bzw. anders ermittelte Abbautiefen.

Nimmt man beim Abgrenzen der Grube auf dem Satellitenbild eine Ungenauigkeit von 1 m an, beträgt der Fehler der Abbaufäche im vorgestellten Beispiel maximal 1%. Bei den höher auflösenden Luftbildern liegt die Ungenauigkeit sogar noch darunter.

Eine um 1 m fehlerhaft angenommene Seehöhe der Abbausohle bewirkt einen Fehler des absoluten Grubenvolumens um maximal 7%. Allerdings betragen die Unterschiede zwischen der modellierten Ebene der Grubensohle und dem tatsächlichen Relief im vorgestellten Beispiel nur 10–60 cm. Während der Fehler bei der Abgrenzung der Abbaufäche bei jedem Luftbild neu entstehen kann, bleibt er bei der Oberflächenmodellierung der Grubensohle – ausgenommen im Bereich der Flächenerweiterungen – konstant. Die Differenz der Grubenvolumina zwischen zwei Zeitpunkten ist daher mit einem weit geringeren Fehler behaftet. Wendet man die um 1 m fehlerhaft angenommene Seehöhe der Abbausohle ausschließlich auf die Flächenerweiterung zwischen den drei Zeitpunkten an, so liegt der Fehler für das abgebaute Volumen bei maximal 3%.

Planimetrierung und Volumetrierung zusammenfassend, wird der Fehler der aus der Fernerkundung abgeleiteten Abbaumengen mit maximal 5% eingeschätzt. Dieser Fehler bietet eine ausreichende Erklärung für die in Abbildung 5 angeführten Diskrepanzen zu den tatsächlichen Abbaumengen. Dies demonstriert die Anwendbarkeit der Satellitenfernerkundung zur Feststellung von Abbaumengen.

7. Schlussfolgerungen

Mit Hilfe geometrisch hochauflösender Satellitendaten lassen sich hinreichend genaue Abbauvolumen von Massenrohstoffen ermitteln. Die Auswertung (visuelle Abgrenzung, Planimetrierung, Volumetrierung) mit geographischen Informationssystemen erfordert kein Vorwissen auf dem Gebiet der Fernerkundung. Auch bei unbekanntem Grubentiefe ist die Ableitung von Abbaumengen aus Satellitenbildern prinzipiell möglich. Bezüglich des Monitoring von Gewinnungsstätten zur Einschätzung von Produktion, Bedarf und Reserven von Massenrohstoffen auf regionaler Ebene bieten geometrisch hochauflösende Satellitendaten daher eine Alternative zu zeit- und kostenaufwendigen Geländebegehungen.

Dank

Wir danken B. Wanivenhaus für die wissenschaftliche Unterstützung der Studie und die Bereitstellung des Materials zur Verifizierung. H. Raggam übernahm die Orthorektifizierung der IKONOS-Daten, H. Polly, K. Pazourek & Th. Burtscher entzerrten das Luftbild vom 10. Aug. 2000.



Vergleich der Auswertemethoden von Naturbestandsaufnahmen

Johannes Fabiankowitsch und Andreas Jandl, Wien

Zusammenfassung

In ein und demselben Testgebiet wird eine topografische Aufnahme mittels konventioneller und codierter Messmethode angewendet. In einem direkten Vergleich können damit Vor- und Nachteile besser quantifiziert werden. Ziel ist es, einen weitgehend kontrollierten und automatischen Datenfluss zu nutzen und besonderes Augenmerk auf Wirtschaftlichkeit und Produktivität zu legen.

Summary

The today's possibilities of modern surveying instruments and techniques made possible a new way to carry out standard surveying tasks. With this new way the ultimate aim to establish a controlled and automatic digital data flow from the field to the office (from the original observations to the ready drawing) can be realized. Still there is little experience and a comparison of the up to now used method based on manually drawn field sketches with the new one that makes use of specific measuring codes can hardly be found in literature. For a selected test field the differences of both methods are investigated especially focussing on economical aspects and the productivity of the outdoor work. There is shown that the new technique is very practicable and has some advantages compared to the conventional method.

1. Einleitung und Zielsetzung

In der praktischen Vermessung stellt sich häufig die Aufgabenstellung von Naturbestandsaufnahmen. Durch einen stetigen technologischen Wandel haben sich sowohl die Vermessungsinstrumente als auch die Vermessungsmethoden

Literatur

- [1] Pfeleiderer, S., 2001: Pilotstudie zur Einschätzung der Verlässlichkeit von Satellitendaten bei der Auswertung dynamischer Kenndaten von oberflächennahen Mineralrohstoff-Abbauen. – Unveröffentlichter Projektbericht, Auftragsforschung des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Kultur, Bibliothek der Geologischen Bundesanstalt – Wissenschaftliches Archiv, 20 Seiten, 6 Abbildungen, 7 Tabellen, 2 Anhänge.
- [2] Schmidt, T.J., & Witt, R.G., 1981: Mapping Sand And Gravel Pits In The Patuxent River Watershed. – Proceedings of the 2nd Eastern Regional Remote Sensing Applications Conference in Danvers, MA (March 9–11, 1981), p. 191–200.
- [3] Turnipseed, D.P. & Miller, W.F., 1982: Discrimination Of Active Gravel Operations Using Landsat Mss Data. – Final Technical Report No. 82–1, The Mississippi Mineral Resources Institute, University of Mississippi, p. 72.
- [4] Harding, A.E., 1988: Monitoring Surface Mineral Workings Using Tm And Spot. – Proceedings of the International Geoscience And Remote Sensing Symposium – Igarss '88 in Edinburgh, Scotland (September 13–16, 1988), p. 1671–1673.

Anschrift der Autoren

Dr. Sebastian Pfeleiderer und Dr. Gerhard Letouzé-Zezula, Geologische Bundesanstalt, Rasumofskygasse 23, A-1031 Wien; email: spfleiderer@cc.geolba.ac.at and gletouze@cc.geolba.ac.at

man es sich erhofft hatte. Viele Ingenieurkonsulenten für Vermessungswesen bestätigen das, wobei anzumerken ist, dass diese Aussagen sich auf Anwendungen von flächendeckenden, detailreichen und großräumigen Aufnahmegebieten beziehen (z.B. die Erstellung einer Grundkarte für eine Gemeinde).

Andererseits gibt es auch kaum einen direkten Vergleich einer konventionellen, mit einer Feldskizze erstellten und einer codierten Feldaufnahme ein und desselben Gebietes, womit man Vor- oder Nachteile besser quantifizieren könnte.

In einem ausgewählten Testgebiet sollen daher die Unterschiede beider Methoden bezüglich der Feldarbeiten möglichst praxisnah untersucht werden. Es soll gezeigt werden, dass eine codierte Aufnahme praxistauglich ist und Vorteile gegenüber den herkömmlichen Verfahren bietet, wobei vor allem auf Wirtschaftlichkeit und Produktivität Wert gelegt wird.

2. Naturbestandsaufnahmen

2.1 Automatischer Datenfluss

Die Vorteile eines durchgehenden automatischen digitalen Datenflusses sind hinlänglich bekannt. Zur Zeit wird dieser nur durch eine sogenannte codierte Aufnahme erreicht, sofern man keine – aus welchen Gründen auch immer – zusätzlichen analogen Aufzeichnungen (Feldskizze) mitführen muss. Mit Hilfe der codierten Aufnahme ist in der Folge eine automatische Erstellung eines digitalen Planes möglich, da zu Beginn der interaktiven Arbeit die Punktmenge samt Signaturen und Liniengerüst zur Verfügung steht. Der Plan muss nur mehr „nachbearbeitet“ werden, die Tätigkeit beschränkt sich vor allem auf das Setzen von Texturen.

Mit dem automatischen Datenfluss sind aber auch Probleme verbunden. Oft haben verschiedene Hersteller von Messsystemen und Auswerteprogrammen unterschiedliche Standards, Datenformate, Schnittstellen, Kabelverbindungen usw. Die wachsende Komplexität der Programmsysteme macht laufende Schulungen des Personals und Wartung der Rechner notwendig. Der erhöhte EDV-Einsatz verlangt entsprechende EDV-Kenntnisse der Benutzer.

Generell sollen Weiterentwicklungen des Datenflusses die Arbeiten im Innendienst minimieren. Durch den Einsatz felddauglicher Penpad-Computer können z.B. die graphischen Ergebnisse während der Feldarbeit direkt am Bildschirm angezeigt werden. Durch Online-Interak-

tion zwischen Messsystem (Tachymeter) und CAD-fähiger Software am Notebook kann daher die graphische Ausarbeitung größtenteils bereits im Außendienst fertiggestellt und kontrolliert werden, was insgesamt zu einer Zuverlässigkeits- und Qualitätssteigerung führt.

2.2 Konventionelle Aufnahme

Die beiden Eckpfeiler der konventionellen Aufnahme sind üblicherweise Polarkoordinaten der aufzunehmenden Punkte und eine Feldskizze, welche eine einigermaßen maßstäbliche Grundrissdarstellung des Gebietes darstellt. In der Regel besteht ein Messtrupp aus zwei bis drei Personen. Eine Person bedient das Tachymeter. Im Falle eines Drei-Mann-Trupps gibt es einen Messgehilfen für den Reflektorstab, der Partieführer fertigt im Zuge der Detailaufnahme die Feldskizze an. Bei einem Zwei-Mann-Trupp ist der Partieführer sowohl für das Anfertigen der Feldskizzen als auch die Handhabung des Reflektors verantwortlich.

2.3 Codierte Aufnahme

Sie wurde entwickelt, um die Vermessungsarbeit und vor allem die Auswertung von Naturbestandsaufnahmen zu vereinfachen und zu beschleunigen. Jedem in der Natur aufzunehmenden Detail wird ein Code zugeordnet, welcher einfach strukturiert und trotzdem ausreichend Information enthalten soll. Ziel ist es, auf die „aufwändige“ Erstellung manueller Feldskizzen so weit wie möglich zu verzichten.

Zur Kommunikation zwischen Operateur am Tachymeter und Reflektorträger ist eine Sprechfunkeinrichtung für größere Entfernungen (>50m) notwendig, um die entsprechenden Codeinformationen am Tachymeter eingeben zu können. Eine alternative Lösung besteht darin, dass das Tachymeter mit einer eigenen Bedieneinheit vom Reflektorstab aus gesteuert wird, was den Vorteil hat, dass der Partieführer direkt vor Ort den Code vergeben kann. Der Operateur ist nur mehr für das Anzielen des Reflektors verantwortlich (*DualBetrieb*). Nachteilig ist aber, dass die Messausrüstung im Falle eines Zwei-Mann-Trupps im Zielpunkt eher unhandlich wird. Insgesamt wäre ein Zwei-Mann-Trupp ausreichend, wodurch der Personaleinsatz gegenüber der konventionellen Aufnahme verringert würde oder zumindest gleich bliebe.

Hat man ein System zur Verfügung, das neben der Bedieneinheit am Reflektorstab zusätzlich mit einer automatischen Zielverfolgung ausge-

stattet ist, so ist bei idealen Bedingungen (wenig Vegetation und keine anderen Sichthindernisse) auch ein Ein-Mann-Betrieb möglich.

Testmessungen haben gezeigt, dass bei schnelleren Reflektorbewegungen das Tachymeter den Zielpunkt verliert, allerdings wird das Ziel innerhalb weniger Sekunden mit dem von Zeiss entwickelten Suchalgorithmus *QuickLock* wieder gefunden, jedoch nur bei still stehendem Reflektor (theoretisch auch in der Bewegung). Diese Erfahrungen, die starke Vegetation im ausgewählten Testgebiet und die Tatsache, einen in der Praxis üblichen Messeinsatz vorzugeben, führte dazu, einen Zwei-Mann-Trupp einzusetzen.

Der Vorteil der daran anschließenden automatischen Auswertung mit Hilfe eines Hochzeichenmoduls (siehe Kapitel 4) ist nun, am Bildschirm im Büro nur noch eine graphische Nachbearbeitung durchführen zu müssen. Es kann allerdings auch zu Problemen kommen, wenn z.B. Codes falsch vergeben wurden oder die Aufnahme unvollständig ist, Linien oder Linienzüge nicht richtig geschlossen wurden. Für solche Fälle gibt es zwei Lösungsvorschläge:

- Man fertigt trotz codierter Aufnahme von bestimmten Bereichen, welche sehr detailliert und nur mit Hilfspunkten einzumessen sind, eine Skizze mit Maßangaben an.
- Der Plan wird so gut wie möglich ausgearbeitet und geplottet; mit dieser analogen Vorlage fährt man wieder ins Projektgebiet und ergänzt Fehlendes und Fehlerhaftes.

In der Fachliteratur (Seitz, 1990; Canzler, 1997) wird der Zeitaufwand für eine konventionelle und eine codierte Aufnahme als gleichbleibend angegeben. Die Erfahrung zeigt, dass die direkt an den Außendienst anschließende Weiterverarbeitung durch den Aufnahmeleiter das schnellste und fehlerunanfälligste Verfahren ist. Bei der codierten Aufnahme muss allerdings mit einer höheren Punktzahl gerechnet werden, was sich zeitlich nicht als Nachteil auswirkt, da die Erstellung am Bildschirm automatisch erfolgt. Eine höhere Punktzahl ist erforderlich, um den vollen Informationsinhalt auch ohne Feldskizze und Sperrmaße zu erreichen.

2.4 Codierungssystem

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlichster Codierungssysteme, die alle die selben Ziele verfolgen:

- Die Codierung soll einfach strukturiert sein, damit sie für den Messtrupp leicht zu handhaben und praxisnah ist.
- Es soll dafür sorgen, dass die Punkt- und Verbindungsinformation von der Messung bis

zum digitalen Plan, möglichst ohne manuelle Eingriffe, gelangt.

- Es soll alle Informationen enthalten, um eine komplexe Graphik erzeugen zu können. Eine notwendige Nachbearbeitung, wie die Erstellung von Texturen soll aber auf Grund der sehr komplexen Aufgabenstellung nicht zu aufwändig sein.
- Es sollte neben den einmaligen Anschaffungskosten für die erforderlichen Softwarekomponenten keine zusätzlichen Kosten bei der Aufnahme verursachen!
- Das System soll vom Anwender leicht auf dessen Bedürfnisse angepasst werden können und jederzeit beliebig erweiterbar sein, um verschiedenste Aufgabenstellungen zu bewältigen.
- Die für jeden Messpunkt registrierte Information soll vom Auswertesystem erkannt werden und bei der Auswertung als Suchbegriff verwendet werden können.

In dieser Arbeit kommt das Codierungssystem *KatBest-06* von rmData zur Anwendung, welches sich besonders für Arbeiten im Kataster und für Bestandsaufnahmen eignet. Die hohe Anzahl an Codes (ca. 500) machte eine Vereinfachung der Codeliste unbedingt notwendig, d.h., die im Messgebiet benötigten Codes wurden herausgefiltert. Die Anzahl der Codes, die sich eine Person im Durchschnitt merken kann, ist auf ungefähr drei Dutzend beschränkt. Im Normalfall wird man für eine Naturbestandsaufnahme auch nicht mehr als 20 bis 40 Codes benötigen.

In dieser Codeliste fällt auf, dass z.B. 10 verschiedene Codes für den Punkttyp Haus verwendet werden können. Das hat den Vorteil, dass man bis zu zehn Häuser gleichzeitig bearbeiten kann. Bei älteren Codierungssystemen musste der Linienzug ein und desselben Typs zuerst beendet werden, bevor mit dem nächsten begonnen werden konnte. Das bedeutete für den Reflektorträger, dass er weitere Strecken zurücklegen musste. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Codierung des Punkttyps gleichzeitig auch die Verbindungsinformation beinhaltet. Das Ende einer Linie wird durch ein dem Code vorangestelltes „Minus“ gekennzeichnet.

Ergänzende Attribute für Signaturen wie z.B. Mauerstärken werden durch sogenannte Zusatzinformationen festgelegt. Mit deren Hilfe können auch z.B. drei Punkte durch einen Kreis oder mehrere Punkte durch Splines verbunden werden.

Die Zusatzcodes sind vom Messcode durch das „\$-Zeichen“ zu trennen. Oft ist ein Mess-

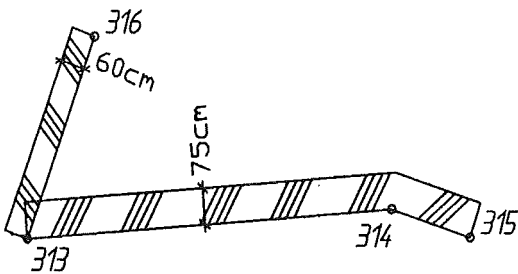


Abb. 1: Punkt 313 ist Anfangspunkt einer Mauer mit einer Mauerstärke von 60 cm und Anfangspunkt einer zweiten Mauer mit 75 cm Stärke. PNr. 313 Messcode: 100\$600.101\$750, PNr. 314 Messcode: 101, PNr. 315 Messcode: -101, PNr. 316 Messcode: -100

punkt gleichzeitig Ende einer Linie und Beginn eines anderen Linienzuges. Das bedeutet, dass auch für die Trennung von Messcodes ein eigenes Zeichen (in diesem Fall ein „.“) festgelegt werden muss. Um in der Praxis solche Fälle bewältigen zu können, benötigt man eine entsprechend hohe Anzahl von Eingabemöglichkeiten am Tachymeter.

Abbildung 1 zeigt, dass bis zu 16 Stellen benötigt werden, um eine bestimmte Situation in der Natur codiert aufnehmen zu können.

Da beim Zeiss Elta S 10 für den Messcode von rmDATA weniger Stellen als notwendig verfügbar waren, ist die Stellenanzahl für die Eingabe der Punktnummern verringert und jene für den Messcode entsprechend erhöht worden.

3. Feldarbeiten

3.1 Testgebiet

Bei der Auswahl des Testgebietes sind folgende Kriterien berücksichtigt worden:

- möglichst verkehrsarme Gegend
- Unterstellung der gesamten Messausrüstung mit Stromanschlussmöglichkeit
- Ausnutzung der Codepalette (ca. 30 verschiedene Codes wurden verwendet)
- vorhandenes Festpunktfeld im Landessystem.

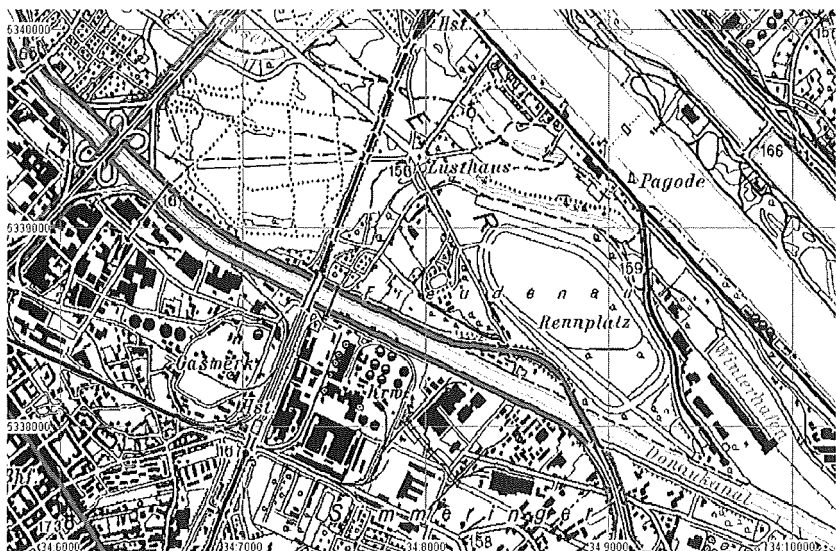


Abb. 2: Lage der Freudenau im Überblick (© BEV – 2001, vervielfältigt mit Genehmigung des BEV – Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen in Wien, Zl. 40404/2001)

Diese Bedingungen erfüllt das Gebiet rund um die Trainingsbahn der IRM (International Race Management) in der Freudenau. Das aufzunehmende Gelände hat eine Fläche von ca. 3 ha (siehe Abbildung 2) und ist gekennzeichnet durch eine Trainingsbahn für Pferde, eine Grünfläche mit vielen Bäumen und Büschen, das Hauptgebäude der IRM und die Stallungen rund um die Bahn (siehe Abbildung 3).

Das Festpunktfeld wurde mit GPS im Zuge eines Projektes bereits geschaffen. Auf Grund der starken Vegetation zum Zeitpunkt der Messungen waren viele Visuren zu Anschlusszielen sowie GPS-Messungen nur erschwert möglich.

3.2 Geräteinsatz

Zum Einsatz kommt das moderne System-Tachymeter Elta S10 S Space der Firma Zeiss. Es entspricht den hohen Anforderungen in Automation und Datenverarbeitung für Vermessungsarbeiten. Ein Datenfunk ermöglicht es, das Tachymeter vom Zielpunkt aus zu betreiben, dieser sogenannte *DualBetrieb* ist für ein Zweierteam konzipiert. Die Führung der Messungen erfolgt vom Reflektor aus. Ein Mitarbeiter am Instrument übernimmt die Anzielung des Prismas. Diese Betriebsart ist vor allem dann anzuwenden, wenn das Tachymeter nicht ohne Aufsicht gelassen werden kann oder der Reflektor oft durch die Vegetation verdeckt wird. In der Betriebsart *Auto-Control* wird auf die Hilfskraft am Instrument ganz verzichtet und die Bedienung aller Gerätefunktionen vom *RecLink* aus durchgeführt. Es



Abb. 3: Das Testgebiet in der Freudenu, geprägt durch Stallungen und die Trainingsbahn

ist auch denkbar, auf die Zielverfolgung komplett zu verzichten und immer nur dann den Suchprozess mittels *QuickLock* in Gang zu setzen, wenn eine Messung erfolgen soll.

Im *QuickLock* – Modus dreht sich nach erfolgreichem Start das Gerät horizontal mit einer Winkelgeschwindigkeit von bis zu $90^\circ/s$, bis ein Signal des Zielpunktes registriert wird. Anschließend wird es langsam zurückgedreht und die horizontale Winkelposition des Empfängers bestimmt. Danach wird der Vorgang zur Bestimmung des Vertikalwinkels wiederholt. Voraussetzung dafür ist, dass der Reflektor näherungsweise zum Standpunkt des Tachymeters ausgerichtet ist.

Diese Betriebsvariante ist jedoch nur sinnvoll bei wenigen Punkten und großen Punktabständen. Es besteht auch die Möglichkeit zum Tachymeter-Sharing. Von ein und derselben *RecLink*-Fernbedienung können mehrere *QuickLock*-Prismen gezielt angefahren werden. Damit ist es möglich, schnell zwischen mehreren Reflektorstationen umzuschalten, die von nur einem Tachymeter angemessen werden.

Die Messdatenblöcke werden auf einer PCMCIA-Karte gespeichert, bis zu 8000 Datensätze können registriert werden. Die Datensätze haben das definierte Format M5, welches für alle modernen Zeiss Vermessungsgeräte Standard ist. Dieses Format hat fünf Messblöcke, einen Adressblock, einen Block für Information und drei numerische Datenblöcke. Eine M5 Datenzeile ist 121 Zeichen lang.

3.3 Detailpunktaufnahmen

Für die konventionelle Aufnahme wurden die Feldskizzen vorgezeichnet. In insgesamt fünf Ta-

gen wurden 11 Stallungen sowie das Hauptgebäude der IRM, welche alle aus dem 19. Jahrhundert stammen, sehr verwinkelt und teilweise stark bewachsen waren und die umliegende Topographie aufgenommen. Durch die Verwendung von Feldskizzen war die Aufnahme sehr übersichtlich, es war sofort erkennbar, wo Punkte noch aufgenommen werden müssen bzw. welche schon vermessen wurden. Die Stehzeiten für den Beobachter am Gerät waren gering, da die Feldskizzen bereits vorgezeichnet waren. Die Organi-

sation der Aufnahme wird durch die Verwendung der Feldskizzen wesentlich vereinfacht, der Informationsaustausch zwischen den Mitarbeitern des Messtrupps war nicht so entscheidend wie etwa bei der codierten Aufnahme. Eine Kommunikation durch Zeichensprache war zumeist ausreichend.

Für die codierte Aufnahme war eine ständige verbale Kommunikation unbedingt erforderlich, da vom Gerät aus nicht ersichtlich war, um welchen Punkttyp es sich bei dem aufzunehmenden Punkt handelt. Da die Zielweiten auf einige Zehnermeter beschränkt waren, ist eine Kommunikation ohne Funkgeräte problemlos möglich.

Durch das Fehlen einer Feldskizze ging die Übersichtlichkeit ein wenig verloren, die Frage, ob dieser Punkt schon gemessen wurde oder nicht, stellte sich oft. Das dürfte vor allem in der Praxis Probleme machen, wenn die Aufnahme für längere Zeit unterbrochen (Wochenende, Feiertage, . . .) oder von verschiedenen Personen geleitet wird.

Topographische Gegebenheiten, die weder direkt noch exzentrisch gemessen werden konnten, wurden auf extra angefertigten Feldskizzen festgehalten und durch entsprechende Maße eingemessen. Als Alternative bot sich an, derartige Einzelfälle zunächst unberücksichtigt zu lassen. Im Zuge eines meist notwendigen Feldvergleichs könnten dann Fehlerhaftes und Fehlendes in einem Arbeitsgang erfasst werden. Sogenannte Nachmessungen sind in jedem Fall unwirtschaftlich, unabhängig davon, ob konventionell oder codiert gemessen wird.

Obwohl man Linienzüge bei dem verwendeten Codierungssystem nicht in einer Reihenfolge

messen muss, hat es sich als einfacher und übersichtlicher erwiesen, bei einer begonnenen Linie mit den Messungen fortzufahren. Die Wege, die der Reflektorträger dadurch zurücklegte, sind bei der codierten Aufnahme meist länger als bei der konventionellen.

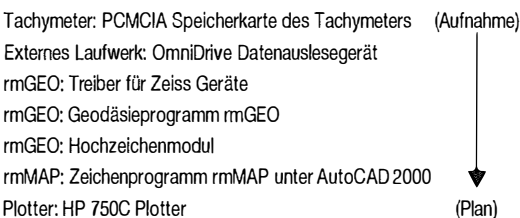
Bei der codierten Aufnahme kam es auch selten zu Stehzeiten für den Operateur am Gerät, wenn man die hier gewählte Strategie (Zweierteam mit konventioneller Bedienung vom Tachymeter aus) anwendet. Während der Reflektorträger seine Position wechselte, kann der Operateur den Code für den nächsten Punkt eingeben. Ein *DualBetrieb* hätte zu einer ungleichen Arbeitsverteilung geführt. Hat man die Codeliste und den technischen Ablauf bei der codierten Aufnahme erst einmal im Griff und ein gutes Zusammenspiel zwischen Operateur und Reflektorträger geschaffen, so ist ein rasches Fortschreiten der Aufnahme gewährleistet.

Summarisch betrachtet kann festgehalten werden, dass der Zeitaufwand für beide Aufnahmeverfahren in etwa gleich ist. Als Beispiel dafür sei die Aufnahme einer Stallung samt umliegender Topographie (ca. 50 Punkte) angeführt. Bei der konventionellen Aufnahme war ein Zeitaufwand von 25 Minuten zu verzeichnen, bei der codierten Aufnahme von nur 20 Minuten. Natürlich muss man dazu festhalten, dass bei der nachfolgenden codierten Aufnahme die Situation schon vertrauter war.

Bei der Innendienstarbeit hat sich herausgestellt, dass man bei der codierten Aufnahme gut beraten ist, im Zweifelsfall mehr Punkte als unbedingt notwendig zu messen. Die Aufnahme von Punkten geht wesentlich schneller vor sich als die Konstruktion von Punkten im CAD.

4. Erstellung eines Grundrissplanes

Das Endprodukt dieser Arbeit soll ein analoger Plan des Testgebietes im Maßstab 1:200 sein. Dazu sind mehrere Arbeitsschritte notwendig, der angewendete Datenfluss hat folgenden Ablauf:



Das Programm rmGEO ist der zentrale Baustein des automatischen Datenflusses, ein ganz wesentlicher dafür ist der Hochzeichenmodul für das automatische Zeichnen einer codierten Aufnahme und das Zeichenprogramm rmMAP, welches auf AutoCAD 2000 aufgebaut ist. Bei älteren Versionen von rmGEO war es nur möglich, Punkte, Linien und Polylinienobjekte hochzeichnen. Ab Version 1.1 kann das Hochzeichnen nun für alle Objektarten genützt werden, d.h. es können auch beliebige Symbole (z.B. Laternen, Bäume, Kanäle) mit einem, zwei oder drei Punkten und Signaturen mit Attributen (z.B. Mauerstärke) dargestellt werden. Im Gegensatz zu anderen CAD-Anwendungen sind in rmMAP Signaturen in die Punkt- und Linientopologie eingebunden.

Sind die Polygon- und Detailpunkte alle koordinativ bestimmt, kann der Koordinatentransfer in das rmMAP durchgeführt werden. Dazu stehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

- Übertragung von Punkten mit dem neuen Punktattribut der rmGEO Datenbank. Diese Methode wird hauptsächlich bei konventionellen Aufnahmen eingesetzt.
- Hochzeichnen von Punkten, Linien, Polylinien, Signaturen und Symbolen mittels Messcode bei der codierten Aufnahme.

Bei der konventionellen Methode erhält man im rmMAP eine Punktwolke, bestehend aus dem Symbol Kreis, der Punktnummer und der Höhe. Mit Hilfe der Feldskizzen und dem CAD-Programm kann der digitale Plan nun in bekannter Weise erstellt werden.

Der entscheidende Vorteil der codiert aufgenommenen Punkte liegt darin, dass sie mittels Messcode- und Objektübersetzungstabelle automatisch hochgezeichnet werden können. Stimmen die im Feld verwendete Codeliste und die beiden Tabellen der Auswertesoftware überein, können sofort während des Überspielens der Punkte Linienverbindungen, Symbole und Signaturen hergestellt werden. Man kann neben der Punktwolke auch schon die Situation aus der Natur als Liniengerüst wiedererkennen. Fehler in der Codierung, wie etwa falsch oder nicht geschlossene Linienzüge, sind am Bildschirm sofort als Liniengewirr erkennbar und müssen durch Editieren und Ändern nachbearbeitet werden. So ist es zum Beispiel während der Feldarbeit nicht möglich, ein Objekt wieder zu schließen, ohne einen Punkt dieses Objektes doppelt aufzunehmen (z.B. erster Punkt = letzter Punkt). Deshalb ist es notwendig, alle betreffenden Objekte am Bildschirm händisch durch die Menü-

punkte Editieren und Ändern zu schließen. Im Sinne einer Automation der Auswertung macht das natürlich wenig Sinn.

Ergänzungen betreffen vor allem das Setzen von Signaturen und Texturen und dem Einarbeiten von nicht codiert aufgenommenen Details (keine Sichtverbindung) während der Feldarbeit. Diese fehlenden Ergänzungen sind entweder auf einer zusätzlichen Feldskizze festgehalten oder man plottet den unvollständigen Plan aus und begibt sich damit nochmals in das Vermessungsgebiet und ergänzt durch Einmessungen den Plan entsprechend.

5. Gegenüberstellung der beiden Auswertemethoden

5.1 Vor- und Nachteile der konventionellen Aufnahme

Einer der wesentlichen Vorteile, welcher durch Feldskizzen gewährleistet wird, ist die Übersichtlichkeit bei den Feldarbeiten. Eine bessere Organisation des Arbeitsablaufes ist dadurch möglich. Weiters kann der Reflektorträger völlig autark agieren, eine ständige Kommunikationsverbindung zwischen ihm und dem Tachymeter ist nicht zwingend notwendig. Der Partieführer ist laufend über den Arbeitsfortschritt informiert, die Aufnahme kann jederzeit von einem anderen Messtrupp übernommen werden.

Eindeutigkeit und Vollständigkeit der Feldskizzen erleichtern eine Ausarbeitung im Büro wesentlich, vor allem dann, wenn Planausfertiger und Aufnahmeleiter verschiedene Personen sind.

Der größte Nachteil kommt nach dem Überspielen der Punktwolke in ein CAD-Programm zum Ausdruck, denn hier endet der automatische Datenfluss. Die manuelle Ausarbeitung am Bildschirm ist zeitaufwendig und kostenintensiv. In dieser Arbeit hat sich herausgestellt, dass man dazu in etwa die Hälfte bis Zweidrittel der Außendienstzeit benötigt. Diesbezügliche Zeitangaben sind schwierig anzugeben, da es sehr davon abhängt, in welcher Datenform (z.B. inklusive Layer- und Blockstruktur) ein digitales Planwerk zu liefern ist.

Bei einem Zweimanntrupp kann es für den Beobachter am Tachymeter zu Stehzeiten kommen, da der Reflektorträger zusätzlich mit dem Zeichnen der Feldskizze und dem Eintragen der Punktnummern beschäftigt ist. Besteht der Messtrupp aus drei Personen, so ist die Arbeitsaufteilung ausgeglichen und der Arbeitsfortschritt optimal, führt aber zu höheren Außendienstkosten.

5.2 Vor- und Nachteile der codierten Aufnahme

Der entscheidende Vorteil kommt bei der Erstellung des Planwerkes zum Ausdruck (siehe Kapitel 4). Wenn keine geschlossenen Objekte dargestellt werden müssen, so beschränkt sich die Nachbearbeitung auf Ausbesserungen, welche durch Codierungsfehler entstanden sind und das Setzen von Beschriftungen und Signaturen.

Will man das ständige Ändern der Codes am Tachymeter vermeiden, so muss ein linienweises Erfassen der Situation erfolgen, wodurch sich längere Wegstrecken ergeben. Die Organisation der Messung wird dadurch allerdings erleichtert. An sich muss keinerlei Rücksicht auf die Messreihenfolge genommen werden, die Anzahl der gleichzeitig zu bearbeitenden Linien kann frei definiert werden. Es zeigt sich aber, dass die Zuordnung eines Punktes zu einer Linie schwieriger wird, wenn z.B. gleichzeitig zehn Linien offen sind (der Reflektorträger muss sich merken, welcher Punkt zu welcher Linie gehört). Eine systematische Vorgangsweise in der Messreihenfolge wird auf jeden Fall von Vorteil sein.

Ein weiterer Vorteil ist, dass man wetterunabhängiger arbeiten kann, das lästige Zeichnen und Handhaben einer Feldskizze bei Regen entfällt ja. Unterbrechungen sind von der Wetterbeständigkeit der Instrumente und des Personals abhängig.

Da es zu einer Verschiebung der Tätigkeiten in Richtung Außendienst kommt, müssen sich alle daran Beteiligten umstellen. Insgesamt steigt auch die Logistik deutlich an, was sich beim Einführen einer codierten Aufnahme als Messmethode anfangs sicherlich nachteilig auswirkt.

Das Zusammenspiel der Messpartie rückt in den Vordergrund, eine permanente Kommunikation (Sprechfunk, Funkverbindung) zwischen Instrument und Reflektorträger (Partieführer) ist unbedingt erforderlich, sofern nicht vom Reflektor aus alles gemanagt wird. Der Partieführer braucht ein hohes Maß an Erfahrung im Außendienst, da er keine graphische Vorlage zur Verfügung hat, an welcher er sich orientieren kann.

Eine codierte Aufnahme und Auswertung ist auch mit einem höheren finanziellen Aufwand verbunden. Durch die Anschaffung der Softwarekomponenten (Codeliste, Hochzeichenmodul) entstehen Kosten in der Größenordnung von ca. 85.000.– Schilling.

Die nachfolgende Tabelle stellt für das Beispiel an der TU Wien den Zeitaufwand für einen Zweimann-Trupp dar. Die Arbeitszeiten sind für beide

Verfahren, getrennt nach Außen- und Innendienst, in Abbildung 4 graphisch dargestellt.

Tätigkeit	Konventionelle Aufnahme	Codierte Aufnahme
Feldskizzen	4 Std	*)
Außendienstarbeiten	27 Std	24 Std
Berechnung der Punkte	5 Std	5 Std
Erstellung Grundrissplan	25 Std	10 Std
Feldvergleich	**)	3 Std
Gesamt:	61 Std	42 Std

*) Die codierte Aufnahme soll ohne Feldskizzen durchgeführt werden können

***) Auch bei konventionellen Aufnahmen sind Feldvergleiche bzw. Ergänzungsmessungen unter Umständen notwendig, jedoch nicht so zeitaufwendig.

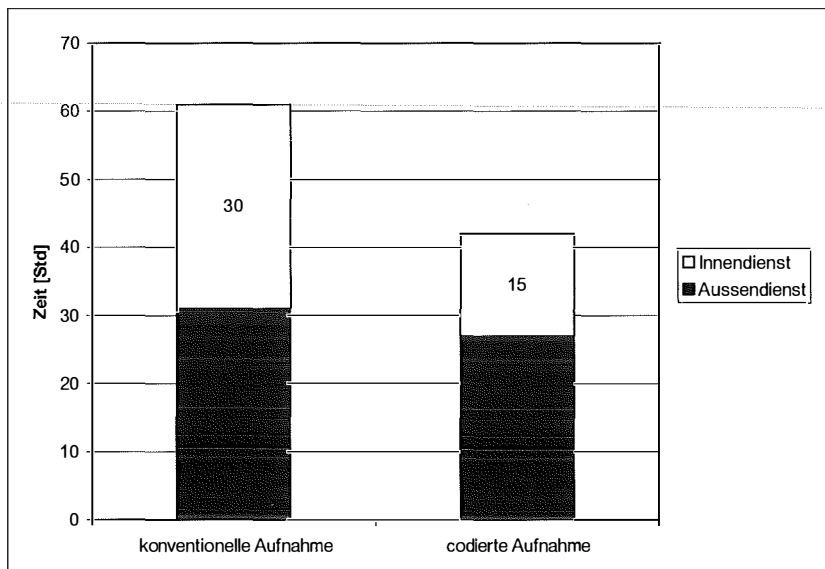


Abb. 4: Zeitvergleich beider Aufnahmeverfahren: die codierte Aufnahme hat große Vorteile bei den Innendienstarbeiten

6. Zusammenfassung und Ausblick

Insgesamt kann für dieses Projekt gezeigt werden, dass die Auswertung bei der codierten Aufnahme sicherlich die schnellere Methode war. Bei der Außendienstarbeit ist die Zeitersparnis bei einer Codierung als geringfügig einzustufen (0–20%). Zeit wird hier vor allem durch das Wegfallen der Feldskizzenerstellung gespart. Für die codierte Aufnahme ist ein Zwei-Mann-Trupp ausreichend.

Bei der Aufarbeitung der Rohdaten und Berechnung der Koordinaten sind keine signifikanten Vorteile für eine der beiden Methoden festzustellen. Bei ungeübtem Außendienstpersonal

kann lediglich der Aufwand beim Editieren der Messdaten bei der codierten Aufnahme etwas umfangreicher ausfallen, da Fehler bei der Codierung unvermeidlich sind.

Der wesentliche Vorteil zwischen beiden Auswertemethoden kommt bei der graphischen Bearbeitung am Computer zum Vorschein. Durch das automatische Hochzeichnen von Linienverbindungen, Signaturen und Symbole nach dem Überspielen der Punkte in ein CAD, kann der Zeichenvorgang um bis zu 70% schneller abgewickelt werden.

Bei Naturbestandsaufnahmen kommt es zu einer Verlagerung der Verantwortung vom Büro in den Außendienst. Diese Tendenz wird in den nächsten Jahren durch die Weiterentwicklung

im Bereich des Datenflusses noch verstärkt werden. Durch den Einsatz von feldtauglichen Notebooks (Pen-Top) mit graphischen Informationssystemen können die Ergebnisse der Vermessung durch Online-Interaktion zwischen Tachymeter und Software, direkt im Feld angezeigt, graphisch bearbeitet und größtenteils fertiggestellt werden. Dies würde nicht nur zu einer deutlichen Verringerung der Innendienstarbeiten führen sondern sich auch positiv auf die

Zuverlässigkeit und Qualität bei der digitalen Erstellung eines Planes auswirken.

Literatur:

- [1] Canzler Armin (1997): Automatische Graphikerzeugung bei der registrierten tachymetrischen Aufnahme. Allg. Vermessungsnachrichten, 1997, Heft 8-9
- [2] Seitz Dieter (Offenburg 1990): GEOGRAF ein Low-Cost-Gratiksystem im Vermessungsbüro. BDVI -Forum 1990, Heft 2

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Ing. Dr. Johannes Fabiankowitzsch, TU Wien, Institut für Geodäsie und Geophysik, Abteilung Angewandte Geodäsie und Ingenieurgeodäsie, Gusshausstrasse 27 – 29, A-1040 Wien, jfabian@pop.tuwien.ac.at
 Dipl.-Ing. Andreas Jaindl, Awarenweg 5, A-7000 Eisenstadt

Dipl.-Ing. Balázs Melykuti wurde am 19. Jänner 2001 an der Fakultät für Technische Naturwissenschaften und Informatik der TU Wien mit der Dissertation „Videometric Measurement System for Surface Determination“ zum Dr.techn. promoviert. Prüfer waren: Univ.-Prof. Dr. Josef Jansa und Univ.-Prof. Dr. Karl Kraus, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien.

Videometric Measurement System for Surface Determination

Balázs Melykuti

Dissertation: Fakultät für Technische Naturwissenschaften und Informatik der TU Wien, 2000.

Prüfer: Univ.Prof. Dr. Josef Jansa und Univ.Prof. Dr. Karl Kraus, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien.

Die effiziente und robuste Bestimmung der dreidimensionalen Form von menschlichen Körperteilen ist immer noch ein wichtiges Problem im medizinischen Bereich. Das Modellieren von Teilen der Oberfläche des menschlichen Körpers wird für die Operationsplanung, für Operationsüberwachung und postoperative Überprüfung gebraucht.

In der medizinischen Praxis wurden verschiedene Technologien für dreidimensionale Messungen verwendet. Bekannte Methoden sind CT (Computer Tomographie) und MR (Magnetresonanz-Bilder). Die photogrammetrische Methode ist eine interessante Alternative. Sie verwendet weder schädliche Strahlung, noch benötigt sie teure technische Ausstattung, ist aber auf jene Fälle beschränkt, wo nur die Körperoberfläche gebraucht wird. Die Nachteile der traditionellen Photogrammetrie sind einerseits die lange Zeit zwischen Bilderfassung und fertigem 3D-Modell und andererseits der Bedarf an Fachleuten. In letzter Zeit bietet die digitale Photogrammetrie Möglichkeiten für schnelle, unkomplizierte, billige und trotzdem genaue Messungen.

Die Vorteile der digitalen Photogrammetrie ausnützend wurde ein System entwickelt, das Niedrigpreis-komponenten verwendet. Das System besteht aus vier Kameras und zwei Texturprojektoren, die auf einem Rahmen befestigt sind, und einem PC mit Frame-Grabber-Karte. Das System wurde in erster Linie für Untersuchungen des menschlichen Gesichts aufgebaut, wobei zwei Stereopaare mit vertikaler Basis die linke und rechte Gesichtshälfte abdecken. In der Mitte ergibt sich eine kleine Überlappung.

Für die Orientierung wurde eine automatische Methode entwickelt, welches ein einfaches Kontrollpunktfeld verwendet und ohne Benutzereingriff läuft. Für die Texturerzeugung auf der Objektoberfläche wurden spezielle Zufallsmuster untersucht. Diese Muster enthalten tief- und hochfrequente Anteile. Erstere sind gut für das Konvergenzverhalten des Matchings und letztere erhöhen die Matching-Genauigkeit. Das verwendete Matching-Verfahren für die Oberflächenbestimmung ist eine intensitätsbasierte, globale Methode, die Christian Öhreneder in seiner Dissertation entwickelt hat (Chr.

Öhreneder, A Similarity Measure for Global Image Matching Based on the Forward Modeling Principle. Dissertation an der TU Wien, 1999). Die Genauigkeit des Systems wurde mit verschiedenen Objekten getestet, von geometrisch einfachen Formen bis hin zu ganz komplexen, wie dem Gipsmodell eines menschlichen Gesichts. Die Eignung für die Praxis wurde am lebenden Modell erprobt.

Über ein benutzerfreundliches Interface kann das System leicht bedient werden, auch durch Personal, das keine photogrammetrische Erfahrung besitzt. Alle komplizierten Prozesse laufen im Hintergrund ab, wie etwa der Bündelblockausgleich für die Kalibrierung und Orientierung der Kameras oder die Matching-Prozedur. Die mit diesem System erreichbare Genauigkeit liegt sicher innerhalb 1 mm, was der anfangs gestellten Forderung entspricht. Wenn auch nicht in Echtzeit, so kann das dreidimensionale Modell doch in einer für den Mediziner akzeptablen Zeit erhalten werden (ca. 15 min mit PC 100 MHz). Das Ergebnis braucht im allgemeinen keine Nachbearbeitung und kann unmittelbar der Software für Operationsplanung und Überprüfung übergeben werden.

Dipl.-Ing. Franz Rottensteiner wurde am 15. März 2001 an der Fakultät für Technische Naturwissenschaften und Informatik der TU Wien mit der Dissertation „Halbautomatische Gebäudeextraktion durch hybride Ausgleichung unter Einbeziehung von 3D Flächenmodellen sowie die Verwaltung von Gebäudedaten in einem TIS“ zum Dr.techn. promoviert. Prüfer waren: Univ.Prof. Dr. Josef Jansa, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien, und Univ.Prof. Dr. Werner Schneider, Universität für Bodenkultur. Die Dissertation wird als Geowissenschaftliche Mitteilung der Studienrichtung Vermessung und Geoinformation der TU Wien als Heft 56 veröffentlicht. Details s. <http://www.ipf.tuwien.ac.at/dissertationen/disska.html>

Halbautomatische Gebäudeextraktion durch hybride Ausgleichung unter Einbeziehung von 3D Flächenmodellen sowie die Verwaltung von Gebäudedaten in einem TIS

Franz Rottensteiner

Dissertation: Fakultät für Technische Naturwissenschaften und Informatik der TU Wien, 2001.

Prüfer: Univ.Prof. Dr. Josef Jansa, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien, und Univ.-Prof. Dr. Werner Schneider, Universität für Bodenkultur.

Halbautomatische Gebäudeextraktion durch hybride Ausgleichung unter Einbeziehung von 3D Flächenmodellen sowie die Verwaltung von Gebäudedaten in einem TIS

In dieser Arbeit wird eine neue Methode zur halbautomatischen Gebäudeextraktion ebenso vorgestellt wie ein Konzept für die gemeinsame Speicherung und Ver-

waltung von Gebäudemodellen, Gelände- und anderen topographischen Daten in einem topographischen Informationssystem (TIS). Die neue Methode zur Gebäudeextraktion basiert auf der Integration der Schätzung von Objektparametern in den photogrammetrischen Auswerteprozess. Ihre wichtigsten Merkmale umfassen:

Anwendung eines hybriden Modellierungsschemas für die Gebäudeextraktion:

Es gibt eine Benutzerschnittstelle, die auf dem Prinzip der Constructive Solid Geometry (CSG) basiert. Diese Benutzerschnittstelle erlaubt es, jedes Gebäude zuerst in eine Menge von einfachen Primitiven zu zerlegen, die dann mit Hilfe Boolescher Operatoren kombiniert werden.

Die interne Datenstruktur sowohl der Primitive als auch der zusammengesetzten Gebäude basiert auf dem Prinzip der Modellierung durch Begrenzungsflächen (boundary representation).

Die Gebäudeprimitive werden in einer Datenbank von häufig auftretenden Gebäudeformen zur Verfügung gestellt.

Der Arbeitsablauf zur Rekonstruktion eines einzelnen Primitivs umfaßt vier Schritte:

- Auswahl eines Primitivs aus der Datenbank
- Interaktive Modifikation der Parameter des Primitivs
- Automatische Feinmessung
- Visuelle Inspektion und gegebenenfalls interaktive Nachbearbeitung der Parameter des Primitivs.

In allen Phasen dieses Auswerteprozesses übernimmt die Integration von robuster Parameterschätzung und Objektmodellierung eine Schlüsselrolle: Intern werden sowohl das gesamte Gebäude als auch die einzelnen Primitive als Flächenmodelle dargestellt. Die spezifischen Eigenschaften dieser Flächenmodelle ergeben sich unmittelbar aus den Erfordernissen der Parameterschätzung im photogrammetrischen Prozeß. Die Parameter der Gebäudeflächen und die Objektkoordinaten der Gebäudeecken werden simultan durch eine hybride Ausgleichung sowohl von beobachteten Bildkoordinaten als auch von Flächenbeobachtungen bestimmt.

Durch die spezifische Art der Integration der Schätzung der Flächenparameter muß nur eine minimale Anzahl von Parametern für jedes Primitiv verwendet werden, obwohl das sehr allgemeine Konzept der Modellierung durch Begrenzungsflächen angewendet wird. Zusätzlich kann mit Hilfe unserer Modellierungstechnik die Datenbank der Gebäudeprimitive sehr leicht erweitert werden. Die neue Methode ist flexibel genug, um alle Gebäude rekonstruieren zu können, die durch Polyeder beschreibbar sind.

Das Modul für die automatisierte Feinmessung der Gebäudeprimitive stellt ein Beispiel für die Anwendung eines allgemeinen Konzepts zur automatisierten Rekonstruktion von Objektoberflächen dar, das auf der hierarchischen Anwendung von merkmalsbasierten Zuordnungsverfahren im Objektraum basiert. Wiederum wird die Integration des Objektraumes in den Zuordnungsprozeß mit Hilfe der oben beschriebenen Modellierungstechnik auf Basis des Prinzips der Flächenbeobachtungen erreicht. Unter „Flächenbeobachtung“ wird dabei eine Beobachtung der Art verstanden, daß ein

Punkt auf einer Fläche im Objektraum liegt, die ihrerseits einer Fläche des zu rekonstruierenden Objektes zugeordnet werden kann.

Sobald ein Gebäude rekonstruiert worden ist, wird es in einem TIS gespeichert. Die Verwaltung von Gebäude-, Gelände- und, falls vorhanden, anderer topographischer Daten beruht auf einem einheitlichen Prinzip, auch wenn unterschiedliche Methoden zur geometrischen Modellierung verwendet werden: die Metadaten werden in einer relationalen Datenbank mit spezifischen Erweiterungen zur Verwaltung topographischer Daten verwaltet. Die tatsächlichen Daten werden in der Datenbank als binäre große Objekte (binary large objects) behandelt. Für den Zugriff auf diese hybriden topographischen Daten z.B. in Visualisierungsprogrammen wurde eine objektorientierte Schnittstelle erstellt.

Die neue Methode ist in die am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien entwickelten Programme integriert, insbesondere in ORPHEUS und ORIENT für die monoskopische interaktive Messung in digitalen Bildern bzw. für die Ausgleichung hybrider Beobachtungen. Die Rolle des TIS wird von SCOP.TDM übernommen.

Diese Arbeit beginnt mit einem Überblick über bestehende Systeme auf dem Gebiet der (voll- und halb-automatischen) Gebäudeextraktion. Danach wird der theoretische Hintergrund der neuen Methode bezüglich der geometrischen Modellierung topographischer Objekte, der Datenverwaltung in TIS und der verwendeten Verfahren zur Parameterschätzung dargestellt. Es folgt eine detaillierte Beschreibung des neuen Verfahrens und aller seiner Komponenten, wobei besonders auf unser allgemeines Konzept zur automatisierten Rekonstruktion von Objektoberflächen Wert gelegt wird, das seinerseits wieder auf bestehenden Arbeiten auf dem Gebiet der Bildzuordnung beruht. Schließlich wird das neue Verfahren an Hand eines Testprojekts im niederösterreichischen Ort Stoitzendorf (Bildmaßstab: 1:4500, Kammerkonstante: 15 cm, 70% Längs- und 50% Querüberdeckung) evaluiert. In diesem Testprojekt, in dem die meisten Gebäude in sechs Bildern sichtbar sind, zeigte sich, daß das automatisierte

Modul bei gut definierten Dachkanten Ergebnisse mit einer Genauigkeit von $\pm 2-5$ cm in der Lage und $\pm 5-10$ cm in der Höhe gibt. Der Einfluß der wichtigsten Steuerparameter des Verfahrens auf die Ergebnisse wird ebenso untersucht wie die Bedingungen, unter denen es scheitert. Weiters wurden für einen Teil des Ortes alle Gebäude unter Verwendung des hier vorgestellten Verfahrens rekonstruiert, um auf exemplarische Weise seine Anwendbarkeit zu demonstrieren.

Objektrekonstruktion aus perspektiven Bildern unter Einbeziehung von Umrißlinien

Dietmar Legenstein

Dissertation: Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien, 2001.

Prüfer: Univ.Prof. Dr. Karl Kraus, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien und

O.Univ.Prof. Mag.rer.nat. Dr.techn. Helmut Pottmann, Abteilung für Geometrie im Bauwesen und im Scientific Computing, Institut für Geometrie, TU Wien. Betreuer: Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Helmut Kager, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien.

Die Hauptaufgabe der Photogrammetrie ist es, aus analogen oder digitalen Bildern dreidimensionale Objekte – Größe, Form, Lage oder geometrische Abstände – zu rekonstruieren. Dazu werden zunächst aus Photos mit Hilfe von bekannten „Gebilden“ die Aufnahmeorte und die Orientierungsparameter bestimmt. In erster Linie wird die Objektrekonstruktion mittels Verknüpfungspunkten – oder auch über kurvenförmige Merkmale – gelöst. In dieser Arbeit hingegen soll die Objektrekonstruktion über Umrißlinien diskutiert werden. Die Einbeziehung von Umrißpunkten bei der Objektrekonstruktion ist dann von Bedeutung, wenn am Objekt nur wenige Punkte gemessen werden können, und das Einmessen eines jeden weiteren Punktes mit erheblichem Mehraufwand verbunden wäre. In der digitalen Photogrammetrie bietet sich an, Umrißlinien automatisch zu detektieren, jedoch müssen diese Linien als Umriss identifiziert und den entsprechenden Objekten zugeordnet werden. Eine Objektrekonstruktion ausschließlich über Umrißlinien stößt bei Flächen mit Eindellungen an ihre Grenzen, jedoch auch hier liefert sie wertvolle Beiträge.

Im ersten Teil der Arbeit wird das mathematische und photogrammetrische Gebäude, das für die Lösung dieser Aufgabe nötig ist, entwickelt; der zweite Teil beschäftigt sich mit der Implementierung in das Programmpaket ORIENT. Abgerundet wird diese Arbeit durch ein Musterbeispiel (Vermessung des Wiener Fernwärmeturms), an dem der Einsatz der entwickelten Theorie ausführlich gezeigt wird.

Von den folgenden Diplomarbeiten haben die Kandidaten Werner Lienhart, Elmar G. Wasle und Harald Stelzl die II. Diplomprüfung aus dem Vermessungswesen mit Auszeichnung abgelegt.

Anwendungen des Lumped Coefficients Approach für ausgewählte Probleme in Satellite Gravity Gradiometry

Werner Lienhart

Diplomarbeit: Institut für Theoretische Geodäsie Abteilung für Mathematische Geodäsie und Geoinformatik, 2001

Betreuer: o.Univ.-Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Hans Sünkel

Die Gravity Field and Ocean Circulation Explorer (GOCE) Mission ist eine dem Schwerfeld der Erde gewidmete Satellitenmission der European Space Agency (ESA) mit geplantem Start Sommer 2004.

Gängige mathematische Modelle zur Darstellung des Erdschwerfelds basieren auf einer Reihenentwicklung von Kugelfunktionen und führen zu einer hohen Anzahl von unbekanntem Kugelfunktionskoeffizienten und großen Gleichungssystemen.

Eine Methode, um solche Gleichungssysteme auszuwerten bietet der Ansatz der lumped coefficients, wobei

die Beobachtungen als Zeitreihe entlang der Satellitenbahn betrachtet werden.

In der Diplomarbeit wird der lumped coefficients Ansatz verwendet, um die Abbildung der Frequenzdarstellung der Zeitreihe auf die Kugelfunktionskoeffizienten zu untersuchen. Es wird gezeigt, dass es möglich ist, bei bekannter Frequenz eines beliebigen, gemessenen Signals vorherzusagen, welche Koeffizienten beeinflusst werden.

Weiters wird dargelegt, dass spectral leakage, aliasing und windowing im Ortsbereich zusammenspielen und einen Einfluss auf das Ergebnis haben können.

Es wird bewiesen, dass bei bekannter Bahnkonfiguration und Beobachtungsrate, sowohl der Beitrag der Kugelfunktionskoeffizienten im Frequenzspektrum geteilt, als auch die Amplituden selbst bestimmt werden können.

Besondere Probleme von Satellite Gravity Gradiometry (SGG), wie farbiges Rauschverhalten des Gradiometers werden simuliert und analysiert. Verschiedene Filterfunktionen werden angewendet und deren Einfluss auf die Fehlerschätzung wird erläutert.

Für die graphische Darstellung der Ergebnisse wurde ein MATLAB Programm erstellt, genannt SPHERAN (SPHERical harmonic ANalysis of satellite gravity gradiometry data), welches in der Diplomarbeit vorgestellt wird.

The Significance of Orthogonality in the Framework of Digital Signal Analysis

(Der Stellenwert der Orthogonalität in der digitalen Signalanalyse)

Elmar G. Wasle

Diplomarbeit: Institut für Theoretische Geodäsie Abteilung für Mathematische Geodäsie und Geoinformatik, 2001

Betreuer: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Wolf-Dieter Schuh

Das angestrebte Ziel zukünftiger Satellitenmissionen wie z.B. GOCE ist die Bestimmung des Erdgravitationsfeldes und der damit verbundenen Referenz-Equipotentialfläche - dem Geoid. Das Geoid der Erde, entlang eines Meridians betrachtet, entspricht einem eindimensionalen, periodischen Signal, das, wie aus der Signalverarbeitung bekannt ist, durch ein Linienspektrum definiert wird. Die Transformation in ein Spektrum wird durch die Orthogonalität der Basisfunktionen ermöglicht. Werden nicht alle Basisfunktionen, die ein Signal synthetisieren, analysiert, so kommt es auf Grund des Aliasing-Effekts als Folge der Abtastung des kontinuierlichen Signals wie auch durch Leakage zu Verzerrungen des Spektrums. Leakage entsteht entweder durch unregelmäßig verteilte Daten oder durch ein Analyseintervall das nicht der Periode des Signals entspricht. Die Konsequenz beider Effekte ist ein Verlust der Orthogonalität der Basis. Unterschiedliche Gruppen von Basisfunktionen z.B. trigonometrische Funktionen, Legendre Polynome stellen dabei individuelle Anforderungen an die Datenverteilung. Die Signalanalyse beschäftigt sich

mit der Bestimmung der Basisfunktionskoeffizienten, die das Signal definieren. Die Anwendung der Ausgleichsrechnung als Identifikationsprozess ermöglicht die exakte Analyse des Signals durch entsprechende Wahl einer Gewichtsmatrix, deren Verwendung entweder als Filterungsprozess oder als Orthogonalisierungsstrategie zu verstehen ist.

Bestimmung einer Fahrzeugtrajektorie mit GPS und Map-Aiding

Walter Wurzer

Diplomarbeit: Institut für Theoretische Geodäsie Abteilung für Mathematische Geodäsie und Geoinformatik, 2001

Betreuer: Ass.Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Manfred Wieser

Das Interesse an der Fahrzeugnavigation im allgemeinen und der Trajektorienbestimmung eines Fahrzeugs im besonderen ist stark im Steigen begriffen. Mitverantwortlich für den rasanten Fortschritt ist die günstige Entwicklung auf dem GPS-Sektor. Die Signallabschattungen durch hohe Gebäude im urbanen Bereich stellen dabei nach wie vor das Hauptproblem dar. In diesem Zusammenhang werden an die Signalverarbeitung besondere Anforderungen gestellt. Um die Eignung verschiedener mathematischer Verfahren zu testen, wurden im Stadtgebiet von Graz mehrere Fahrten absolviert. Ein im Fahrzeug mitgeführter GPS-Empfänger zeichnete die Messdaten in Form von Pseudostrecken auf. Ziel der Auswertung war es, eine Trajektorie zu berechnen, welche möglichst gut mit der wahren Fahrtroute zusammenpasst. Die Anwendung des Kalmanfilters ermöglichte eine starke Verbesserung der Resultate gegenüber einer reinen GPS-Auswertung. Auch die Vorteile, die sich durch differentielles GPS und den Wegfall von SA (selective availability) ergeben, werden diskutiert. Zusätzlich wurden aus der digitalen Straßenkarte von Graz Richtungsinformationen abgeleitet und gemeinsam mit den GPS-Messungen gefiltert. Dieses als Map-Aiding bekannte Verfahren verhilft schließlich zu genaueren und zuverlässigeren Ergebnissen, vor allem im Fall ungenügender GPS-Verfügbarkeit.

Materialanalyse an Bauwerksfassaden mittels Klassifikation in Digitalbildern

Doris Griessnig

Diplomarbeit: Institut für Angewandte Geodäsie, Abteilung für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Graz, 2001

Betreuer: o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerhard Brandstätter

In der vorliegenden Arbeit soll der Prozess der Identifizierung von auftretenden Materialien und Schäden an historischen Gebäuden mittels Methoden der digitalen Bildverarbeitung sowie der Mustererkennung automatisiert und eine lückenlose Information über Gebäudefassaden erstellt werden. Die dafür notwendigen Bilder wurden mit einer analogen Kamera unter Verwendung eines speziellen Infrarotfilms und einer digitalen Kamera aufgenommen. An beide Kameras wurden zur Beschaf-

fung spezieller Bildinformationen unterschiedliche Filter am Objektiv angebracht. Die Bilder repräsentieren somit ein und denselben Fassadenteil sowohl im sichtbaren elektromagnetischen Spektrum als auch im nahen Infrarot. Die Untersuchungen wurden mittels verschiedener Klassifizierungsarten, der spektralen Klassifizierung, der texturalen Klassifizierung und einer Kombination der beiden, durchgeführt. Im Rahmen der Arbeit konnte festgestellt werden, dass eine spektrale Klassifizierung unter Miteinbeziehen einiger Elemente der texturalen Klassifizierung das beste Ergebnis lieferte.

Kartographische Modellierung von GDF-Daten in Smallworld GIS

Dieter Leitner

Diplomarbeit: Institut für Theoretische Geodäsie, Abteilung Mathematische Geodäsie und Geoinformatik, 2001
Betreuer: Ao. Univ.-Prof. Dr. Norbert Bartelme

Das gestiegene Kommunikationsbedürfnis der Menschen und der Kampf um wirtschaftliche Wettbewerbsvorteile erfordern den zunehmenden Einsatz digitaler Werkzeuge bei der Bewältigung räumlicher Dimensionen. Zeit und Geschwindigkeit sind wichtige Qualitätskriterien einer Dienstleistung. Aus diesen Gründen ist die Nachfrage nach intelligenten Verkehrsleitsystemen in den letzten Jahren stark steigend.

Seit den späten achtziger Jahren beschäftigt man sich an der Abteilung für Mathematische Geodäsie und Geoinformatik (MGGI) der TU Graz mit der Entwicklung eines Automobilinformationssystems (AIS). Das AIS Graz enthält das Straßen- und Wegenetz von Graz und die mit diesem in Beziehung stehenden Daten.

Straßennetz-Routenfindung und Leitempfehlungen bedürfen einer Datenstruktur, die in erster Linie die Funktion und nicht die territoriale Ausprägung der Straße geometrisch und attributiv beschreibt. GDF-Datensätze (Graphic Data Files) beinhalten die anwendungsorientierte Geometrie (Knoten-Link-Topologie), straßenverkehrsrelevante Attribute und die Beziehungen (Relationen) von Geometrie und Attributen zueinander.

Die Idee zu dieser Arbeit entstand aus dem Bedürfnis der gesamten Datenstruktur, die auf Kanten-Knoten aufbaut, ein modernes kartographisches Bild zu verleihen. Es werden Überlegungen zur Visualisierung von GDF-Daten angestellt, das Smallworld Style-System durchleuchtet und die kartographische Modellierung im AIS Graz beschrieben.

Der multimediale digitale Wanderführer auf Basis von Fernerkundungsdaten

Harald Stelzl

Diplomarbeit: Institut für Angewandte Geodäsie, Abteilung für Photogrammetrie und Fernerkundung, 2001
Betreuer: o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerhard Brandstätter

Das Zusammenwirken verschiedenster Medien bei der Informationsvermittlung gewinnt sowohl in wirt-

schaftlichen als auch wissenschaftlichen Bereichen immer mehr an Bedeutung. In der EDV wurde dafür der Begriff Multimedia geprägt, der dafür steht, daß verschiedene Medien für eine verbesserte Informationspräsentation kombiniert werden.

Auch in touristischen Belangen wird multimediale Informationsvermittlung im Internet sowie auf digitalen Broschüren immer stärker eingesetzt. Daraus entstand die Idee, einen Wanderführer mit den zur Zeit gängigen Multimediatechniken umzusetzen.

Da speziell in diesem Bereich der Bezug zur Region und zur Natur besonders stark sein soll, wurden sämtliche Landschaftsdarstellungen auf Basis von Luft- und Satellitenbilddaten erstellt. Um einen guten und umfassenden Eindruck von den Wanderrouten und Regionen zu vermitteln, wurden die 3D-Tourendarstellungen durch virtuelle Flüge und 360°-Panoramen ergänzt.

In der Arbeit werden die Grundlagen und Vorverarbeitungsschritte digitaler Fernerkundungsdaten beschrieben, weiters wird ein kurzer Abriss über Multimediatechniken gegeben. Auf Basis dieser Grundlagen werden dann die Erstellung der 3D-Modelle und Animationen sowie ihre Einbindung in den digitalen Wanderführer gezeigt.

Die Idee, einen multimedialen Wanderführer zu erstellen, entstand aus verschiedenen Projekten der Gruppe für 3D-Visualisierung und Multimedia am Institut für Digitale Bildverarbeitung (<http://dib.joanneum.ac.at/>) der Forschungsgesellschaft Joanneum Research Graz. Die Anwendung von Fernerkundungsdaten für touristische Zwecke bildete das Hauptthema eines von der EU geförderten Projektes, welches im Jahr 2000 durchgeführt wurde. Hierbei wurde demonstriert, welche potentiellen Möglichkeiten der Visualisierung für den Tourismus vorhanden sind. Der multimediale digitale Wanderführer ist ein Demoprodukt aus diesem Projekt.

Modellgestützte Rekonstruktion von Gebäuden und deren Verwaltung in einem Topographischen Informationssystem

Florian Twaroch

Diplomarbeit: Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technischen Universität Wien, 2001
Begutachter: o.Univ.Prof. Dr. Karl Kraus, Betreuer:
Dipl.-Ing. Dr. Franz Rottensteiner

In dieser Diplomarbeit werden Prinzipien vorgestellt, die auch im Bereich GIS und Computer Vision anzusetzen sind. Ein neuartiges System zur halbautomatischen Erfassung von Gebäuden wird vorgestellt, erweitert und getestet. Es ist innerhalb der am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien entwickelten Programme realisiert: ORPHEUS zur monoskopischen, interaktiven Messung in digitalen Bildern, ORIENT zur robusten hybriden Ausgleichung und SCOP.TDM zur Verwaltung von topographischen Daten.

Das System wendet ein hybrides Modellierungsschema an, das dem Benutzer über eine graphische

Schnittstelle einfache Gebäudeprimitive zur Verfügung stellt, die nach der Rekonstruktion mit Booleschen Operatoren kombiniert werden können. Intern werden diese Gebäudeprimitive als Randdarstellungen behandelt. Die Flächen der Randdarstellung werden im Rekonstruktionsprozeß durch ebene Gestalten repräsentiert. Diese Ebenen werden durch beobachtete Punkte, die in diesen Ebenen liegen, mittels Ausgleichung bestimmt.

Neben fest implementierten prismatischen Primitiven gibt es parametrische Primitive, die vom Benutzer definiert werden können und die in einer Datenbank verwaltet werden. Eine solche Datenbank von Primitiven wurde im Rahmen dieser Arbeit erstellt.

Um ein einzelnes Gebäude zu rekonstruieren, wird aus der Datenbank ein Primitiv ausgewählt und seine Parameter interaktiv bestimmt. Danach erfolgt eine automatische Feinmessung. Durch visuelle Kontrolle kann festgestellt werden, ob eine interaktive Nachbearbeitung des Primitivs nötig ist.

Eine zentrale Rolle, sowohl bei der interaktiven, als auch bei der automatischen Bestimmung der Parameter, spielt die robuste hybride Ausgleichung, wobei neben den beobachteten Bildkoordinaten der Gebäudeecken auch Gestaltbeobachtungen berücksichtigt werden. Die automatische Feinmessung wendet merkmalsbasierte Zuordnung im Objektraum in einem hierarchischen Verfahren an.

Die rekonstruierten Gebäude sollten dauerhaft in einem Topographischen Informationssystem gespeichert werden. Gebäudeprimitive werden vom System als Binärobjekte gespeichert, während deren Metadaten in einer relationalen Datenbank verwaltet werden. Im Zuge dieser Arbeit wurde eine Schnittstelle entwickelt, die eine objektorientierte Sicht auf eine relationale Datenbank für die Verwendung der Gebäudedaten ermöglicht.

Das System wurde im Rahmen der Diplomarbeit anhand eines Pilotprojektes getestet. Dabei wurde das Verhalten der Kontrollparameter auf die Ergebnisse der automatischen Feinmessung und die Praxistauglichkeit des Verfahrens untersucht. Die Parameter gut definierter Gebäude wurden mit einer Lagegenauigkeit von $\pm 2-5$ cm und einer Höhengenaugigkeit von $\pm 5-10$ cm bestimmt.

Automatische Ableitung digitaler Geländemodelle

Martin Moosmann

Diplomarbeit: Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technischen Universität Wien, 2001
Begutachter: ao.Univ.Prof. Dr. Josef Jansa, Betreuer:
Dipl.-Ing. Dr. Franz Rottensteiner

Digitale Geländemodelle stellen mittlerweile bei der Vermittlung raumbezogener Daten ein unverzichtbares Hilfsmittel dar; sie sind beispielsweise wichtige Bestandteile in Geoinformationssystemen und bei der digitalen Orthophotoherstellung.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, einen Algorithmus für die automatische Generierung von digitalen Gelände-

modellen aus digitalen Bildern zu entwickeln und zu implementieren. Der Algorithmus soll dabei einen allgemeinen Ansatz zur Rekonstruktion von Objekten, der am Institut für Fernerkundung und Photogrammetrie der Technischen Universität Wien entwickelt wurde, spezialisieren.

Ausgegangen wird von zwei digitalen Bildern, den aus ihnen abgeleiteten Bildpyramiden und den bekannten Parametern der Orientierung, sowie von einer groben Näherung für das Geländemodell. Der Rekonstruktionsprozess zur Schaffung eines genauen Geländemodells läuft hierarchisch „vom Groben ins Feine“ ab. Auf jeder Auflösungsstufe der digitalen Bilder erfolgt eine eigenständige Rekonstruktion der Geländeoberfläche. Zum Zwecke der Rekonstruktion werden die Bilder untereinander und mit dem Objekt in Beziehung gesetzt. Dies erfolgt durch eine merkmalsbasierte Zuordnung von Bildern im Objektraum.

Aus dem Ergebnis des Zuordnungsprozesses entsteht in einem Nachbearbeitungsprozess ein neues, genaueres Geländemodell. Dieses Modell dient als Näherungsmodell für die nächste Auflösungsstufe, solange der hierarchische Prozess nicht abgeschlossen ist.

Im Hintergrund des gesamten Ablaufs steht das am Institut für Fernerkundung und Photogrammetrie der Technischen Universität Wien entwickelte Programmsystem ORIENT. Es übernimmt die Datenverwaltung und ermöglicht die Einbindung eines expliziten Objektmodells in den Prozess, sowie die Durchführung robu-

ster, hybrider Ausgleichungen, die im Zuordnungsalgorithmus von entscheidender Bedeutung sind.

Der entwickelte Algorithmus wurde als C++ - Klasse implementiert. Diese fügt sich in objektorientierte Klassenbibliothek ein, welche Werkzeuge zur Rekonstruktion von Objekten zusammenfasst.

Entwicklung und Erprobung eines schrittmotorgesteuerten Digitalnivelliers

Alexander Reiterer

Diplomarbeit: Institut für Geodäsie und Geophysik, Abteilung für Angewandte Geodäsie und Ingenieur-geodäsie der Technischen Universität Wien, 2001
Begutachter und Betreuer: o. Univ. Prof. Dr.-Ing. Heribert Kahmen, Mitbetreuer: Univ. Ass. Dipl.-Ing. Klaus Chmelina

Digitale Nivelliere werden – neben den üblichen Anwendungen in geometrischen Linien und Flächennivellements - zunehmend bei permanenten Beobachtungen von Bauwerken eingesetzt. In dieser Arbeit wird die Entwicklung des Prototypen eines motorisierten Digitalnivelliers dargestellt. Seine Praxistauglichkeit wird durch ausgiebige Testmessungen und eine Langzeitüberwachungsmessung geprüft. Abschließend wird die entwickelte Steuerungssoftware durch eine wissensbasierte Messdatenverarbeitung, welche mit Hilfe gesammelter Informationen die Überwachungsmessung optimiert, erweitert.

Mitteilungen und Tagungsberichte

International Workshop on Recreating the Past – Visualization and Animation of Cultural Heritage 26.2. – 1.3.2001 in Ayutthaya, Thailand

Vom 26. Februar bis 1. März 2001 fand in Ayutthaya, Thailand ein internationaler Workshop zum Thema Visualisierung des Kulturerbes statt. Er wurde von der ISPRS Arbeitsgruppe WG V/6 – „Visualization and Animation“ (Armin Grün, Shunji Murai) gemeinsam mit CIPA (The ICOSMOS / ISPRS Committee for Documentation of Cultural Heritage, früher: International Committee for Architectural Photogrammetry, Peter Waldhäusl, Cliff Ogleby) unter tatkräftiger Unterstützung einer lokalen thailändischen Organisatorengruppe ausgerichtet. Ayutthaya war von den Veranstaltern u.a. wegen seines prominenten Status auf der Liste des Weltkulturerbes der UNESCO ausgesucht worden.

Die insgesamt 61 Teilnehmer kamen aus 13 Ländern. Die stärksten

Delegationen stellten dabei Japan und Thailand mit je 19 und die Europäische Union mit 18 Kollegen, davon 1 aus Österreich. In 30 Vorträgen und 8 Posterpräsentationen wurde einerseits ein Überblick über die augenblicklichen Entwicklungen der Digitalphotogrammetrie und Visualisierungstechniken gegeben aber auch grundlegende Fragen wie z.B. über die Sinnhaftigkeit und Authentizität der erzielten Ergebnisse solcher Techniken diskutiert.

Die breite Palette von Plattformen zur Datenerfassung im Bereich der Kulturgutvermessung reicht von Satelliten über Leichtflugzeuge und Modellhelikopter bis zum Vermessungsstativ. Die dazupassenden Sensoren können sowohl bildgebend sein (Digital- oder Analogka-

meras jedweder Art) oder rein geometrische (Tachymeter) oder unstrukturierte Daten (Laserscanner) generieren. Jedes dieser Verfahren hat seine Stärken und Schwächen in der Erfassung globaler Formen oder in der Modellierung von Details mit hoher Punktdichte. Die daraus folgende, notwendige Kombination bzw. die Zusammenführung solch unterschiedlicher Ausgangsdaten bereitet noch vielfältige Schwierigkeiten und ist Gegenstand von Entwicklungen bzw. Untersuchungen mehrerer Gruppen.

Die besondere Gefährdung von Kulturgut in den Ländern der 3. Welt einerseits durch potentielle Einwirkung von Gewalt und andererseits durch Mangel an Ressourcen zum Schutz bzw. zur Erhaltung der Kulturdenkmalen verlangen nach Low-Cost Methoden zu deren raschen Dokumentation. Die während des Workshops eintreffende Ankündigung des Taliban-Regimes, alle Buddha – Statuen in Afghanistan

zerstören zu wollen, machte schnell selbst einem eventuell noch skeptischen Teilnehmer die Brisanz und Aktualität des Themas klar. Dass das bloße Propagieren von High-End Lösungen zur Befriedigung der eigenen wissenschaftlichen Bedürfnisse zur Lösung dieser Problematik nicht oder zumindest nur in kleinsten Bereichen beitragen kann wurde in mehreren Beiträgen leidenschaftlich unterstrichen.

Neben der Erfassung der Daten war – dem Generalthema entsprechend – der Darstellung bzw. Visualisierung von historischen Bauten und archäologischen Artefakten eine große Zahl von Präsentationen gewidmet. Die geometrische Modellierung, Oberflächendefinition mit und

ohne Fototextur sowie die interaktive Begegnung mit virtuellen Welten bis hin zum virtuellen Museum im Internet ist technisch beherrscht und wartet bereits auf ihre Anwendung. Die Einbindung der Daten in Informationssysteme zur einfachen raumbezogenen Analyse durch den Anwender fordert einfache 3D-GIS Applikationen und Strukturen, die auch durch unerfahrene Enduser beherrschbar sind.

In der Schlussdiskussion war die Hoffnung nach einer Standardisierung und daher breiteren Anwendung der vorgestellten Techniken durch Kostenreduktion in den Bereichen Bildung, Dokumentation, Rekonstruktion, Restaurierung und Schadensanalyse von historisch be-

deutenden Bauwerken unüberhörbar.

Den krönenden Höhepunkt bildete eine Exkursion zur Tempelanlage in Phimai, ca. 200 km nordöstlich von Ayutthaya. Diese Anlage ist vermutlich älter (etwa 11. Jhdt.) als ihre „Schwester“ Angkor Wat in Kambodscha und veranschaulichte uns den Einfluss der Khmer in diesem Gebiet über viele Jahrhunderte ebenso wie die nicht zu unterschätzenden Probleme in der Erfassung solch komplexer Architektur.

Die Beiträge wurden als Band XXXIV Teil 5/W1 in den International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing der ISPRS veröffentlicht.

Klaus Hanke

6. Münchner Fortbildungsseminar – Geoinformationssysteme 2001 14. – 16. März 2001

Das benachbarte Bayern weist mit dem Münchner GIS-Seminar eine schon gut eingeführte, regelmäßig stattfindende und jedes Mal wieder interessante Veranstaltung auf. Neu bei der diesjährigen Tagung war der erweiterte Kreis der Veranstalter, denn das Institut für Geodäsie, GIS und Landmanagement wurde und wird nun auch in dieser organisatorischen Hinsicht vom Runden Tisch GIS e.V. unterstützt. Die über 300 Teilnehmer konnten sich von der perfekten Organisation der gesamten Veranstaltung durch das Team um Professor Schilcher überzeugen. Vom Kongressbüro über die Pausenerfrischungen bis zum „gemeinsamen Abend“ in einem renovierten/renommierten Münchner Bierkeller (Starkbierzeit!) hat einfach alles gestimmt.

Die Veranstaltung war in drei inhaltliche Blöcke unterteilt: am ersten Tag wurden Grundlagen vermittelt und

neue Forschungsergebnisse präsentiert, der zweite Tag war den Themen Geodatenvertrieb und mobile Technologien vorbehalten und am dritten Tag wurden ausgewählte Anwendungen präsentiert. Eine „aktuelle Stunde“ zum Entschließungsantrag im deutschen Bundestag zum Thema Nutzung von Geoinformation wurde auf Grund der Aktualität in das Programm kurzfristig eingebaut.

Im folgenden soll nicht auf jeden Vortrag im einzelnen eingegangen werden, hervorheben möchte ich aber die Beiträge von Peter Ladstätter über verteilte Geodatenbestände und die Möglichkeiten diese zu kombinieren, den Beitrag von Thomas Wunderlich über neue Geschäftsfelder und deren mögliche Erschließung sowie die Beiträge aus der Praxis von Manfred Müller über das Projekt ZÜRS (Zonierungssystem für Überschwemmung, Rückstau und Starkregen) und

Bernd Stieber über das Immobilienportal PlanetHome.

Interessant war der Beitrag von Bernd Schindewolf über den Geodatenvertrieb der Vermessungsverwaltung Baden-Württemberg via Internet. Zwar ist die Oberfläche für Laien/Privatkunden/Bürger leichter zu bedienen, dafür sind die Kosten einer Grundstücksabfrage wesentlich höher als bei der österreichischen Lösung.

Die Zahl der Österreicher bei dieser Fachtagung war sehr gering, vielleicht eine Folge der fast zeitgleich stattfindenden anderen Kongresse zu ähnlichen Themen. Vielleicht hilft für die nächstjährige Tagung ein rechtzeitiger Eintrag in den Terminplaner: 7. Münchner Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme 2002 – 6. bis 8. März 2002.

Tagungsunterlagen und weitere Informationen sind über das Institut für Geodäsie, GIS und Landmanagement, Fachgebiet Geoinformationssysteme in 80290 München, Arcisstraße 21 erhältlich.

Thomas Weinold

„Die Globalisierung beginnt bei den Referenzsystemen“ Jahrestagung der IAG-Subkommission für Europa (EUREF) 15. – 19.5.2001 in Dubrovnik, Kroatien

Die Subkommission für Europa gehört zur Kommission X (globale und regionale geodätische Netze) der IAG (Internationale Assoziation für Geodäsie). Diese Subkommission,

auch bekannt unter der Bezeichnung EUREF (European Reference Frame), ist für das 3-dimensionale Referenzsystem ETRS und das vertikale Referenzsystem EVRS, und

deren Umsetzung in die Praxis zuständig. Die Realisierung eines Bezugssystems nennt man auch Bezugsrahmen oder Reference Frame. Einmal jährlich findet ein Symposium dieser Subkommission über den letzten Stand der technischen Arbeiten, sowie über aktuelle Probleme, statt. Veranstaltet wird dieses Symposium jeweils von einem

Mitgliedsland. Dieses Jahr wurde die Veranstaltung von der Kroatischen Vermessungsverwaltung (State Geodetic Administration) organisiert. Die Stadt Dubrovnik, in der die Tagung abgehalten wurde, konnte sich nach dem Erdbeben in den 80-er Jahren und den Kriegsergebnissen zu Beginn der 90-er Jahre wieder in bestem Zustand präsentieren. An dem ausgezeichnet organisierten und abgewickelten Symposium nahmen ca. 100 Fachleute aus nahezu allen Ländern Europas teil. Die Teilnehmer kamen vor allem aus den Bereichen wissenschaftlicher Institutionen und von Vermessungsverwaltungen.

Bedingt durch die zunehmende Globalisierung, auch in den Bereichen Vermessung und Geoinformation, sowie durch die Erweiterungstendenzen in der EU, ist die Vereinheitlichung der Vermessungsgrundlagen nicht nur ein wissenschaftliches Anliegen, sondern für viele praktische Arbeiten eine Notwendigkeit. Weltweit liefern Satelliten Daten, die für ein breites Anwendungsgebiet bereitstehen. Wirtschaftliche Verknüpfungen erfordern auch auf regionaler Basis Informations- und Datenaustausch. Voraussetzung dafür sind klar definierte, einheitliche Bezugssysteme, die einen Austausch geocodierter Daten ermöglichen. Über den Stand der Vereinheitlichung der geodätischen Bezugssysteme/Bezugsrahmen in Europa, sowie die dabei auftretenden Probleme und mögliche Lösungsansätze wurde in den folgenden Sessionen, EUREF Permanent Network (EPN), Referenzsysteme ITRS2000 und ETRS1989, Europäisches Vertikales Referenzsystem EVRS und Nationalberichte berichtet.

EUREF Permanent Network (EPN)

Über das EPN wurde von C. Bruyninx (Belgien) berichtet. Das EPN umfasst zur Zeit ca. 120 GPS-Permanentstationen (4 davon in Österreich). Die Daten dieser GPS-Stationen werden an regionale Auswertezentren übermittelt und für wöchentliche Koordinatenberechnungen verwendet. Jede GPS-Station ist in 3 unterschiedlichen Teilnetzen enthalten, um durch die damit verbundene Mehrfachbestimmung der Koordinaten eine Kontrolle der Ergebnisse zu erzielen. Derzeit sind 13 regionale

Rechenzentren definiert, 2 zusätzliche stehen vor der Aufnahme in diese Gruppe. Die durch die regionalen Rechenzentren bereitgestellten Teillösungen werden im Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (Deutschland) zu einer europäischen Gesamtlösung vereinigt und bilden damit die Basis für

- den europäischen Bezugsrahmen ETRF,
- Ionosphären- und Troposphärenuntersuchungen,
- Zeitübertragung (z.B. für EDV Netzwerke) und
- Zeitserien (Tektonik).

Aufgrund von verfeinerten Auswertemodellen liegt die derzeit erreichbare Genauigkeit für die Bestimmung von Stationskoordinaten bei ± 5 mm (horizontal) und $\pm 7-9$ mm (vertikal). Die große Anzahl von Stationen erfordert es jedoch, die Aufzeichnungen über die GPS-Stationen zu erweitern, um mögliche Änderungen in den Stationskoordinaten besser interpretieren, und weitgehend automatisiert bearbeiten zu können. Die Stationsumgebung, die Ausrüstung und die verwendeten Instrumente, sowie alle Änderungen in diesen Parametern sollen detailliert beschrieben werden. Mit 4 Stationen ist Österreich am EPN beteiligt. Weiters wird ein regionales Teilnetz durch das Rechenzentrum Graz/Lustbühel ausgewertet (32 Stationen vom Nordkap bis in die Türkei). G. Stangl (Österreich) berichtete über seine Arbeiten als „data flow coordinator“ innerhalb der technischen Arbeitsgruppe von EUREF. Als „data flow coordinator“ erarbeitet G. Stangl derzeit ein Konzept für die Verbesserung der Datenübermittlung von den GPS-Stationen zu den regionalen Rechenzentren, weiters ist die Datensicherheit (Hacker) zu erhöhen und die längerfristige Datenspeicherung sicherzustellen. Ziel der EUREF Subkommission ist es, in immer kürzerer Zeit die Daten des EPN den Nutzern zur Verfügung zu stellen. G. Weber (Deutschland) berichtete über Versuche Referenzstationsdaten online über Internet den Usern anzubieten.

Referenzsysteme ITRS2000 und ETRS1989

Als weltweites Referenzsystem ist momentan ITRS97 (International Terrestrial Reference System 1997) in Verwendung. Von Z. Altamimi (Frank-

reich) wurde berichtet, dass aufgrund der neuesten Messungen und Berechnungen die Einführung von ITRF2000 geplant ist. Diese neue Realisierung des Bezugsrahmens beruht auf stellaren Messungen, Laser- und GPS-Messungen (VLBI, LLR, SLR) und umfasst weltweit ca. 800 Stationen. Wichtig ist dabei nicht nur die Bereitstellung von neuen Stationskoordinaten und Bahnkoordinaten für die GPS-Satelliten, sondern auch der zugehörigen Umrechnungsparameter von ITRF2000 in den europäischen Bezugsrahmen ETRF89. Hier werden vor allem die bisher verendeten Stationsgeschwindigkeiten Veränderungen erfahren. Das Model NNR-NUVEL-1A wird durch ein neues ersetzt werden.

Europäisches Vertikales Referenzsystem EVRS

Im Gegensatz zu dem europäischen 3D-System ETRS89, als künftiges Zielsystem, welches seit einigen Jahren als solches festgelegt wurde, ist bei dem vertikalen Referenzsystem erst seit kurzem das Zielsystem EVRS (European Vertical Reference System) festgelegt worden. Handelt es sich bei ETRS um ein weitgehend geometrisch definiertes System, ist die Definition eines Systems für den Höhenbezug komplizierter, da geometrische und physikalische Informationen zusammenspielen. Vereinzelt Diskussionen einfach die ellipsoidischen Höhen aus einem 3-D System zu verwenden, führten tatsächlich nie zu einem brauchbaren Ergebnis, da eben bei vielen Anwendungen der physikalische Bezug einer Höhe wichtig ist. Die Diskussionen innerhalb der EUREF Subkommission während des letzten Jahres führten zu folgendem Ergebnis, welches von J. Ihde (Deutschland) präsentiert wurde:

- Verwendung von Nivellementmessungen und Schwerewerten für die Berechnung von geopotentiellen Knoten(differenzen). Eine Berechnung liegt für ca. 80% aller europäischen Staaten im sogenannten UELN95/98 (United European Levelling Network) vor. Bezugspunkt der geopotentiellen Knoten ist der Pegel Amsterdam, als metrische Höhenwerte werden Normalhöhen verwendet,
- Verwendung des EUVN (European Vertical GPS Reference

Network), welches in einer gemeinsamen Messkampagne 1997 bestimmt wurde. Das EUVN besteht aus 70 Pegelstationen, 35 IGS Stationen und 100 sonstigen GPS-Stationen. Alle 205 Stationen wurden an das UELN angeschlossen, sodass ein Netzwerk mit hochgenauer geometrischer und physikalischer Information vorliegt,

- der Bezugspunkt Amsterdam ist im UELN noch lokal definiert. Für ein weltweit gültiges System ist noch ein Offset zu berücksichtigen welcher sich aus der Meerestopographie in Amsterdam und dem Abstand zwischen lokalem und weltweitem Geoid zusammensetzt. Dieser Offset ist noch nicht bekannt.

Dass ein weltweites vertikales System nicht nur von theoretischem Interesse ist, wurde von H.-P. Plag (Norwegen) in seinem Bericht über das European Sea Level Service (ESEAS) klaggestellt. Um die weltweiten Meeresspiegeländerungen bewerten und modellieren zu können, ist eine weltweite einheitliche Bearbeitung in einem exakt definierten System erforderlich. In dieses

System ist dann auch Europa mit seinem EVRS eingebunden.

Nationalberichte

Die Beiträge der einzelnen Ländervertreter umfassten ein breites Spektrum, wobei einige Schwerpunkte hervorgehoben seien: der Aufbau von DGPS-Diensten verlagert sich zunehmend in den Bereich der cm – Genauigkeit (Verwendung von sogenannten virtuellen Referenzstationen). In Deutschland, der Schweiz, Holland, Schweden sind solche Dienste im Aufbau, Ordnance Survey in Großbritannien prüft den Aufbau einer derartigen DGPS-Dienstes. GPS wird zur Höhenbestimmung bis in den Genauigkeitsbereich von Nivellements 3. und 4. Ordnung verwendet; auch wird über größere Entfernungen GPS-Höhenbestimmung mit lokalen Nivellements kombiniert eingesetzt (Frankreich). Die Modernisierung der nationalen Vermessungsgrundlagen wird sehr unterschiedlich gehandhabt, wobei nicht immer klar ersichtlich ist, wie weit diese Modernisierung tatsächlich reicht. Ist nur das Festpunktfeld 1.–3.0. oder 1.–

5.0. betroffen; wird auch der Kataster mit einbezogen?

Überraschenderweise gibt es wieder einige Länder die ihr nationales Nivellementnetz neu übermessen (z.B. Polen, Spanien, Holland,..). Zielsetzungen dabei sind die Aktualisierung des bestehenden Netzes, Geoidbestimmung und Bestimmung von Höhenänderungen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Ziel ein 3-D System für Europa zu definieren mit der Festlegung auf ETRS89 seit einigen Jahren erreicht ist. Das vertikale Referenzsystem EVRS als Kombination von UELN und EUVN festgelegt wurde. Um die Bedeutung dieser beiden Systeme für Europa zu unterstreichen, wurde der EU-Kommission empfohlen diese Systeme für Europa als verbindlich zu erklären, und damit deren Verwendung in allen EU-relevanten Arbeiten vorzuschreiben.

Als offene Punkte sind noch zu nennen, die Festlegung auf eine europaweit einheitliche Projektion (UTM?), sowie die Berechnung eines Geoides für Europa, mit einer Genauigkeit im Bereich von 10 cm.

Norbert Höggerl

Österreichische Geodätische Kommission (ÖGK)

Die Österreichische Geodätische Kommission (ÖGK) mit dem Sitz in Wien ist das Organ der Internationalen Erdmessung für Österreich und untersteht dem Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit. Die ÖGK vertritt die Belange Österreichs in der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG), die eine der Assoziationen der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG) ist.

Der Kommission gehören Vertreter der Universitäten, der Ministerien, der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen und der freien Berufe an. Für die bis 2003 dauernde Funktionsperiode hat der Wirtschaftsminister Herrn Univ.Prof. Dr. Fritz K. Brunner zum Präsidenten der Kommission und Min.Rat Univ.Do. Dr. Christoph Twaroch zum Sekretär bestellt.

Kurze Geschichte der Kommission

Mit „allerhöchster Entschließung“ vom 2.6.1863 wurde zwecks Beteili-

gung Österreichs an der Internationalen Erdmessung die „Österreichische Gradmessungskommission“ gegründet. Zur Durchführung der astronomischen Arbeiten wurde ihr ein eigenes Gradmessungsbüro unterstellt; die geodätischen Aufgaben wurden vom Militärgeographischen Institut ausgeführt. Im Jahre 1886 erfolgte die Umwandlung in die „Österreichische Kommission für die Internationale Erdmessung (ÖKIE)“.

Nach der Neuorganisation des Vermessungswesens im Jahre 1919 wurden die gesamten astronomisch-geodätischen Arbeiten dem neu geschaffenen Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen übertragen. Die Österreichische Kommission für die Internationale Erdmessung wurde vom Unterrichtsministerium zum Bundesministerium für Handel und Verkehr überstellt und erhielt die Aufgabe, den Kontakt mit der internationalen Organisation für die Erdmessung – die Internationale Union für Geodäsie

und Geophysik (IUGG) – aufrechtzuerhalten, im Einvernehmen mit dieser die notwendigen Arbeiten beim Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen zu beantragen und die Ergebnisse auf den einschlägigen internationalen Konferenzen bekannt zu geben. Außerdem oblag es der ÖKIE, diese Ergebnisse zu veröffentlichen und die wissenschaftlichen Forschungsarbeiten durch entsprechende Publikationen und Verbreitung im Ausland zu fördern.

1980 wurde vom damaligen Bundesminister für Bauten und Technik ein neues Statut erlassen. Die Neufassung des Statuts geht in rechtlicher Hinsicht von der Voraussetzung aus, dass es sich um eine Kommission im Sinne des § 8 des Bundesministeriengesetzes zur Vorbereitung und Vorberatung auf dem Gebiet der Grundlagenvermessung handelt. Der Name der Kommission wurde 1996 auf Österreichische Geodätische Kommission (ÖGK) geändert.

Christoph Twaroch

Veranstungskalender

21. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung DGPF, 18. DFD Nutzerseminar

Gemeinsame Tagung der DGPF, SGPBF, ÖVG und DLR zum Thema: Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation Geodaten schaffen Verbindungen
4.-6. September 2001 in Konstanz am Bodensee, Deutschland <http://www.dgpf.de/>

OEEPE Workshop „Integrated Sensor Orientation“

17.-18. September 2001 in Hannover, Deutschland
Tel.: ++49-511-762-2482
Fax: ++49-511-762-2483
e-mail: boettcher@ipi.uni-hannover.de
<http://www.ipi.uni-hannover.de/>

Fifth International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition

17.-20. September 2001 in San Francisco, Kalifornien, USA
Tel.: 1-734-994-1200 x3350
Fax: 1-734-994-5123
e-mail: dehring@erim-int.com
<http://www.erim-int.com/>

„High Resolution Mapping from Space 2001“ der ISPRS-Arbeitsgruppen I/2, I/5 und IV/7

19.-21. September 2001 in Hannover, Deutschland
Tel.: ++49-511-762-2482
Fax: ++49-511-762-2483
e-mail: boettcher@ipi.uni-hannover.de
<http://www.ipi.uni-hannover.de/>

CIPA 2001, International Symposium on Architectural Photogrammetry

Tel.: +49-30-314-23331
Fax: +49-30-314-21104
e-mail: cipa2001@fpk.tu-berlin.de
<http://www.fpk.tu-berlin.de/cipa2001>

INTERGEO – Kongress und Fachmesse für Geodäsie u. Geoinformation

18.-21. September 2001 in Köln, Deutschland
Tel.: +49 (0) 22-41-308-120
e-mail: intergeo2001@t-online.de
<http://www.intergeo.de/>

Seminar „Basiswissen GIS 2001“

26. September 2001 in Darmstadt, Deutschland
Tel.: 06151/163247 und. 164069
Fax: 06151/164047
mailto:martina.kroma@ifp.uni-stuttgart.de<http://www.ikgis.de/>

48. Photogrammetrische Woche

24.-28. September 2001 in Stuttgart, Deutschland
Tel.: 07 11-121 32 01
Fax: 07 11-121 32 97
e-mail: martina.kroma@ifp.uni-stuttgart.de
<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/>

5th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques

1.-3. Oktober 2001 in Wien, Österreich
Tel.: +43 1 58801-12804
Fax: +43 1 58801-12894
e-mail: o3d2001@pop.tuwien.ac.at
<http://info.tuwien.ac.at/ingeo/optical3d/o3d.htm>

50. Deutscher Kartographentag „Kartographie alpiner Regionen - multidisziplinär und multidimensional“

2.-6. Oktober 2001 in Berchtesgaden, Deutschland
Tel.: +49-89-12652635-19
Fax: +49-89-12652698
e-mail: wintges@vm.fh-muenchen.de

OEEPE/ISPRS Workshop „From 2D to 3D - Establishment and Maintenance of National Core Geospatial Databases“

8.-10. Oktober 2001 in Hannover, Deutschland
Tel.: ++49511 / 646 09 - 525
Fax: ++49511 / 646 09 - 162
e-mail: andrea.jancke@lgn.niedersachsen.de
<http://www.lgn.de/>

Third International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry

5.-7. November 2001 in Denver, Colorado, USA
Tel.: +1-734-994-1200
Fax: +1-734-994-5123
<http://www.erim-int.com/CONF/ag.html>

International Symposium On Spatial Data Infrastructure

19.-20. November 2001 in Melbourne, Australia
Fax: +61 3 9437 2916
e-mail: SDI@sunrise.sli.unimelb.edu.au
<http://www.sli.unimelb.edu.au/SDI>

XXII FIG Congress and XXV General Assembly

21.-26. April 2002 in Washington DC, USA
e-mail: mgclaw@aol.com
<http://www.fig.net/figtree/events/washington-2002.htm>

Recht und Gesetz

Zusammengestellt und bearbeitet von Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.jur. Christoph Twaroch

Neue ÖNORM für Vermessungspläne

Die planliche Darstellung von Beständen in Vermessungsplänen ist seit 1. Dezember 2000 – durch die Neuausgabe der ÖNORM A 2250 – neu geregelt. Sie enthält den Zeichenschlüssel für Vermessungspläne und die

Richtlinien für deren Gestaltung. Der Zeichenschlüssel bezieht sich auf die in der ÖNORM A 2261 „Objektschlüsselkatalog“ gesammelten Objekte und Attribute.

Vermessungspläne im Sinne dieser ÖNORM sind vor allem Bestandspläne (Naturbestand, Rechtsbestand),

Pläne für Projekte, Basispläne für Geoinformationssysteme. Sie enthalten den sichtbaren Bestand, fallweise kombiniert mit unterirdischen Anlagen, wie Leitungen und Rechtsbestand (z.B. Kataster). Für Pläne, die nach den Bestimmungen des Vermessungsgesetzes zu verfassen sind, ist im Anhang zur Vermessungsverordnung ein Zeichenschlüssel festgelegt.

Planbeispiele sind in einem eigenen informativen Anhang enthalten.

(aus ON Medieninformation)

Markscheideverordnung

Am 1. März 2001 ist die Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit über Vermessungen beim Bergbau, das Bergbauartenwerk und die Erfassung von Bodenbewegungen (Markscheideverordnung), BGBl. II Nr. 69/2001, in Kraft getreten, die die Markscheideverordnung aus dem Jahr 1997 ersetzt.

Für den Bergbau ist eine eigenständige Ordnung des Vermessungswesens im Hinblick auf die Eigentümlichkeiten des Bergbaus und zur Vorsorge gegen Gefahren des Lebens und der Gesundheit von Personen sowie zum Schutz von Sachgütern, der Umwelt, von Lagerstätten und der Oberfläche, aber auch für die Sicherung der Oberflächennutzung nach Beendigung der Berg-

bautätigkeit erforderlich. Die Eigentümlichkeiten des Bergbaus sind im Aufsuchen und Gewinnen fester, flüssiger und gasförmiger mineralischer Rohstoffe begründet, die sowohl in größeren Tiefen der Erdkruste als auch an deren Oberfläche in überdurchschnittlichen Anhäufungen unregelmäßig verteilt vorkommen. Diese eigenständige bergbaubezogene Ordnung des Vermessungswesens wird als Markscheidekunde bezeichnet. Sie ist ein Teilbereich des Markscheidewesens, zu dem als weitere Teilbereiche die früher der Markscheidekunde zugerechnete Bergbauartenkunde und die Bergschadenkunde gehören.

Die Verordnung ist in sieben Abschnitte gegliedert. Der 1. Abschnitt (§§ 1 bis 15) enthält die allgemeinen Bestimmungen. Der 2. Abschnitt (§§ 16 bis 21) behandelt die Vermessungen über Tage, der 3. Abschnitt (§§ 22 bis 33) die Vermessungen unter Tage, der 4. Abschnitt (§§ 34 bis 46) das Bergbauartenwerk, der 5. Abschnitt (§§ 47 bis 49) die Erfassung von Bodenbewegungen und der 6. Abschnitt (§ 50) die Risse und Karten betreffend die Sicherung der Oberflächennutzung nach Beendigung der Bergbautätigkeit. Der 7. Abschnitt (§§ 51 bis 53) ist den Schlussbestimmungen (Ausnahmebewilligungen, Inkrafttreten, Außerkrafttreten der Verordnung 1997) gewidmet. Auf die Bestimmungen des Vermessungsgesetzes und der Vermessungsverordnung wird, soweit dies bei den Eigentümlichkeiten des Bergbaus möglich ist, Bedacht genommen.

Buchbesprechungen

Riedl, A.: Virtuelle Globen in der Geovisualisierung. Mit einem Nachwort Globenforschung in Österreich von Ingrid Kretschmer. Institut für Geographie und Regionalforschung der Universität Wien, Kartographie und Geoinformation. Hrsg. von Ingrid Kretschmer und Karel Kriz. – Wien: Inst. für Geographie und Regionalforschung, Kartographie und Geoinformation, 2000 (Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie; Bd. 13), 158 Seiten, ISBN 3-900830-41-X.

Die Kartographie wird seit der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts von der Entwicklung und Anwendung neuer Computertechnologien und elektronischer Kommunikationsmittel beeinflusst. Stand am Beginn dieser Phase die Automatisierung von Produktionsabläufen im Vordergrund, so entwickelten sich ab den 90er Jahren die Ausgabeformen immer mehr in Richtung zu multimedialen Präsentationen. Ein Bereich der kartographischen Ausdrucksformen wurde bisher – obwohl jedem vertraut – in diesem Zusammenhang jedoch kaum behandelt, nämlich die Darstellung von raumbezogenen Sachverhalten in Form von Globen. Mit dem Einsatz der digitalen Technologie sollte es möglich sein, bisher bestehende Nachteile des materiellen Globus zu eliminieren, oder zumindest auf ein tolerierbares Maß zu reduzieren, bei gleichzeitiger Beibehaltung der Vorteile.

Der vorliegende Band beinhaltet eine Auseinandersetzung darüber, welche Formen der multimedialen Präsentation für den Globus geeignet sind und wieweit es möglich ist eine neue Stufe der Wissensvermittlung globaler Sachverhalte zu erzielen. Miteinbezogen wird da-

bei die Auswahl der geeigneten Software bzw. Programmierumgebung um eine realitätsnahe 3D-Graphikumsetzung zu erzielen.

Die Untersuchung zeigt jenes Potential auf, welches der Präsentation eines multimedialen Globus im Vergleich zum traditionellen analogen Globus innewohnt. Realisiert wird dies mittels einer Untersuchung des traditionellen Globus, seiner Stärken und Schwächen, gegenübergestellt den der Kartographie zur Verfügung stehenden Multimedialtechniken. Die gravierendsten Vorteile des virtuellen im Vergleich zum traditionellen Globus beinhalten Treueeigenschaften, Didaktikeignung, Interaktivität, Themenauswahl, Maßstabsverfügbarkeit, Transportfähigkeit, Produktionsaufwand, Aktualität und Bedienbarkeit.

Von der in diesem Band vorgestellten Thematik profitieren sowohl Kartographen die beabsichtigen komplexere Produkte zu erstellen, aber auch alle Laien, die im Zeitalter der Globalisierung Interesse an den Möglichkeiten der Visualisierung von globalen raumbezogenen Informationen haben. Die Online-Version des Hyperglobus kann nachgeschlagen werden unter: <http://www.gis.univie.ac.at/hyperglobe/index.html>

Helmut Zierhut

Meisenheimer, D.: Vermessungsinstrumente aktuell. 13. Ergänzungslieferung 2000. Verlag Konrad Wittwer GmbH, Stuttgart.

Die Lose-Blatt.-Sammlung „Vermessungsinstrumente aktuell“ wurde mit der 13. Ergänzungslieferung wieder

auf den letzten Stand gebracht. Das Grundwerk umfasst Kategorien folgender Bereiche:

- Nivellierinstrumente niederer, mittlerer und hoher Genauigkeit,
- Theodolite niederer, mittlerer, hoher und höchster Genauigkeit,
- Elektronische Theodolite,
- Integrierte elektrooptische Distanzmesssysteme,
- Elektrooptische Distanzmesssysteme/Aufsatzgeräte,
- Datenerfassungsgeräte,
- GPS-Systeme,
- Lasernivelliere.

Dieser Nachtrag umfasst 12 Nivellierinstrumente hoher Genauigkeit, wobei die angegebenen Genauigkeiten von 2,5 bis 0,4 mm für 1 km Doppelnivellement reichen. Die angegebene Genauigkeit hängt davon ab, ob eine Planplatte verwendet wird oder nicht. Ebenfalls entscheidend für die erreichbare Genauigkeit ist die Art der verwendeten Nivellierlatten: Glasfaser oder Invarband.

Zwei Theodolite niederer Genauigkeit (Genauigkeit 20"–30") aus Russland und aus China sorgen für eine Ergänzung im Bereich der low-cost Geräte (15.000.– bis 25.000.– ATS, o. MWST). 7 Elektronische Theodolite mit einer Winkelmessgenauigkeit von 1,5 bis 3,0 mgon werden vorgestellt. Alle Geräte kommen aus Japan.

Mit 22 integrierten elektrooptischen Distanzmesssystemen wird in diesem Sektor wieder die größte Anzahl von neuen Geräten präsentiert. Um den Überblick zu erleichtern, wurde für 2 Firmen eine zusätzliche Aufschlüsselung nach Ausstattung und Genauigkeitsklassen beigelegt. Denn allein für jede der beiden Firmen sind 24 oder 25 unterschiedliche Gerätekombinationen möglich. Die angebotenen Geräte umfassen einen Preisbereich von etwa 100.000.– bis 300.000.– ATS (o. MWST).

Interessant ist, dass von den 5 angeführten neu erschienenen GPS-Geräten das Spitzengerät ebenfalls in die gleiche Preiskategorie fällt wie das teuerste aus der o.a. Gruppe der elektrooptischen Distanzmesssysteme. Die präsentierten Geräte umspannen ein weites Spektrum in ihrer Genauigkeit: L1-Phasempfänger bis hin zum RTK-fähigen L1/L2 24-Kanal-Empfänger.

Die Beschreibung von einem Datenerfassungsgerät sowie 9 Lasernivellierern runden diese Sammlung neuer Vermessungsinstrumente ab.

Wie bereits gewohnt, ist dieser Nachtrag sehr übersichtlich gegliedert und ermöglicht einen schnellen Überblick der auf dem (deutschen) Markt neu erschienenen Geräte. Durch die systematische Zusammenstellung wird auch ein Vergleich zwischen verschiedenen Firmenprodukten erleichtert. Die Angabe von Listenpreisen hilft bei der Orientierung und Abschätzung des Preis/Leistungsverhältnisses.

Norbert Höggerl

OEEPE Official Publication No. 38, 134 Seiten, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, 2000, ISSN 0257-0505, ISBN 3-88648-104-2.

Gower, R.: Workshop on National Mapping Agencies and the Internet

Der vorliegende Bericht stellt Beiträge und Zusammenfassungen der Diskussionen des OEEPE Workshops vom 8.–10. März 2000 in Southampton, GB vor. Ziel dieses Workshops war die Entwicklung von Strategien zur Verbreitung geographischer Informationen im neuen elektronischen Zeitalter. Für die Veranstaltung wurden folgende Themen gewählt:

- Überblick über aktuelle Entwicklungen und Trends
- Erfahrungsaustausch für NMAs (National Mapping Agencies), die bereits in diesem Feld tätig sind oder einen Einstieg planen
- Überblick zum Stand der Technik und Diskussion zukünftiger Entwicklungen
- Rolle der NMAs aus Sicht der Anbieter

Neben Präsentationen, die dem Beitrag auf CD-ROM beiliegen, wurden in Arbeitsgruppen die jeweiligen Schwerpunktthemen diskutiert und zusammengefasst. Als Ergebnis wurde festgehalten, dass sich die NMAs der rasch wachsenden Welt des e-Commerce stellen und ihre Rolle nicht nur als Anbieter von Daten sondern auch Dienstleistungen wahrnehmen müssen.

Flotron A., Kölbl O.: Precision Terrain Models for Civil Engineering

Die Veröffentlichung präsentiert eine empirische Studie über unterschiedliche Methoden zur DHM Erfassung mit analytischen Auswertegeräten und die Analyse der erzielbaren Genauigkeit.

Für den Test wurden 6 Gebiete in 3 Geländeklassen (eben, hügelig, gebirgig) bereitgestellt.

Neben dem Testzentrum Flotron AG (CH) beteiligten sich 6 weitere Stellen und zwar eine Vermessungsbehörde (BEV), 3 Ingenieurbüros und 3 Universitäts- bzw. Hochschulinstitute. Jedes Zentrum konnte sich Anzahl und Form der Testgebiete aussuchen und bekam Bilder und Passpunkte, sowie eine Auswahl von 30–50 diskret zu messenden Punkten vorgegeben. Die Methode der Erfassung blieb jedem Beteiligten freigestellt, jedoch mussten die Daten zumindest in den Kategorien Massenpunkte, Geländekanten und Aussparungsflächen geliefert werden. Zusätzlich zu den DHM Messungen wurden auch die Protokolle der Modellorientierung und die Erfassungszeit eingefordert. Die Genauigkeitsanalyse wurde getrennt nach Restfehler der Modellorientierung, Fehler der diskreten Geländepunkte und Fehler interpolierter Rasterpunkte vorgenommen.

Die eingesetzten Verfahren sind beschrieben und sowohl hinsichtlich der erzielten Genauigkeit als auch deren Effizienz bewertet.

Michael Franzen

Redaktionsschluß

für die nächste Ausgabe der VGI

(Heft 3/2001)

ist

Montag, 27. August 2001

Impressum

VGI

Österreichische Zeitschrift für
VERMESSUNG & GEOINFORMATION

89. Jahrgang 2001 / ISSN 0029-9650

Herausgeber und Medieninhaber: Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation (ÖVG), Austrian Society for Surveying and Geoinformation (ASG), Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien zur Gänze. Bankverbindung: Österreichische Postsparkasse BLZ 60000, Kontonummer PSK 1190933.

Präsident der Gesellschaft: Dipl.-Ing. August Hochwartner, Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien, Tel. (01) 21176-3603, Fax (01) 2167551.

Sekretariat der Gesellschaft: Dipl.-Ing. Gert Steinkellner, Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien, Tel. (01) 21176-4604, Fax (01) 2167551.

Schriftleitung: Dipl.-Ing. Reinhard Gising, Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien, Tel. (01) 21176-3401, Fax (01) 2167551, Dipl.-Ing. Wolfgang Gold, Krotenthaller-gasse 3, A-1080 Wien, Tel. (01) 40146-221, Fax (01) 4069992, Dipl.-Ing. Karl Haussteiner, Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien, Tel. (01) 21176-3609, Fax (01) 2167551.

Redaktionsbeirat: o.Univ.-Prof. Dr. K. Bretterbauer, o.Univ.-Prof. Dr. K. Kraus,

alle Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27-29, 1040 Wien, o.Univ.-Prof. Dr. G. Brandstätter, o.Univ.-Prof. Dr. H. Moritz, alle Technische Universität Graz, Steyrer Gasse 30, 8010 Graz, HR i.R. Dr. J. Bernhard, BEV, Krotenthaller-gasse 3, 1080 Wien, Dipl.-Ing. M. Eckhar-ter, Friedrichstraße 6, 1010 Wien, HR i.R. Dipl.-Ing. K. Haas, Lothringerstraße 14, 1030 Wien, Präsident i.R. Dipl.-Ing. F. Hrbek, BEV, Schiffamtsgasse 1-3, 1025 Wien.

Manuskripte: Bitte direkt an die Schriftleitung senden. Es wird dringend ersucht, alle Beiträge in digitaler Form auf Diskette zu übersenden. Genaue Angaben über die Form der Abfassung des Textteiles sowie der Abbildungen (Autoren-Richtlinien) können bei der Schriftleitung angefordert werden. Beiträge können in Deutsch oder Englisch abgefaßt sein; Hauptartikel bitte mit einer deutschsprachigen Zusammenfassung und einem englischen Abstract einsenden. Namentlich gezeichnete Beiträge geben die Meinung des Autors wieder, die sich nicht mit der des Herausgebers decken muß. Die Verantwortung für den Inhalt des einzelnen Artikels liegt daher beim Autor. Mit der Annahme des Manuskriptes sowie der Veröffentlichung geht das alleinige Recht der Vervielfältigung und Wiedergabe auf den Herausgeber über.

Copyright: Jede Vervielfältigung, Übersetzung, Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen sowie

Mikroverfilmung der Zeitschrift oder von in ihr enthaltenen Beiträge ohne Zustimmung des Herausgebers ist unzulässig und strafbar. Einzelne Photokopien für den persönlichen Gebrauch dürfen nur von einzelnen Beiträgen oder Teilen davon angefertigt werden.

Anzeigenbearbeitung und -beratung: Dipl.-Ing. Wolfgang Gold, Krotenthaller-gasse 3, A-1080 Wien, Tel. (01) 40146-221, Fax (01) 4069992. Unterlagen über Preise und technische Details werden auf Anfrage gerne zugesendet.

Erscheinungsweise: Vierteljährlich in zwangloser Reihenfolge (1 Jahrgang = 4 Hefte). Auflage: 1700 Stück.

Abonnement: Nur jahrgangsweise möglich. Ein Abonnement gilt automatisch um ein Jahr verlängert, sofern nicht bis zum 1.12. des laufenden Jahres eine Kündigung erfolgt. Die Bearbeitung von Abonnementangelegenheiten erfolgt durch das Sekretariat. Adreßänderungen sind an das Sekretariat zu richten.

Verkaufspreise: Einzelheft: Inland 170.- öS (12,35 €), Ausland 190.- öS (13,81 €); Abonnement: Inland 600.- öS (43,60 €), Ausland 700.- öS (50,87 €); alle Preise exklusive Mehrwertsteuer.

Satz und Druck: Druckerei Berger, A-3580 Horn, Wiener Straße 80.

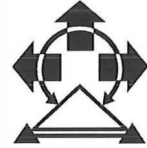
DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR PHOTOGRAMMETRIE
UND FERNERKUNDUNG E.V.



21. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung

SGPBF Schweizerische Gesellschaft für Photogrammetrie,
Bildanalyse und Fernerkundung

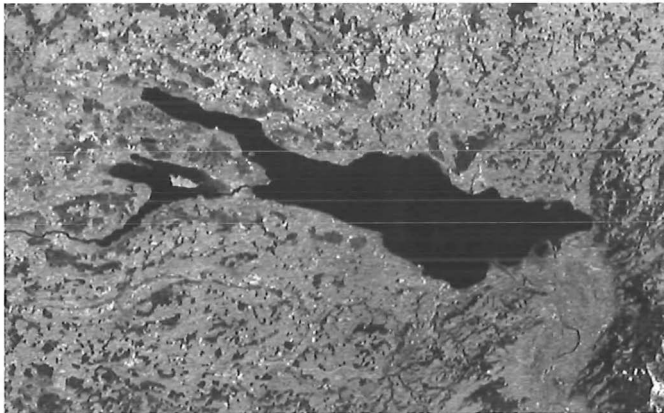
Österreichische Gesellschaft
für Vermessung und Geoinformation (ÖVG)



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**

Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum (DFD)

18. DFD Nutzerseminar



*Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation
Geodaten schaffen Verbindungen*

**Gemeinsame Tagung vom 4. bis 6. September 2001
in Konstanz am Bodensee**

Aktuelle Informationen zur Tagung im Internet: <http://www.dgpf.de>
oder über die Geschäftsstellen der Gesellschaften und des DFD

Entdecke Österreichs neue Dimension!



Österreichkarte - jetzt in 3D auf Doppel-CD!

- Ganz Österreich auf 2 CDs
- Perspektivische Ansicht des gewünschten Kartenausschnittes
- 3D-Betrachtung des Geländes mit Rot-Grün-Brille
- Staatliche Österreichische Karte
im Maßstab 1 : 50 000, 1 : 200 000 und 1 : 500 000
- Markierte Wanderwege
- Über 100.000 geografische Suchbegriffe



Info unter:
www.bev.gv.at
austrianmap@bev.gv.at

3D
Austrian
map