

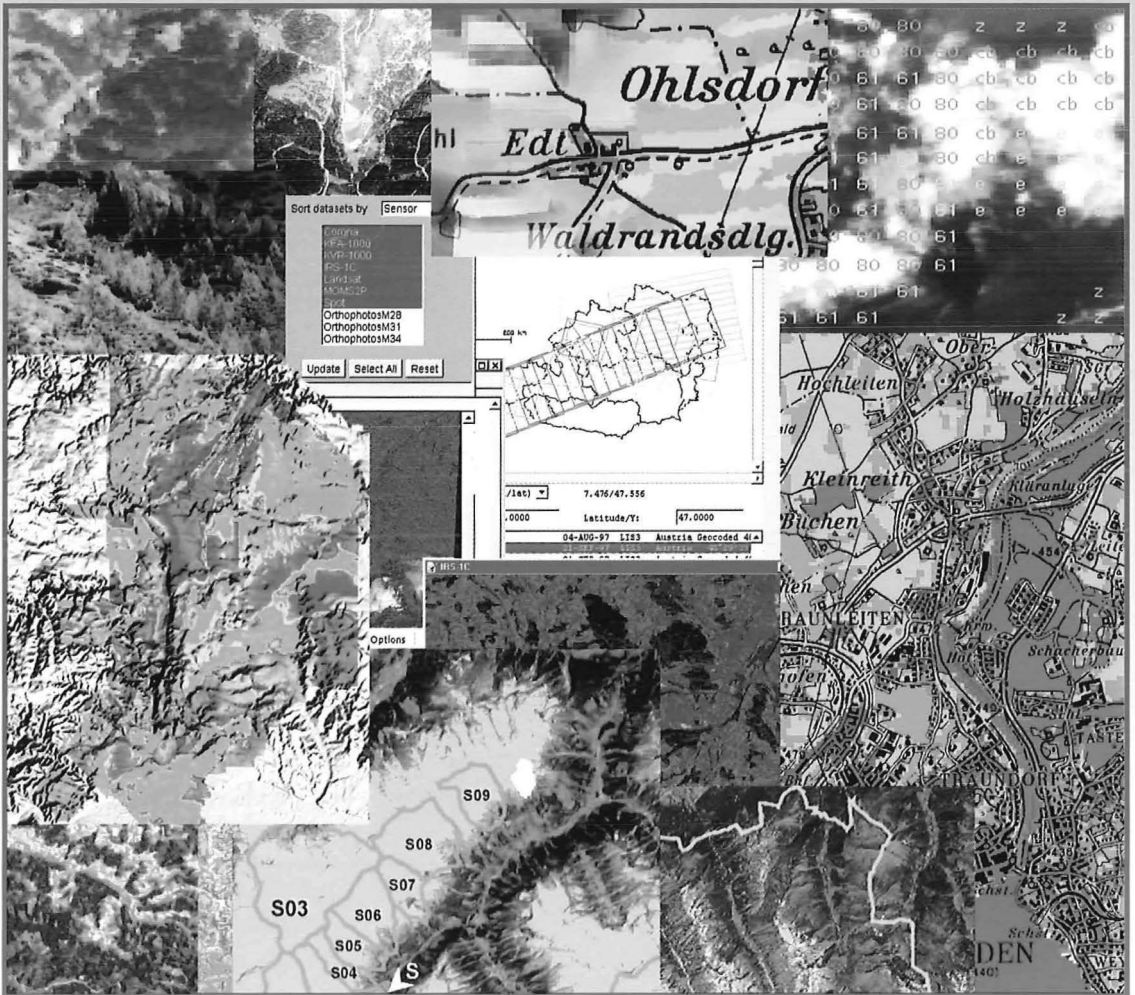
# VGI

# Österreichische Zeitschrift für VERMESSUNG & GEOINFORMATION

86. Jahrgang 1998

Heft 3/98

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



**Projektinitiative MISSION**  
**Multi-Image Synergistic Satellite**  
**Information for the Observation of Nature**



**GDB**

**DKM**

**DGM**

**DLM**

**KM**

**BE** - Ihr Partner  
**V**

BUNDESAMT FÜR EICH- UND VERMESSUNGSWESEN

1025 Wien, Schiffamtsgasse 1-3 Tel.: +43 (1) 211 76/0\* Fax: +43 (1) 216 10 62

1080 Wien, Krotenthallergasse 3 Tel. +43 (1) 401 46/460 DW Fax: +43 (1) 406 99 92

**Schriftleiter:** Dipl.-Ing. Reinhard Gissing  
**Stellvertreter:** Dipl.-Ing. Wolfgang Gold  
Dipl.-Ing. Bernhard Jüptner  
A-1025 Wien, Schiffamtsgasse 1-3

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

## INHALT

Seite

### Beiträge zur Informationsveranstaltung „MISSION – Anwendung der Fernerkundung in Österreich“

*M. Reiter:*

#### **Vorwort**

131

*R. Kalliany, F. Niederl:*

#### **DATENPOOL – ein internetbasiertes System für die Bereitstellung von Fernerkundungsdaten**

132

*H. Gallaun, M. Schardt, K. Granica:*

#### **Biotopkartierung im alpinen Raum mit Methoden der Fernerkundung**

137

*K. Steinnocher, G. Knötig:*

#### **Nutzungskartierung aus hochauflösenden Fernerkundungsdaten für die Raumplanung**

144

*G. Banko, H. Burger, W. Schneider:*

#### **Forstliche Anwendungsmöglichkeiten hochauflösender Satellitenbilddaten**

149

*H. Rott, N. Batlogg, T. Nagler, O. Pirker:*

#### **Modellierung des Abflusses aus hochalpinen Einzugsgebieten unter Verwendung von Satellitendaten**

155

*M. Franzen, G. Kohlhofer, J. Jansa, A. Sindhuber:*

#### **Ergänzung und Fortführung des Digitalen Landschaftsmodelles des BEV mit Fernerkundung**

161

*J. Janoth, M. Eisl:*

**Umweltmonitoring im Alpinen Raum mit hochauflösenden Satellitendaten**

166

*R. Belocky, R. Faber, G. Heiß, M. Jung:*

**Strukturanalyse und lithologische Differenzierung mittels Fernerkundungsdaten für hydrologische Fragestellungen**

172

Beiträge zur Verleihung der Friedrich-Hopfner-Medaille

*H. Ebner, A. Baumgartner, C. Steger:*

**Automatische Extraktion von Straßen aus digitalen Luftbildern**

177

Verleihung der Friedrich-Hopfner-Medaille

186

Firmen & Produkte

191

**Titelbild:** Collage aus den „MISSION-Beiträgen“

## Vorwort

*MinR Dr. Wolfgang L. Reiter, Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr*

Die Fernerkundung mit Erdbeobachtungssatelliten ist ein Fachgebiet, welches sowohl internationale wie auch nationale und regionale Aspekte umfaßt. Österreich widmet sich mit seinen universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen, sowie den Aktivitäten des privaten Sektors in beachtlichem Umfang diesem dynamischen Bereich. Neben der Forschung stehen vor allem die Entwicklung von Anwendungsmethoden für den Umweltschutz, die öffentliche Verwaltung und den privaten Sektor im Zentrum der breitgefächerten Aktivitäten.

Wesentliche Impulse erhält die Fernerkundung durch die österreichische Mitgliedschaft bei der European Space Agency (ESA) und von der bisher überdurchschnittlich erfolgreichen Beteiligung an Projekten der Europäischen Union. Nationale Forschungsmittel steuert vor allem der Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, die Österreichische Akademie der Wissenschaften und das Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr bei. Das Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr hat im Jahre 1995 den „Leitschwerpunkt Erdbeobachtung“ mit spezieller Berücksichtigung des Umweltmonitorings eingerichtet, um die heimischen Aktivitäten effizient koordinieren und fördern zu können. Ein hiezu einberufenes Projektteam „Fernerkundung“ unter dem Vorsitz von Univ.-Prof. Dr. Helmut Rott (Universität Innsbruck) unterstützt die Koordinierung der österreichischen Aktivitäten in diesem Bereich, fördert die Schaffung einer entsprechenden Nutzergemeinschaft und initiiert Forschungsprojekte.

Um den Austausch zwischen Wissenschaft, Verwaltung und Wirtschaft weiter zu stärken, wurde am 7./8.5.98 in Wien eine Informationsveranstaltung abgehalten (bereits zum zweiten Mal – siehe VGI 1/96), welche beim zahlreich erschienenen Fachpublikum regen Anklang gefunden hat. Neben Gastvorträgen von Vertretern der ESA und der Europäischen Kommission bildete vor allem die Präsentation der Projekte der MISSION-Initiative den Schwerpunkt.

Die Projektinitiative MISSION (Multi-Image Synergistic Satellite Information for the Observation of Nature), wurde mit finanzieller Unterstützung des Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr realisiert. Sie ist ein österreichi-

ches Gemeinschaftsprojekt eines Teams von Forschern und künftigen Anwendern der Fernerkundung. Insgesamt wurden im Rahmen der Projektinitiative MISSION neun Einzelprojekten seitens des Ressorts beauftragt.

Ziel der Initiative war es, die durch die Fortschritte der jüngsten Zeit in Technologie (Satelliten und Sensoren, gesteigerte Rechnerkapazitäten, Internet) und Methodik (Algorithmen, Software und Verfahren) sich bietenden neuen Möglichkeiten für österreichische Anwendungen umzusetzen.

Dazu wurden von den Wissenschaftlern in Zusammenarbeit mit potentiellen Anwendern Verfahren und Dienstleistungen entwickelt, die im praktischen Einsatz eine Steigerung von Qualität und Wirtschaftlichkeit bewirken. Die bearbeiteten Themen umfassen ein breites Spektrum:

- Internet-Dienste
- Biotopkartierung
- Landnutzung
- Forstwirtschaft
- Hydrologie
- Geo-Informationswesen
- Umweltmonitoring
- Hydrogeologie
- Meteorologie

Wie die hier präsentierten Ergebnisse zeigen, konnte gemeinsam mit den Projektpartnern, die der öffentlichen Verwaltung und der Wirtschaft angehören, in den untersuchten Bereichen wesentliche Fortschritte bei bisher nicht realisierten Verfahrensabläufen erzielt werden. Damit wurde die Basis für entsprechende Innovationen in der Praxis, sowie für weitere einschlägige Kooperationsprojekte geschaffen.

Die wesentlichen Resultate sind in den Fachartikeln dieser Ausgabe der „Österreichischen Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation“ dargestellt. Sie ergeben zugleich einen repräsentativen Querschnitt des Standards der Erdbeobachtung in Österreich.

Der Österreichischen Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation darf dafür gedankt werden, die Publikation der Ergebnisse durch die Bereitstellung eines Schwerpunktheftes ermöglicht zu haben.



# DATENPOOL – ein internetbasiertes System für die Bereitstellung von Fernerkundungsdaten

Rainer Kalliany und Franz Niederl, Graz

## Zusammenfassung

Das Internet hat sich als weltumspannendes Kommunikationsmedium etabliert, wovon auch die Erdbeobachtung wesentlich profitiert. Um die Möglichkeiten des netzwerkbasierter Zugriff auf Daten zu nutzen wurde in WWW ein Informations- und Datenbearbeitungssystem für die Fernerkundung geschaffen. Die Programmiersprache Java ermöglichte dabei nicht nur die Implementierung einer plattformunabhängigen graphischen Benutzeroberfläche, sondern hat auch Vorteile bezüglich Wartung und universeller Verwendbarkeit des Codes. Das im Rahmen des österreichischen MISSION-Projektes realisierte System demonstriert die internetbasierte Kooperation zwischen räumlich dislozierten Partnern bei der Verarbeitung und Anwendung von Fernerkundungsdaten.

## Abstract

The internet has established as a world-wide communication medium, what is also beneficial to earth observation. For utilizing the possibilities of network-based access to data, a remote sensing oriented system for information and datahandling has been established within the WWW. Employing the programming language Java not only made possible the implementation of a platform-independent graphical user-interface, but also had advantages in respect to maintainance and universal use of the code. The system has been implemented in the framework of the Austrian MISSION project and demonstrates internet-based cooperation on processing and application of remote sensing data between spatially dispersed partners

## 1. Die aktuelle Entwicklung des Internet

Seit Mitte der 90er-Jahre ist in Österreich eine drastische Steigerung der Anzahl von Internet-Anschlüssen – insbesondere auch außerhalb des akademischen Bereiches – zu bemerken. Neben den Verbesserungen in der heimischen Telekommunikations-Infrastruktur (sowohl was die technische Seite als auch die Tarifpolitik betrifft) ist vor allem das ebenfalls erst vor wenigen Jahren aufgekommene World Wide Web (WWW) Hauptmotor dieser Entwicklung.

Im Internet stehen derzeit folgende Dienste weltweit zur Verfügung:

- Elektronische Post („E-Mail“) zur Übermittlung von Texten und digitalen Dokumenten an einen oder mehrere Partner;
- Diskussionsgruppen („Newsgroups“) zum Austausch von Informationen zu einem bestimmten Themenkreis;
- Datenübertragung basierend auf dem File Transfer Protocol (FTP);
- Das WWW in Form von Dokumenten in der HyperText Markup Language (HTML) mit Texten, Bildern (sowie allenfalls auch Video und Ton), welche Verweise auf beliebige andere WWW-Adressen enthalten können;
- Interaktive Software für nutzerorientierte Dienstleistungen.

Alle erwähnten Dienste basieren auf Großteils standardisierten Protokollen. Für jede Computer-Plattform gibt es – oft schon in die Standard-Softwarepakete integrierte – Programme, welche diese Formate interpretieren können. Somit ergibt sich eine „Quasi-Plattformunabhängigkeit“, wobei jeder Teilnehmer – egal ob am Großrechner im Büro oder zu Hause am PC – alle Dienste uneingeschränkt nutzen kann.

Ebenso kann jeder Rechner der ins Internet eingebunden ist selber Informationen und Dienste allen anderen WWW-Teilnehmern zur Verfügung stellen. Die aktuelle Anzahl dieser Host-Computer (per Juli 1998) ist 36,7 Millionen [W1].

## 2. WWW und Fernerkundung

Es gibt kaum einen Bereich, der sich nicht von der für die kommenden Jahre zu erwartender Entwicklung der Vernetzung des öffentlichen, kommerziellen und privaten Sektors wesentliche neue Impulse erwartet: Neben den „Nutzern der ersten Stunde“, Forschung und Entwicklung, werden nicht nur die Informations- und Unterhaltungsmedien sondern auch die Wirtschaft und viele Bereiche der öffentlichen Verwaltung durch das Internet wesentlich an Effizienz und Leistungsvermögen gewinnen. Es ist daher für alle Fachgebiete von größter Bedeutung, sich früh-

zeitig mit den Gegebenheiten vertraut zu machen um konkurrenzfähig zu bleiben und im eigenen Bereich einen maximalen Nutzen zu erzielen.

Die Erdbeobachtung mit Satelliten ist ein Bereich der im besonderem Maße von der Datenvernetzung profitieren kann: Es ist möglich auf große Datenmengen von weltweit operierenden Anbietern zuzugreifen, diese von geeigneten Institutionen auswerten zu lassen und die so gewonnenen Informationen schließlich in die Datenbestände der Endnutzer einzubringen. Die Partner in diesem Netzwerk sind meist räumlich disloziert; daher ist eine effiziente und zugleich flexible Organisation der Arbeiten erforderlich.

In Hinblick auf diese Anforderungen eröffnet sich für den Fernerkunder eine buchstäblich globale Arbeitsumgebung. Jeder beliebige Rechner mit Internet-Anschluß kann als Client-Terminal zu einer Unzahl von Diensten verwendet werden, welche andere Teilnehmer anbieten (Abb.1):

- Zugriff auf aktuelle Informationsseiten von Forschungseinrichtungen und Datenanbietern;
- Zugang zu Datenkatalogen und Bilddaten;
- Transfer großer Datenmengen in kurzer Zeit;
- Nutzung von Rechenleistung und -zeit sowie von Software an beliebigen Orten und zu selbstgewählten Zeiten;
- Online-Programme (Java-Tools);
- Kontakte per E-Mail für Informationsaustausch bzw. zur Geschäftsanbahnung

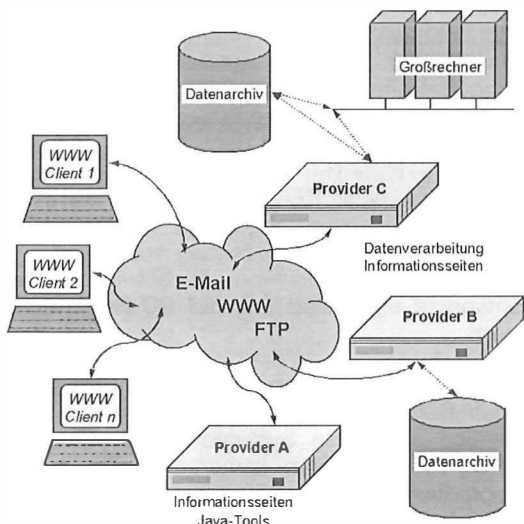


Abb. 1: Schema einer über das Internet vernetzten „Fernerkundungs-Arbeitsgruppe“

Das beschriebene Szenario bewirkt das Entstehen eines „globalen Marktes“, wo die von den Satelliten aufgenommenen Bilder und daraus abgeleitete Produkte angeboten und vertrieben werden. Bedingt durch die verstärkte Konkurrenz ist ein Sinken der Preise zu erwarten, weshalb ein vermehrtes Angebot von kostengünstigen Daten zu erwarten ist. Das hätte zur Folge, daß auch datenintensive Verfahren „machbar“ werden und sich somit eine ganze Reihe von neuen Anwendungen eröffnen

[1]. Ein typisches Beispiel dafür ist die fortlaufende Umweltüberwachung mit multitemporalen und multisensoralen Erdbeobachtungsdaten.

Die neuen Möglichkeiten durch das Internet wurden natürlich von den Datenanbietern und bei internationalen Organisationen erkannt. Insbesondere die Europäische Kommission will mit ihrem „Center for Earth Observation“ (CEO) [2] [W2] dieses Potential für den Einsatz der Fernerkundung in Wirtschaft und Verwaltung nutzen. Angeregt durch dieses Projekt wurde auch in Österreich – mit wesentlich geringerem Aufwand – in Form der „ErdBeobachtung“-Homepage [W3] ein Informationssystem geschaffen, zu dem jeder Interessent freien Zugang hat.

### 3. Aufgabenstellungen von DATENPOOL

Für die im MISSION-Projekt beinahe vollständig vertretene österreichische „Fernerkundungs-Szene“ und die assoziierten Anwendungs-Partner der einzelnen Teilprojekte war der Prototyp eines Informations- und Datenverteilungssystems zu realisieren. Dabei sollten aktuelle Software-Infrastrukturen für Fernerkundungs-Anwendungen eingerichtet und allen Teilnehmern zur Verfügung gestellt werden.

Die wesentlichsten Komponenten des von DATENPOOL aufgebauten Systems sind:

- Koordination der Anschaffung von Daten zur optimalen Nutzung der verfügbaren Ressourcen;
- Online-Kataloge zur Abfrage von Information, und Quicklooks;
- Möglichkeit zur Online-Bestellung und Vorverarbeitung von Daten;
- Software-Werkzeuge für spezielle Aufgaben bei der Arbeit mit Fernerkundungsdaten;
- Bereitstellung von Informationen zu den MISSION-Projekten für die Öffentlichkeit.

Für die Realisierung dieser Aufgaben sollten die aktuellsten verfügbaren Software-Werkzeuge verwendet werden. Ein besonderes Au-

genmerk gilt der für das WWW entwickelten Programmiersprache Java [3], welche die plattformunabhängige Implementierung von interaktiven Software-Lösungen ermöglicht. Aber auch Aspekte der individuellen Zugangsberechtigung und Datensicherheit waren zu berücksichtigen und in das Konzept einzubeziehen.

Bei der Implementierung neuer Dienste stößt man immer wieder auf ein Problem, das mit der derzeit noch stürmischen Entwicklung des WWW zusammenhängt: Die fortlaufend erweiterten Definitionen von WWW-Standards (z.B. von Objekten in HTML oder des Funktionsumfangs von Java) erfordern, daß der Benutzer einen aktuellen Web-Browser installiert hat, welcher bereits die neuen Konventionen kennt. Zwar reicht dazu in manchen Fällen auch ein „partielles Upgrade“ mittels über das Netz rasch und frei zu beziehender Software-Segmente („Plug-Ins“) aus, aber auch diese Möglichkeit ist vielen Anwendern oft zu umständlich.

Es ist daher bei Neuentwicklungen abzuwägen, inwieweit sie die Benutzer mit ihrer gegenwärtigen Infrastruktur nutzen können. Ein Anbieter von Internet-Diensten sollte seine „Kunden“ nur dann zu einem Upgrade „zwingen“, wenn es sich um eine wesentliche Verbesserung handelt, die nicht anders realisiert werden kann.

In diesem Sinne will DATENPOOL die MISSION-Projektpartner mit neuen internetbasierten Möglichkeiten vertraut machen und sie von den Vorteilen überzeugen. Daher wurden für folgende Detailprobleme Lösungen erarbeitet:

- Information und Koordination von räumlich dislozierten Projektteilnehmern per E-Mail;
- Plattformunabhängige Bereitstellung graphisch unterstützter Bilddaten-Kataloge;
- Portierung bestehender Softwarelösungen in eine WWW-Umgebung mittels Java;
- Sicherheit bei der Verwendung von WWW-Lösungen, insbesondere den Zugriff auf Dateien am Server;
- Kontrolle von Zugangsberechtigungen zu Informationen, sowie Organisation und Registrierung von Datentransfer-Aktivitäten;
- Projektinformationen, gleichlautend in gedruckter Form wie als Online-Dokumente.

Auf einige Aspekte dieser Arbeiten soll im Folgenden etwas näher eingegangen werden.

#### 4. Datenkataloge und Datentransfer

Im MISSION-Projekt sollte der deutsche Multispektralscanner MOMS-02/P [5] auf der russi-

schon Raumstation MIR genutzt werden um mit diesen Daten das Potential der nächsten Generation von hochauflösenden Satelliten für neue Anwendungen auszuloten. Leider konnten 1997 wegen operationeller Probleme – mit einer Ausnahme – keine Aufnahmen über Österreich gemacht werden. Anstelle dessen wurde vermehrt auf den 1996 gestarteten indischen Satelliten IRS-1C zurückgegriffen. Dieser bietet im panchromatischen Kanal eine Pixelgröße von nominell 5m; das entspricht der von MOMS-02/P erwarteten Qualität, weshalb auch diese Daten als vollwertiger Ersatz anzusehen sind.

Tab. 1 zeigt alle für MISSION von DATENPOOL verwalteten digitalen bzw. digitalisierten Satellitendaten. Angegeben sind die Pixelgröße am Boden, die Anzahl der verwendeten Szenen, sowie das Gesamtvolumen der von einem Sensorsystem vorhandenen Daten.

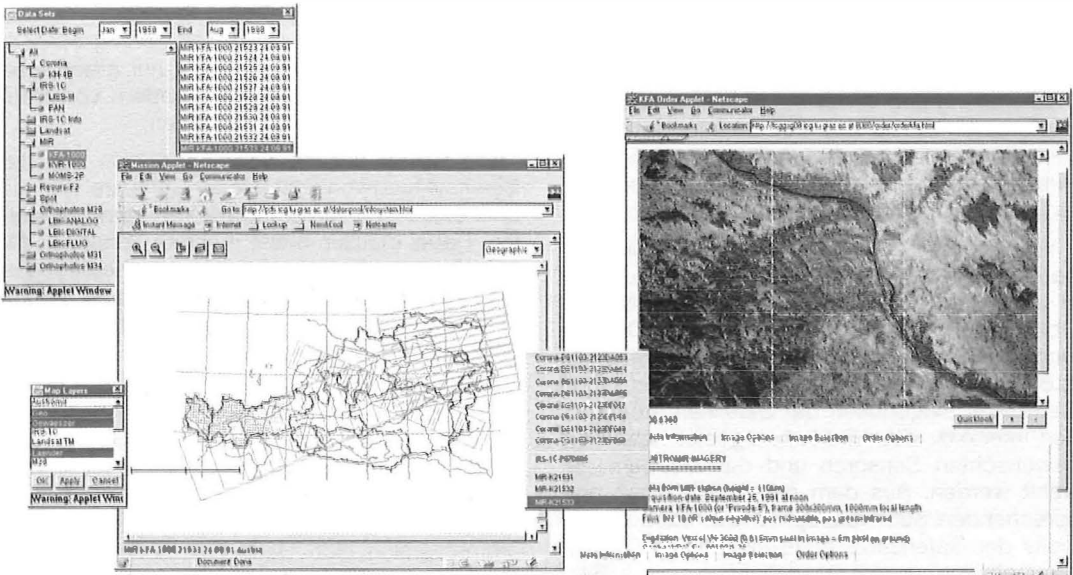
Sensor	Auflösung [m]	#(Szenen)	Größe [MByte]
KFA-1000	6	11	13200
KVR-1000	2	1	396
MOMS-2P	6 ... 18	8	713
IRS-1C	5 ... 25	9	1151
Landsat TM	30	10	898
SPOT	10 ... 20	8	270
Resurs-F2 MK4	6,7 ... 20	3	6000

Tab. 1: Von DATENPOOL verwaltete Satellitendaten

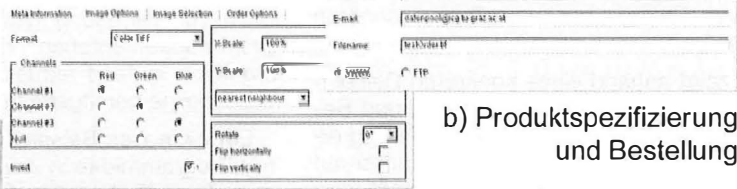
Neben IRS-1C eine weitere Möglichkeit um den hochauflösenden Bereich abzudecken bieten – soweit existent – russische photographische Satellitenaufnahmen. Daher wurde unter anderem auf einen Überflug der Raumstation Mir zurückgegriffen, bei dem 1991 im Rahmen des AUSTROMIR-Projektes mit Spektrozonal-aufnahmen einer KFA-1000 Kamera mehr als 50% von Österreich abgedeckt worden ist [5]. Alle 11 Originalnegative wurden erstmalig komplett mit einer Auflösung die 6m am Boden entspricht digitalisiert und auf CD-ROM archiviert.

Natürlich wurden von den MISSION-Projekten auch Daten der im multispektralen optischen Bereich bewährten Systeme Landsat/TM und SPOT verwendet. Dazu kamen umfangreiche topographische und kartographische Datensätze die vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) – als ein Teilnehmer am MISSION-Projekt – zur Verfügung gestellt worden sind. In

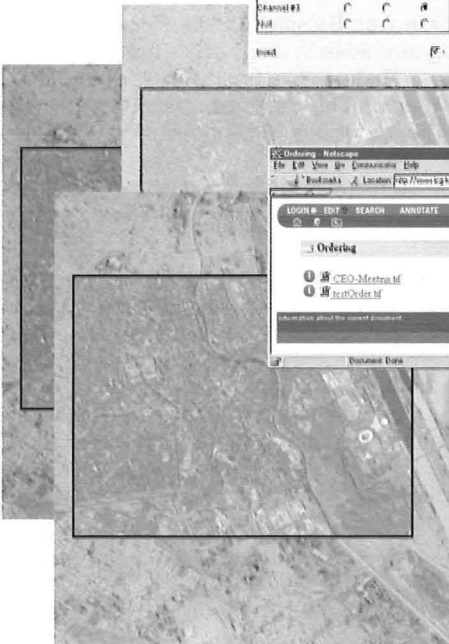




a) Datensatz-Auswahl



b) Produktspezifizierung und Bestellung



c) Datenaufbereitung



d) Transfer des Produktes

Abb. 2: Ablauf eines Datenbestellvorganges für eine online verfügbare Fernerkundungsszene

diesem Zusammenhang ist insbesondere das für viele Aufgabenstellungen benötigte digitale Geländemodell von Österreich zu nennen.

Verwaltung und Verteilung all dieser Daten erfolgte durch DATENPOOL. Für die Information der Teilnehmer und um eine optimale Nutzung der Ressourcen zu erreichen wurde ein eigenes Datenbank- und Bestellsystem geschaffen:

Von der in HTML erstellten MISSION-Homepage [W4] gelangt man unter „Tools“ zu einer in Java 1.1.x realisierten graphischen Nutzer-Oberfläche. Mittels einer vektoriiellen Darstellung von Österreich mit frei wählbarem Inhalt (z.B. Bundes- und Landesgrenzen, Orte und Gewässer, Flugbahnen der Satelliten etc.) können interaktiv das Interessensgebiet sowie die gewünschten Sensoren und der Zeitraum gewählt werden. Aus dem diesen Vorgaben entsprechenden Sub-Katalog können auch Quicklooks der Datensätze angezeigt werden, wobei zur Optimierung der Darstellung einfache Bildverarbeitungs-Werkzeuge zur Verfügung stehen. In der Folge ist schließlich auch die Bestellung von Daten – bzw. von Teilausschnitten – möglich.

Abb. 2 zeigt anhand eines konkreten Beispiels Abfrage, Selektion, Vorverarbeitung und Bestellung eines Bilddatensatzes. Die Lieferung erfolgt in der Regel indem die Daten temporär auf einem HyperWave-Server [7] bereitgestellt werden, wovon der Bezieher per E-Mail verständigt wird. Es ist aber auch die Herstellung einer CD-ROM möglich [8].

Die hier realisierte Lösung ist ein operationelles Modell, das den Vertrieb von Daten, Programmen und Dienstleistungen durch einen Anbieter („Broker“) in einem internetbasierten Markt ermöglicht (Abb. 3).

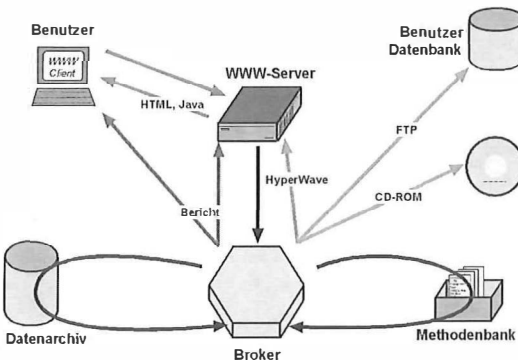


Abb.3: Die Vermittlung von Daten und Dienstleistungen im Netz

## 5. Online Dienstprogramme in Java

Mit Java sind im WWW nicht nur graphische Nutzer-Oberflächen möglich, sondern vor allem auch interaktive Softwarelösungen.

Die bisher übliche Vorgehensweise bei der Bereitstellung von kostenloser Software war, sie über einen FTP-server frei zur Verfügung zu stellen. Dabei müssen meist mehrere Versionen für verschiedene Computerplattformen bereitgehalten werden; überdies sollten bei jeder neuen Version die Nutzer verständigt werden, daß „Update“ zu empfehlen wäre.

Bei Java fallen derartige Wartungsprobleme weg: Erstens ist – wie vieles im WWW – die Sprache plattformunabhängig. Zweitens muß sich ein Nutzer um das Programm zu starten mit dem Server verbinden, wobei er jedesmal automatisch die aktuellste (freigegebene) Programmversion lädt. Daher ist es für den Programmierer nicht mehr notwendig in „Versionsnummern“ zu planen, sondern es kann jede kleinere oder größere Änderung per Sofort allgemein zur Verfügung gestellt werden. Die Programmdokumentation dazu wird, selbstverständlich laufend aktualisiert, als HTML-Dokument online bereitgehalten.

Ein einfaches Beispiel für die Realisierung einer Programmidee in Java ist kleines Programm zur Koordinatenumrechnung (Geographisch, Gaus-Krüger, UTM, Lambert) mit Meter-Genauigkeit. Die dafür als Bibliotheksfunktionen erstellten Transformationen werden zusätzlich auch im Dateninformationssystem zur wahlweisen Anzeige verschiedener Koordinatensysteme eingesetzt.

Eine komplexere Anwendung die in Java realisiert wurde ist ein bisher nur auf einem Standalone-PC mit spezieller Hardware-Ausstattung verfügbares Programm zur Bestimmung von Paßpunkten mit Subpixelgenauigkeit [8]. Das Verfahren ist nunmehr im Prinzip jedem Internet-Teilnehmer zugänglich, der somit ohne zusätzliche Hilfsmittel die Paßinformationen für die Geokodierung von österreichischen Satelliten-daten bestimmen kann.

Zugang zu den von DATENPOOL bereitgestellten Tools ist unter [W5] gegeben.

## 6. Ausblick

Im Rahmen von DATENPOOL wurden die in MISSION involvierten Partner mit den neuen Methoden und Möglichkeiten von internetbasier-

ten Informationsdiensten vertraut gemacht. Basierend auf den hier entwickelten Lösungen können sie eigene Anwendungen entwickeln.

Künftige Arbeiten werden sich auf die Integration von weiteren Datensätzen konzentrieren und sich im übrigen an der weiteren Entwicklung von Hard- und Software im Internet orientieren:

- Verbesserung der Kompatibilität von Java mit vorhandenen WWW-Infrastrukturen;
- Sicherheitsaspekte beim Transfer von Programmen bzw. Zugriff auf lokale Dateien;
- Normierung von Katalogabfragen auf globaler Basis, entsprechend dem neuen Standard „Catalogue Interoperability Protocol“ (CIP);
- Infrastrukturen zur automatisierten Exekution von speziellen Programmaufgaben auf optimalen Hard- und Softwarekonfigurationen.

Ziel all dieser Bemühungen ist es, unter Verwendung der weltweit im Internet verfügbaren Ressourcen, Fernerkundungsdaten erfolgreich für Anwendungen in Österreich zu nutzen, sowie die interationale Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Forschung und Wirtschaft zu fördern.

#### Literatur

- [1] *Leberl F.; Kalliany R.*: Innovationen in Sensortechnik und Datennetzwerken. Vermessung und Geoinformation VGI, 84. Jhg, 1/96, S. 6–13.

- [2] *Leberl F.; Kalliany R.*: Satellite Remote Sensing in Austria and the European Center for Earth Observation. Vermessung und Geoinformation VGI, 83. Jhg, 1+2/95, S. 37–47.
- [3] *Gosling J. et al.*: Java Programming Language, SunSoft Press, 1996
- [4] *Schiewe J.*: MOMS-02: Gelungenes Experiment ohne Zukunft?. Photogrammetrie / Fernerkundung / Geoinformation PFG 1/98, S. 17–25.
- [5] *Kalliany R.*: Das Fernerkundungs-Experiment FEM während des Österreichisch-Sowjetischen Raumfluges AUSTROMIR. Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie – ÖZ, 80. Jhg 1/92, S. 3–19.
- [7] *Maurer H.; Grim A.; Fessl Ch.*: Der Einsatz von modernen WWW-Systemen als multimediale Datenspeicher. Vermessung und Geoinformation VGI, 85. Jhg, 3/97, S. 190–197.
- [8] *Niederl F.*: Online order and delivery system for remote sensing datasets, EO/Geo Workshop, Salzburg, 1998
- [9] *Kalliany R.*: Locating Ground Control Features with Sub-pixel-Accuracy, Proceedings of the 11th EARSeL Symposium, Graz, 1991, S. 418–427.

#### WWW-Adressen

- [W1] Network Wizards: <http://www.nw.com>  
[W2] CEO: <http://www.ceo.org>  
[W3] Erdbeobachtung: <http://www.icg.tu-graz.ac.at/eb>  
[W4] MISSION: <http://www.icg.tu-graz.ac.at/mission>  
[W5] Java-Tools: <http://www.icg.tu-graz.ac.at/tools>

#### Anschrift der Autoren

Rainer Kalliany und Franz Niederl: Institut für maschinelles Sehen und Darstellen (ICG), Technische Universität Graz. A-8010 Graz, Münzgrabenstraße 11.  
E-Mail: [kalliany@icg.tu-graz.ac.at](mailto:kalliany@icg.tu-graz.ac.at),  
[niederl@icg.tu-graz.ac.at](mailto:niederl@icg.tu-graz.ac.at)



## Biotopkartierung im alpinen Raum mit Methoden der Fernerkundung

*Heinz Gallaun, Mathias Schardt und Klaus Granica, Graz*

### Zusammenfassung

Kenntnisse über die Verteilung von Biotopen des alpinen Raumes sind aus ökologischer Sicht von großer Bedeutung. Da es jedoch über dem Dauersiedlungsraum nur vereinzelte, kleinräumige Kartierungen gibt, wurde eine mehrphasige Methode zur Biotopkartierung für den Bereich über dem Dauersiedlungsraum entwickelt. Durch den kombinierten Einsatz von Satellitenbilddaten, Luftbildern und terrestrischen Erhebungsmethoden für eine mehrphasige Inventur können dabei die Vorteile der verschiedenen Inventurinstrumente bzw. Verfahren optimal genutzt werden.

### Abstract

Knowledge of the distribution of alpine biotopes is of great importance from an ecological point of view. However, only small and isolated alpine areas have been mapped up to now above permanent settlements. A multi-phase approach to mapping alpine biotopes is presented that takes advantage of the combined use of satellite imagery, airphotos, and ground survey techniques for inventory purposes.

### 1. Einleitung

Der Begriff Biotop setzt sich aus den griechischen Silben bios (= Leben) und topos (= Ort,

Stelle, Raum) zusammen und läßt sich daher wörtlich mit Lebensraum übersetzen. Kaule [5] betrachtet ihn im Zusammenhang mit Biotopkartierungen als eine natürliche oder naturnahe Flä-

che mit besonderer ökologischer Wertigkeit, ein extensives Kulturökosystem oder einen anthropogen bedingten Sonderstandort mit Bedeutung für die Tier- und Pflanzenwelt.

Die wichtigsten Voraussetzungen für den umfassenden Schutz der Biotope stellen die genaue Kenntnis von Standorten und Verteilung dar. Bisher führte der Weg zu diesem Wissen vorwiegend über Standortkartierungen. Was nach [9] in vielen anderen europäischen Ländern mehr oder weniger flächendeckend vorhanden ist, ist in Österreich, wo die ersten Biotopkartierungen Anfang der 80-er Jahre vorgenommen wurden, nicht zuletzt aufgrund der geographischen Lage und den damit verbundenen Schwierigkeiten, Begehungen in schwer zugänglichen Gebieten der höheren Lagen durchzuführen, nur fragmentarisch erreicht worden [8]. Daher wurde in Zusammenarbeit mit der Steiermärkischen Landesregierung und dem Umweltbundesamt eine fernerkundungs-gestützte Methode zur großräumigen Biotopkartierung entwickelt.

Zur Untersuchung der großflächigen Anwendbarkeit der Methode wurde das Gebiet, das von den beiden Kartenblättern Schladming und Gröbming der Österreichischen Karte 1 : 50 000 dargestellt wird, ausgewählt. Dieses Gebiet ist repräsentativ für große Bereiche des Alpenraumes, da die Höhenstufen montan bis hochalpin sowie die in den Alpen am häufigsten auftretenden geologischen Formationen Kalk und Kristallin abgedeckt werden.

## 2. Konzept

Zur Zeit werden Biotopkartierungen hauptsächlich mit Hilfe von Geländeerhebungen durchgeführt, die vor allem im alpinen Raum sehr zeit- und kostenintensiv sind. Um den Aufwand für die Geländeerhebung zu reduzieren, wurde eine mehrphasige Methode zur Biotopkartierung für den Bereich über dem Dauersiedlungsraum entwickelt. Durch den kombinierten Einsatz von Satellitenbilddaten, Luftbildern und terrestrischen Erhebungsmethoden werden dabei die komplementären Informationen der verschiedenen Inventurinstrumente bzw. Verfahren genutzt.

Das Verfahren ist in drei Phasen gegliedert:

### PHASE I

In der ersten Phase wird eine Klassifizierung von Satellitenbilddaten durchgeführt. Für die Klassifikation wird berücksichtigt, daß das Auftreten von Biotoptypen im alpinen Raum an spe-

zifische naturräumliche Bedingungen gebunden ist. Um diese Gesetzmäßigkeiten für die Optimierung der Klassifikation einzusetzen, wurde ein Regelwerk aufgebaut, das die Standortseignung in Abhängigkeit von der Höhenstufe, Geologie, Neigung und Sonnenexposition wiedergibt. Dieses Regelwerk wird daraufhin für eine regelbasierte Klassifizierung verwendet. Ergebnis der ersten Phase ist eine flächendeckende Biotoptypenkartierung

### PHASE II

Durch visuelle Interpretation von CIR-Luftbildern an einem Stereoauswertegerät wird die Biotoptypenkartierung der ersten Phase in dieser Phase zu einer Biotopkartierung verfeinert. Dabei müssen zahlreiche Flächen, wie z.B. Fettwiesen- und weiden, anstehender Fels, Aufforstungen etc., die bereits in Phase I mit ausreichender Detailliertheit erfaßt sind, nicht mehr ausgewertet werden. Weiters werden die in Phase III terrestrisch zu erhebenden Biotope auf IR-Luftbildkarten abgegrenzt, wodurch die Geometrie der durch Feldbegehung zu erhebenden Biotope gegeben ist.

Als Ergebnis der Phasen I und II ist ein Großteil der Fläche durch Auswertung der Fernerkundungsdaten ohne terrestrische Erhebung kartiert.

### PHASE III

Biotope, die in den Phasen eins und zwei nicht mit ausreichender Genauigkeit kartiert werden können, werden in Phase drei terrestrisch begangen. Als Grundlage für die terrestrische Kartierung dienen die Ergebnisse der Phasen I und II. Eine vorläufige Abgrenzung der terrestrisch zu erhebenden Biotope wird dabei bereits in Phase II mittels Luftbildinterpretation vorgenommen. Im Laufe der Felderhebungen werden diese Grenzen modifiziert und wenn notwendig ergänzt. Da diese Felderhebungen nur für einen Teil der Biotope erforderlich ist, kann eine großflächige Biotopkartierung auch im alpinen Raum mit vertretbarem Aufwand realisiert werden.

## 3. Phase I – Satellitenbildauswertung

### 3.1. Klassifizierung der Biotoptypen außerhalb des Waldes mit Regelwerk

Das Auftreten von Biotopen ist vor allem im alpinen Raum oft an spezifische naturräumliche Bedingungen gebunden. Zu nennen sind hier beispielsweise die Parameter Geologie, Höhenstufe, und Wasserverfügbarkeit. Latschenbuschwald kommt z.B. nur in bestimmten Hö-

henstufen vor, Hochmoore kommen nicht auf Hängen und nicht auf Kalk vor, usw. Daher wurde als Grundlage der Klassifikation ein Regelwerk aufgebaut, das diese Gesetzmäßigkeiten wiedergibt.

Um eine großflächige Anwendbarkeit der Methode zu gewährleisten, wurden nur solche Parameter für das Regelwerk verwendet, die für eine landes- bzw. bundesweite Auswertung operationell einsetzbar sind.

Parameter wie Bodentyp, Nährstoffversorgung und Wasserversorgung liegen für den alpinen Raum, wenn überhaupt, nur lokal vor und wurden daher nicht in das Regelwerk integriert.

Die Anwendung des Regelwerkes liefert als Ergebnis eine Beurteilung inwieweit eine Einschränkung der Standortseignung entsprechend der im GIS vorliegenden Parameter für einen bestimmten Geländeausschnitt gegeben ist. Dabei ist die Standortseignung folgendermaßen quantifiziert:

- 0 – nicht geeignet (Ausschlußfläche)
- 1 – sehr schlecht geeignet (aber möglich)
- 2 – schlecht geeignet
- 3 – geeignet
- 4 – gut geeignet
- 5 – sehr gut geeignet

Als Beispiel zeigt die Tab. 1 die Standortseignung für Wimperalpenrosenheiden, Rostalpenrosenheiden und Lärchwiesen in Abhängigkeit der im Regelwerk berücksichtigten Parameter.

Ausschlaggebend für die Gesamtbewertung der Standortseignung für einen bestimmten Geländeausschnitt ist jeweils die ungünstigste Einstufung laut Regelwerk. Auch wenn z.B. aufgrund der Exposition, der Geologie und der Neigung ein bestimmter Geländeausschnitt als Standort für Latschenbuschwald sehr gut geeignet ist, wird wenn dieser Geländeausschnitt im subnivalen Klimabereich liegt, die Standortseignung aufgrund der Höhenstufe als „nicht geeignet“ eingestuft. Mathematisch wird diese „ungünstigste“ Standortseignung durch eine Minimumbildung der einzelnen Standortseignungen (Geologie, Höhenstufe, Exposition und Neigung) berechnet. Das Ergebnis dieser Operation ist nicht die absolute Standortseignung eines bestimmten Geländeausschnittes für die jeweiligen Biotoptypen, sondern eine Bewertung der Standortseignung anhand der einbezogenen Parameter. Die Abb. 1 zeigt das Ergebnis der Anwendung des Regelwerkes für die Standortseignung von Wimperalpenrosenheiden.

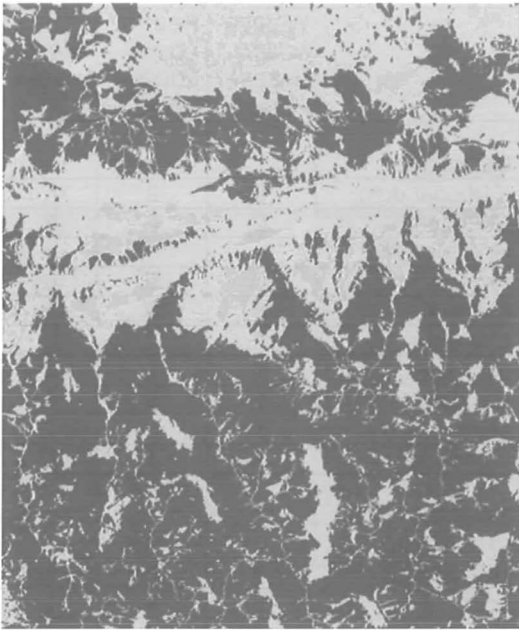
Für die Klassifizierung werden als erster Schritt Referenzgebiete im Satellitenbild abge-

	WIMPER-ALPEN-ROSENHEIDE	ROST-ALPEN-ROSENHEIDE	LÄRCH WIESEN
<b>GEOLOGIE:</b>			
Karbonat dom.	5	2	5
Silikat dom.	2	5	5
<b>HÖHENSTUFE:</b>			
nival	0	0	0
subnival	0	0	0
oberalpin	2	2	0
unteralpin	4	5	0
subalpin	5	5	5
obermontan	3	3	2
untermontan	1	1	0
<b>SONNEN-EXPOSITION:</b>			
sehr hoch	2	3	3
hoch	3	4	3
mittel	5	5	5
gering	5	4	5
schattig	3	3	5
<b>NEIGUNG IN %:</b>			
0-2	5	5	5
3-7	5	5	5
8-15	5	5	5
16-35	5	5	5
36-60	5	5	5
>60	5	5	1

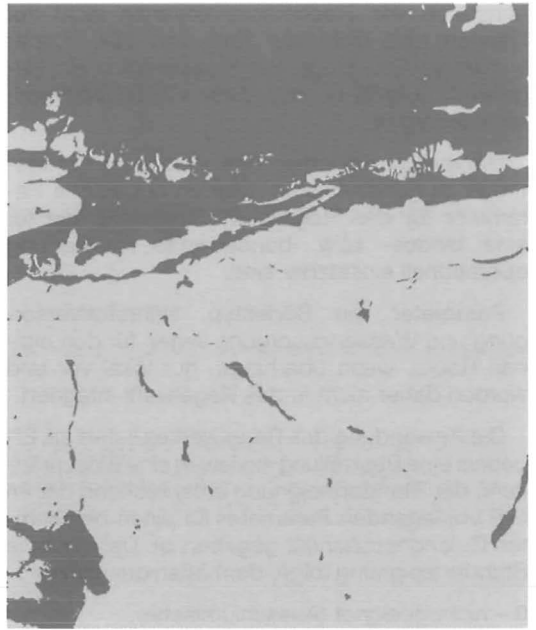
Tab. 1: Beispiel für die Einstufung der Standortseignung entsprechend dem Regelwerk

grenzt, deren Biotoptyp bekannt ist. Als Maß der Ähnlichkeit eines abgebildeten Geländepunktes mit einem Referenzgebiet wird die euklidische Distanz im Merkmalsraum berechnet. Als Merkmale werden die einzelnen Bänder der multispektralen Satellitenbilddaten sowie die von hochauflösenden panchromatischen Satellitenbilddaten abgeleitete Textur verwendet.

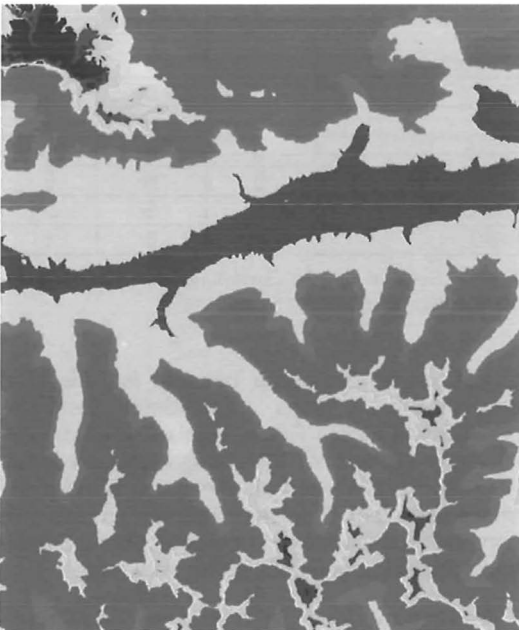
Die Biotope des alpinen Raumes treten in unterschiedlichsten Ausprägungen auf, sodaß die Rückstrahlung von Latschen z.B. je nach Überschirmung und Unterwuchs sowie evt. Verzahnung mit anderen Biotoptypen sehr stark variiert. Aus diesem Grund erfolgt der Vergleich der jeweiligen Pixel mit allen erhobenen Referenzgebieten getrennt. Es erfolgt also keine Klassenbildung durch Zusammenfassung mehrerer ähnlicher Referenzgebiete.



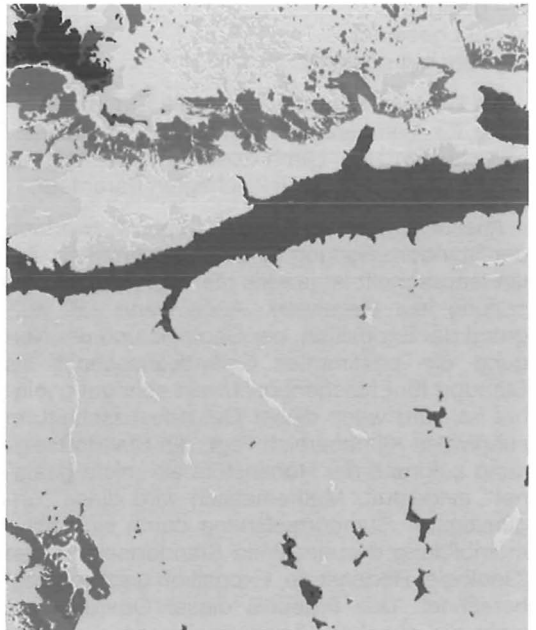
a)



b)






c)



d)

**LEGENDE:**

-  NICHT GEEIGNET
-  SEHR SCHLECHT GEEIGNET
-  SCHLECHT GEEIGNET

-  GEEIGNET
-  GUT GEEIGNET
-  SEHR GUT GEEIGNET (LOCUS TYPICUS)

Abb. 1: Ergebnis des Regelwerkes im Bereich Dachstein für die Standortseignung von Wimperalpenrosenheiden. a) Standortseignung der Wimperalpenrosenheiden in Abhängigkeit der Sonnenexposition, b) der Geologie, c) der Höhenstufe und d) Ergebnis aus der Kombination der Einzelfaktoren.

Da nur Mittelwerte verglichen werden, können auch Referenzgebiete, die nur einige Pixel groß sind, für die Klassifikation verwendet werden. Die Berücksichtigung der Standortseignung erfolgt, indem die euklidische Distanz durch die mittels Regelwerk abgeleitete Standortseignung dividiert wird. Die Zuordnung eines Pixels erfolgt zu jenem Biotoptyp, dem das Referenzgebiet mit dem so ermittelten geringsten Abstand angehört.

Als Ergebnis der Klassifikation sind die Kategorien „Fettwiesen“, „Fettweiden“, „Alpine Rasengesellschaften“, „Latschen“, „Gebüsche und Staudenfluren“, „Zwergstrauchheiden“, „Fels- Schutt- und Geröllhalden“, „Fels Schutt Geröll und versiegelte Flächen ohne Vegetationsbedeckung“, „Wasserflächen“ sowie „Baumgruppen / Lärchwiesen“ ausgewiesen.

### 3.2. Klassifizierung der Waldflächen

Für die Klassifikation des Waldtyps wurden aus Infrarot-Falschfarbluftbildern 300 Trainingsgebiete erhoben, die das gesamte Spektrum der unterschiedlichen Baumartenzusammensetzungen, der Altersstruktur sowie der Beschirmung berücksichtigen. Die Auswertung der Luftbilder wurde am Wild APT2 Stereo-Photointerpretationssystem durchgeführt.

Die Klassifizierung der Waldtypen erfolgte in den Landsat TM Daten basierend auf den in den Luftbildern sowie im Gelände erhobenen Trainingsgebieten mittels Maximum-Likelihood-Klassifikation. Da das Regelwerk entsprechend dem derzeitigen Bearbeitungsstand für die verschiedenen Waldtypen nur bedingt Einschränkungen bezüglich der Standortseignung erlaubt, folgt aus der Anwendung der Regeln nur ein relativ geringer Nutzen für die Klassifikation. Bei weiterer Bearbeitung des Regelwerkes sind zusätzliche Einschränkungen hinsichtlich der Standortseignung auch für die Waldtypen zu erwarten, wodurch die Anwendung in diesem Fall eine wesentliche Genauigkeitssteigerung mit sich bringen kann. Vorerst wurde aber auf die für Waldklassifikationen mit Landsat-TM sehr erfolgreich eingesetzte Maximum-Likelihood-Methode zurückgegriffen [7]. Als Ergebnis der Klassifikation sind die Waldtypen sowie der Überschirmungsgrad für die Waldgebiete flächendeckend ausgewiesen.

## 4. Phase II – Luftbildauswertung

Durch visuelle Interpretation von CIR-Luftbildern am Stereoauswertegerät wird die Biotoptypenkartierung der ersten Phase nun zu einer

Biotoptypenkartierung verfeinert. Vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen wurden sowohl Farbabzüge als auch Diapositive von Falschfarbluftbildern zur Verfügung gestellt. Zur Erstellung von Luftbildkarten für die Übertragung der Ergebnisse der Luftbildinterpretation in die Kartengeometrie sowie als Basis für die terrestrische Kartierung erfolgte eine Geokodierung der IR-Luftbilder mit dem Softwarepaket RSG (Remote Sensing Software Graz [4], das am Institut entwickelt wurde.

### 4.1. Aufbereitung der Luftbildkarten

Die Luftbildkarten dienen als geometrische Grundlage sowohl der Luftbildinterpretation als auch der terrestrischen Kartierung. Der Maßstab wurde mit 1:5 000 festgelegt, da dieser Maßstab sowohl die nötige Detailliertheit der Biotoptypenkartierung, als auch eine rationelle großflächige Bearbeitung erlaubt.

Für die Qualität der Luftbildinterpretation ist vor allem die Erfahrung des Interpreten von entscheidendem Einfluß. Die Interpretation kann dabei zwar durch Interpretationsschlüssel erleichtert werden, letztlich ist es aber kaum möglich, den gesamten Bildinhalt objektiv und eindeutig nachvollziehbar in einen Schlüssel zu „pressen“. Vielmehr kann das Aussehen z.B. einer Nutzungsart im Luftbild beträchtlichen Variationen unterworfen sein [1].

Um den Informationsgehalt der Luftbilder voll nützen zu können wurde die Interpretation der Luftbilder an einem Stereoauswertegerät durchgeführt. Ein Vergrößerungsfaktor von ca. 15 ist dabei für die Interpretation der Luftbilder im Maßstab von 1:10 000 bis 1:15 000 notwendig. Die Übertragung der Ergebnisse in die Kartengeometrie erfolgt durch Delinierung der Biotoptypengrenzen und Eintragung des Interpretationsergebnisses in Form eines Codes in die Luftbildkarte. Flächen, die nicht eindeutig zugeordnet werden können, werden soweit möglich in der Luftbildkarte abgegrenzt, ohne daß aber ein Code vergeben wird. Diese Flächen werden in weiterer Folge durch Feldbegehung erhoben, und die Abgrenzungen wenn notwendig modifiziert.

## 5. Phase III – Geländeerhebungen

Bereits vor dem Projektbeginn wurden Freilanderhebungen durchgeführt, um im relativ weitläufigen Untersuchungsgebiet eine Vorauswahl von Bereichen mit hinsichtlich der vorhandenen Biotoptypen besonders günstigen Vor-

aussetzungen zu treffen [8]. Auf Basis dieser Exkursionen wurden folgende drei Gebiete für die terrestrische Kartierung ausgewählt:

- Südadfall des Dachsteins
- Gebiet um den Giglachsee, mit der Steirischen Kalkspitze
- Bereich um die Lassachalm (nördlich des Schwarzensees)

Grundlage für die Felderhebungen sind die Ergebnisse der Phasen I und II. Auf der Basis der in Phase II hergestellten Luftbildkarten werden jene Flächen begangen, die mittels Fernerkundung nicht mit ausreichender Genauigkeit kartiert werden konnten. Für die Auffindbarkeit dieser Flächen im Gelände sind die Österreichische Karte 1:50000 und die hergestellten Luftbildkarten im Maßstab von 1:5000 ausreichend. Die als Ergebnis der Phase II auf den Luftbildkarten eingezeichneten Biotopgrenzen erlauben eine rasche Auffindbarkeit der Flächen im Feld, da die zu kartierenden Biotope nicht langwierig auf den Karten und in der Natur gesucht werden müssen. In schwer begeharen Gebieten wird bereits im Laufe der Luftbildinterpretation ein optimaler Weg für die Begehung festgelegt.

### *5.1. Nutzen der Luftbildauswertung für die Felderhebung*

Die terrestrische Kartierung von Biotopen ist im alpinen Bereich oft extrem schwierig. Ursachen dafür sind u.a. fließende Übergänge durch Verzahnungen unterschiedlicher Biotope, die schlechte Begehrbarkeit von Steilhängen und Probleme mit der Perspektive wenn man z.B. in einem 2m hohen Latschenbuschwald steht.

Eine lagerichtige Kartierung ist mit sehr hohem Aufwand verbunden. Da durch die Luftbildinterpretation bereits ein Großteil der Biotope kartiert ist, beschränkt sich die Felderhebung auf die noch nicht eindeutig interpretierten Flächen. Für diese Flächen erfolgt bereits bei der Luftbildinterpretation eine Abgrenzung der Biotope. Wie sich im Projektverlauf bestätigte sind diese Abgrenzungen im Luftbild sehr genau und müssen während der Felderhebungen nur geringfügig modifiziert werden.

## **6. Bewertung der Ergebnisse:**

### *6.1. Bewertung der Satellitenbildklassifikation (Phase I)*

Die Verwendung eines regelbasierten Klassifizierungsansatzes ist eine wesentliche Voraussetzung für die Erfassung von Biotoptypen, da

sich sehr viele Biotoptypen alleine aus der Satellitenbildsignatur nicht differenzieren lassen. Trotz der Vorteile, die sich aus der Verwendung eines regelbasierten Klassifizierungsansatzes ergeben haben, sind die Ergebnisse der Klassifizierung der Biotoptypen außerhalb des Waldes kritisch zu betrachten. Bei der Definition des Projektes wurde von der Auswertung von multitemporalen hochauflösenden Satellitenbildern ausgegangen. Wie z.T. auch in den Medien berichtet wurde, waren die geplanten Erdbeobachtungsmissionen in den vergangenen zwei Jahren nicht übermäßig erfolgreich. Gescheitert sind nicht nur die MOMS-Mission an Bord der Raumstation MIR, sondern u.a. auch die ADEOS und Early-Bird Mission. Daher wurde auf Landsat-TM-Daten zurückgegriffen, die zwar spektral den Anforderungen entsprechen, räumlich aber nur eine Auflösung von 30m mal 30m aufweisen. Im Gegensatz zur Klassifizierung von Waldflächen, die zufriedenstellende Ergebnisse erbrachte, ist mit diesen Daten keine zuverlässige Kartierung der außerhalb des Waldes meist kleinräumig verzahnten Biotope möglich.

Durch die in Zukunft verfügbaren hochauflösenden Sensorsysteme, wie beispielsweise QUICKBIRD und IKONOS, werden auch die für die Biotopkartierung außerhalb des Waldes erforderlichen Auflösungen im infraroten Spektralbereich erreicht. Es ist anzunehmen, daß durch die Verwendung dieser Daten (insbesondere auch multitemporale Daten) die Klassifizierungsergebnisse signifikant verbessert werden. Sobald diese Daten verfügbar sind, werden sie im Rahmen des EU-Projektes ALPMON (Inventory of alpinerelevant parameters for an alpine monitoring system using remote sensing data) das derzeit am Institut bearbeitet wird, in das regelbasierte Klassifizierungssystem integriert.

### *6.2. Bewertung der Luftbildinterpretation (Phase II)*

Die Biotopkartierung mittels IR-Luftbildauswertung kann für den alpinen Raum als Vorstufe für eine terrestrische Erhebung unbedingt empfohlen werden. Für die eindeutige Interpretation vieler Flächen ist sowohl die Farbinformation der IR-Luftbilder, als auch der durch StereoAuswertung erzielte Raumeindruck notwendig. Eine Kartierung nur auf Basis von SW-Orthophotos kann daher nicht empfohlen werden. Wünschenswert ist die Verwendung von einheitlichem Filmmaterial, sowie die Befliegung zu phänologisch ähnlichen Zeitpunkten.

Die Abgrenzung von Flächen basierend auf der entwickelten Nomenklatur und des darauf



aufbauenden Interpretationsschlüssels bringt eine wesentliche Arbeitserleichterung bei der Felderhebung mit sich. Zum einen kann der Biotopkartierer im Gelände die geometrisch und inhaltlich korrekte sowie kleinräumige Skelettierung der potentiellen Biotope als Grundlage verwenden und muß sich daher nur noch bei einer weiteren Differenzierung in kleinere Flächeneinheiten um Abgrenzungen kümmern. Dies ist als wesentlicher Vorteil anzusehen, da die geometrisch korrekte Abgrenzung der Biotope bei Geländeerhebungen im alpinen Raum sehr schwierig ist. Zum anderen können bereits im Luftbild ein Teil der Biotoptypen eindeutig kartiert werden, sodaß diese bei der terrestrischen Erhebung nicht mehr begangen werden müssen. Dieser weitere Vorteil reduziert die mit den Geländeerhebungen verbundenen Kosten erheblich. Als Beispiele für Biotope, die bereits alleine mit Hilfe von Luftbildern erfaßt werden können, sind zu nennen: Latschen, Grünerlen, Moore, einzelne Baumarten etc. Weiters können die intensiv bewirtschafteten Flächen wie z.B. Fettweiden zum überwiegenden Teil mit ausreichender Genauigkeit nur auf Basis der Fernerkundung kartiert werden.

Ein wesentlicher Vorteil der Luftbildinterpretation ist die Nachvollziehbarkeit der Kartierung, da die als Grundlage für die Kartierung dienenden Luftbildkarten zugleich eine Dokumentation des Zustandes zum Aufnahmezeitpunkt der Luftbilder darstellen. Insbesondere ist damit auch die Feststellung und Dokumentation von Veränderungen möglich, wenn die Kartierung zu einem späteren Zeitpunkt wiederholt wird.

### 6.3. Bewertung der Geländeerhebung (Phase III)

Bei den Geländearbeiten hat sich zum einen gezeigt, daß die auf den geokodierten Luftbildern überlagerten Flächengrenzen sehr gut im Gelände wiedergefunden werden konnten. Zum anderen waren die Interpretationsergebnisse inhaltlich richtig. Die Vorteile, die sich durch den Einsatz der Fernerkundung für die terrestrische Erhebung ergeben sind im folgenden aufgelistet:

- Vorskelettierte Biotoptypen oder Gruppen von Biotoptypen als geometrische Grundlage für die terrestrische Biotopkartierung. Dadurch ist ein geometrisch einwandfreies Kartierungsergebnis garantiert und eine Verschneidung der Ergebnisse mit anderen

raumbezogenen Daten beispielsweise im GIS-Steiermark möglich.

- Viele Biotoptypen können schon alleine im Luftbild erfaßt werden und müssen somit im Gelände nur noch stichprobenhaft überprüft werden.
- Die Luftbildkarten dienen als Planungshilfe für die terrestrische Kartierung sowie zur besseren Orientierung im Gelände.

Die Klassifizierung der Waldparameter Beschirmungsgrad und Waldgrenze war im Gelände schwierig. Hier können die Ergebnisse aus den Phasen I (Satellitenbilddauswertung) und Phase II (Luftbilddauswertung) herangezogen werden.

### Literatur

- [1] Arbeitsgemeinschaft Naturschutz, 1995. Systematik der Biotoptypen- und Nutzungstypenkartierung (Kartieranleitung). Standard-Biotoptypen und Nutzungstypen für die CIR-Luftbildgestützte Biotoptypen- und Nutzungstypenkartierung für die Bundesrepublik Deutschland. – Schriftenreihe Landschaftspflege Naturschutz 45.
- [2] Ellenberg H. 1992. Zeigerwerte der Gefäßpflanzen. – In: Ellenberg H., Weber H. E., Düll R., Wirth V., Werner W. & Paulßen D. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 2. Aufl. – Scripta Geobot. 18: 9–166.
- [3] Holzner W. (Hrsg.) 1989. Biotoptypen in Österreich. Vorarbeiten zu einem Katalog. – Umweltbundesamt Monograph. 12.
- [4] Joanneum Research (1998). Remote Sensing Software Package Graz – Field Guide, Institut für Digitale Bildverarbeitung, Graz
- [5] Kaule G. 1991. Arten- und Biotopschutz. 2. Aufl. – Stuttgart.
- [6] Mucina L., Grabherr G. & Wallnöfer S. 1993. (Hrsg.) Die Pflanzengesellschaften Österreichs. 3. Wälder und Gebüsche. – Jena, Stuttgart, New York.
- [7] Schardt, M., Gallaun, H. & Häusler, Th. (1998): Monitoring of Environmental Parameters in the Alpine Regions by Means of Satellite Remote Sensing. Proc. International ISPRS-Symposium on „Resource and Environmental Monitoring, Local, Regional, Global, Commission VII, September 7–4, 1998, Budapest, Hungary.
- [8] Schrefler K. 1998. Aufbau eines Klassifikationsansatzes und Vorerhebung von Trainingsgebieten in der Dachsteingruppe und in den Schladminger Tauern für den Fernerkundungseinsatz in der Biotopkartierung außerhalb des Dauersiedlungsraumes. Diplomarbeit. UNI-Graz.
- [9] Winkler I. 1995. Biotopkartierung in Österreich. Stand Juli 1994. – Umweltbundesamt. Rep. 95–123

### Anschrift der Autoren:

Dipl.-Ing. Heinz Gallaun,  
 eMail: heinz.gallaun@joanneum.ac.at  
 Dr. habil. Mathias Schardt,  
 eMail: mathias.schardt@joanneum.ac.at  
 Mag. Klaus Granica,  
 eMail: klaus.granica@joanneum.ac.at  
 JOANNEUM RESEARCH, Institut für Digitale Bildverarbeitung, Wastiangasse 6, A-8010 Graz.



# Nutzungskartierung aus hochauflösenden Fernerkundungsdaten für die Raumplanung

Klaus Steinnocher, Seibersdorf und Günther Knötig, Linz

## Zusammenfassung

Die Erfassung und regelmäßige Aktualisierung des Ist-Zustandes der Landnutzung stellen eine essentielle Grundlage für raumplanerische Tätigkeiten dar. Der Einsatz der Fernerkundung mit räumlich hochaufgelösten Bilddaten eröffnet für die angesprochene Fragestellung neue Möglichkeiten. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde untersucht, inwieweit die Erfassung und in Folge auch die Aktualisierung bestehender Nutzungskartierungen mit Hilfe aktueller Fernerkundungsdaten realisierbar ist. Die Arbeiten erfolgten in Kooperation mit der oberösterreichischen Landesregierung / Abteilung Raumordnung. Das Projekt war Teil der österreichischen Projektinitiative MISSION.

## Abstract

Acquisition and update of land-use information represents an essential input to regional planning activities. The use of high resolution remote sensing data offers a new dimension for this purpose. The presented project analyses the question, to what extent acquisition and updating of land-use maps is possible by means of remotely sensed imagery. The study was performed in cooperation with the Department of Regional Planning, State Government of Upper Austria (Oberösterreichische Landesregierung). The project is part of the Austrian project-initiative MISSION.

## 1. Einleitung

Die Erfassung der aktuellen Landnutzung ist seit Beginn der Erdbeobachtung mit Satelliten ein wichtiges Anwendungsgebiet der Fernerkundung. Die aktuelle, flächendeckende Erfassung großer Gebiete mit vergleichsweise geringem Kostenaufwand bietet einen klaren Vorteil gegenüber den traditionellen Methoden der terrestrischen oder photogrammetrischen Erhebungen. Trotzdem konnte sich bis dato die Fernerkundung bei vielen Fragestellungen nur bedingt durchsetzen, da die räumliche Auflösung den Anforderungen nicht gerecht wurde. Durch den Einsatz von Sensoren, die eine räumliche Auflösung von unter 10 m anbieten, eröffnet sich eine neue Dimension bei der Lösung dieser Problemstellungen.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden die Möglichkeiten zur effizienten Nutzung hochauflösender Fernerkundungsdaten für die Raumplanung untersucht. Im Mittelpunkt stehen dabei die Erfassung und Aktualisierung von Nutzungskartierungen, die als Grundlage für Planungsaufgaben notwendig sind. Als Anwenderpartner fungierte die Abteilung Raumordnung der Oberösterreichischen Landesregierung (OÖ-LR), die die Problemstellung des Projektes definierte.

### 1.1. Problemstellung

Das Tätigkeitsfeld der Raumplanung stützt sich in hohem Maße auf den aktuellen Ist-Zu-

stand der Landnutzung zur Überprüfung von Planungsvorgaben bzw. als Basis für zukünftige Planungsaufgaben. So hat die OÖLR den gesetzlichen Auftrag, regelmäßig eine landesweite Bodenbilanz durchzuführen, die die Nutzung der als Grünland gewidmeten Flächen und deren Veränderung im zeitlichen Ablauf dokumentieren soll. Zur Zeit wird die Erfassung der realen Nutzung nicht durchgeführt, da der OÖLR keine geeigneten Instrumente dafür zur Verfügung stehen. Der Einsatz hochauflösender Satellitenbilddaten in Kombination mit geeigneten Auswertungsverfahren stellt einen realistischen Lösungsansatz dieses Problems dar, der im Vergleich zu klassischen Erhebungsmethoden deutlich kostengünstiger ist.

1. Bauland	1.1 Städtisches Kerngebiet 1.2 Wohnbaugelände 1.3 Mischgebiet 1.4 Gewerbegebiet 1.5 Industriegebiet	
2. Verkehrsgebiet	2.1 Straßenverkehrsflächen 2.2 Bahnverkehrsflächen 2.3 Flugverkehrsflächen	2.1.1 fließend 2.1.2 ruhend
3. Grünland	3.1 Landwirtschaftliche Nutzung 3.2 Wald 3.3 Sonderflächen	3.1.1 Wiesen / Weiden 3.1.2 Ackerland 3.2.1 Laubwald 3.2.2 Mischwald 3.2.3 Nadelwald 3.3.1 Friedhöfe 3.3.2 Schottergruben 3.3.3 natürliche Vegetation 3.3.4 vegetationslose Flächen 3.3.n .....

normal ... aus Fernerkundungsdaten (semi-)automatisch extrahierbare Information  
kursiv ... aus Fernerkundungsdaten und zusätzlicher Information im GIS extrahierbar  
fett ... in Fernerkundungsdaten nicht oder nur durch zusätzliches Wissen zu differenzieren

Tab. 1: Nomenklatur

## 1.2. Nomenklatur

Als erster Arbeitsschritt wurde in Kooperation mit dem Anwenderpartner eine Nomenklatur erstellt, die dessen Anforderungen hinsichtlich der Nutzungsklassen repräsentiert. Der Aufbau ist hierarchisch und gliedert sich in drei Ebenen (Tab. 1). Die im folgenden beschriebenen Arbeiten dienen der Untersuchung, inwieweit die geforderten Klassen aus den zur Zeit verfügbaren Satellitendaten abgeleitet werden können.

## 1.3. Untersuchungsgebiet, Satellitenbilder und Datenaufbereitung

Als Untersuchungsgebiet wurden der Hausruck und das nördliche Salzkammergut gewählt. Es wird im wesentlichen durch die ÖKs 47, 48, 65 und 66 abgedeckt. Das Gebiet umfaßt die für Oberösterreich typischen Landschaftsformen und enthält den Großteil der für die Bodenbilanz relevanten Nutzungsarten.

Als Datengrundlage standen Aufnahmen des Landsat Thematic Mapper (TM) und des indischen Fernerkundungssatelliten IRS-1C zur Verfügung, der im Frühjahr 1996 gestartet worden war. Dieser Satellit trägt ein multisensoriales optisches Aufnahmesystem, das aus einem panchromatischen Sensor mit einer Pixelgröße von 5,8 m und einem multispektralen Sensor (grün, rot, NIR) mit einer Bodenauflösung von 23,5 m besteht. Für das Sommerhalbjahr 1997 wurden sowohl zwei multispektrale und eine panchromatische Aufnahme dieses Systems als auch eine Landsat TM Szene erworben. Damit konnte die gesamte Vegetationsperiode dieses Jahres abgedeckt werden.

Durch geometrische Rektifizierung wurden die Bildkoordinaten in ein übergeordnetes Koordinatensystem transformiert. Die Geokodierung der Bilddaten erfolgte am Institut für Maschinelles Sehen der Technischen Universität Graz, bzw. am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technischen Universität Wien, in beiden Fällen innerhalb der Kooperation im Rahmen der MISSION Projektinitiative. Als Resultat standen die multispektralen Bilddaten in einer Auflösung von 25 m, der panchromatische Kanal mit einer Auflösung von 5 m in Gauß-Krüger Projektion (M31) zur Verfügung.

## 2. Methodik

Die Bearbeitung der im Projekt eingesetzten multisensoralen Datensätze erfordert Auswertemethoden, die über den Rahmen der in kom-

merziellen Softwarepaketen verfügbaren Algorithmen hinausgehen. Das bezieht sich vor allem auf die Kombination von Satellitendaten unterschiedlicher räumlicher und spektraler Auflösung. Ein Schwerpunkt des Projektes war daher die Untersuchung verschiedener Methoden der Image Fusion zur effizienten Nutzung multisensoraler Satellitenbilddaten.

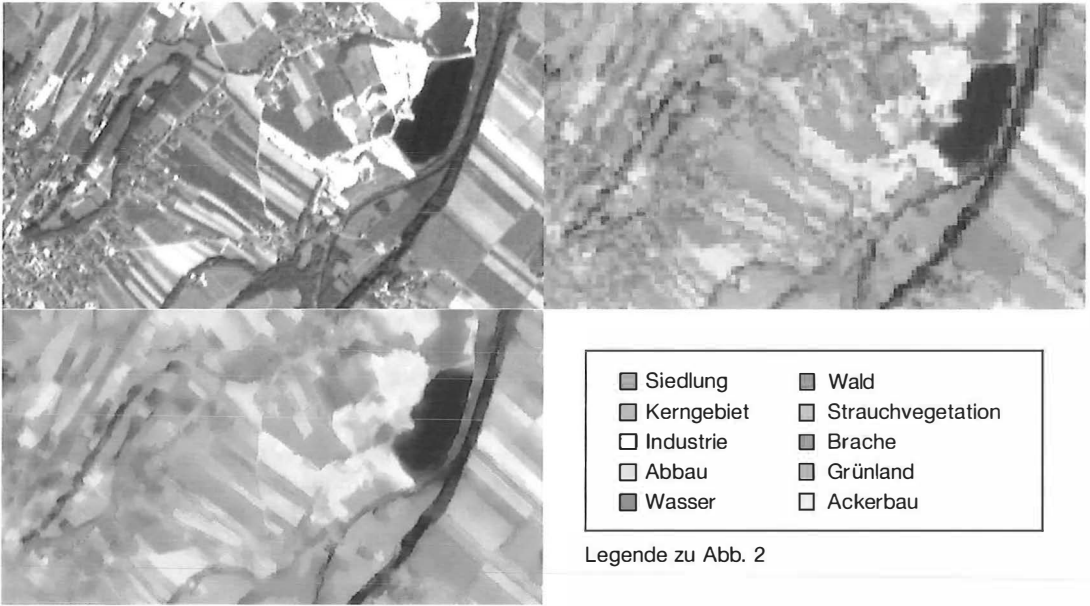
### 2.1. Image Fusion

Das Hauptziel der Image Fusion ist die Gewinnung zusätzlicher Information durch eine Verknüpfung von Bilddaten unterschiedlicher Charakteristik. Damit kann die Datengenauigkeit verbessert, zuverlässigere Interpretationen erreicht und die Einsatzmöglichkeit erweitert werden [4]. Anwendungsbereiche liegen beispielsweise in der Erzeugung schärferer Bilder (image sharpening), in der Erhöhung der Erkennbarkeit von Bildmerkmalen (feature enhancement) oder in der Substitution fehlender bzw. mangelhafter Bildinformation (z.B. aufgrund von Wolken in optischen Bildern oder Schatten in SAR-Daten).

Image Fusion kann als Algorithmus definiert werden, der zwei oder mehr verschiedene digitale Bilder zu einem neuen Bild mit modifizierten Pixelwerten verbindet, wobei die unterschiedlichen räumlichen, spektralen und zeitlichen Charakteristika der Ausgangsbilder berücksichtigt werden. Eine Voraussetzung für den Einsatz solcher Methoden ist die Koregistrierung oder eine gemeinsame Geokodierung der Ausgangsbilder. Sie spielt eine essentielle Rolle, da alle Techniken sehr sensibel auf räumliche Versetzungen reagieren und die daraus resultierenden Fehler eine spätere Interpretation der verknüpften Datensätze negativ beeinträchtigen. In der Literatur wird die Image Fusion in drei Ebenen eingeteilt, die sich in ihrem Grad der Abstraktion unterscheiden:

1. pixelbased,
2. featurebased, oder
3. decisionbased.

Image Fusion der ersten Art, auch Image Merging genannt, erfolgt auf der Pixel-Ebene und basiert auf einer radiometrischen Verknüpfung der einzelnen Pixelwerte. Featurebased Image Fusion basiert auf der Verknüpfung von Bildmerkmalen (features), die vor dem eigentlichen Fusion-Prozeß aus den Bilddaten extrahiert werden. Mögliche Bildmerkmale sind Bildsegmente, Kanten oder Texturmerkmale. Bei decisionbased Image Fusion werden die Datensätze im Zuge eines Klassifikationsverfahrens verknüpft.



Legende zu Abb. 2

Abb. 1: a) hochauflösendes Pan-Bild von IRS-1C (links oben), b) IRS-1C/multispektral (rechts oben), c) Ergebnis der Adaptive Image Fusion (links unten)

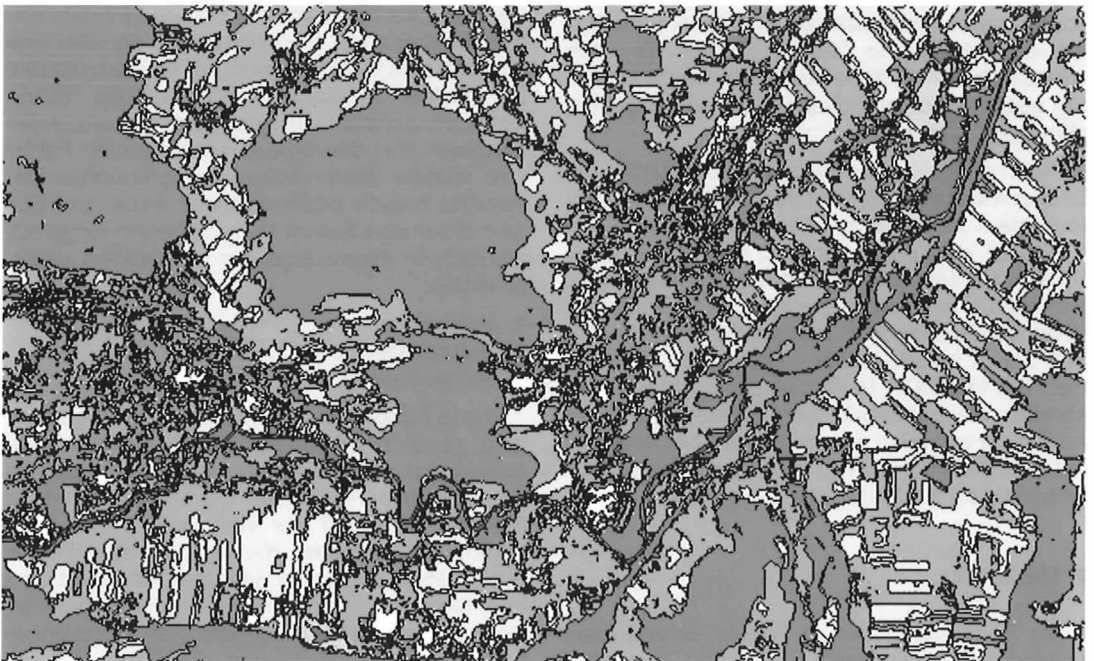


Abb. 2: Landnutzung aus hochauflösenden multitemporalen Satellitendaten

Im vorliegenden Fall war eine Methode gefragt, die eine Schärfung der multispektralen Bilddaten mit Hilfe der hochauflösenden panchromatischen Daten ermöglicht. Verwendet man die in der Literatur beschriebenen Methoden ergibt sich allerdings der Nachteil, daß die spektrale Charakteristik der multispektralen Bilddaten signifikant verändert wird. Daher wurde eine auf adaptiven Filtern basierende Methode entwickelt, die diese Nachteile nicht aufweist. In den folgenden Abschnitten wird zunächst auf Methoden der adaptiven Filterung eingegangen, aus der dann die Ansätze zur Adaptive Image Fusion abgeleitet werden.

## 2.2. Adaptive Filter

Adaptive Filter entstanden aus der Notwendigkeit, Signal und überlagertes Rauschen zu trennen, ohne die im Signal bestehende Information signifikant zu verändern. Die einfachste Form der Rauschunterdrückung sind Mittelwertfilter, die jedem Bildelement das Mittel der umgebenden Werte zuordnen. Folge dieser Filter ist allerdings auch eine deutliche Abschwächung von Linien- und Punktinformationen, die bei dieser Gelegenheit geglättet werden. Um diesen Effekt zu vermeiden, wird bei der adaptiven Filterung das Maß der Glättung der Grauwertvariation der Umgebung angepaßt. Ausgegangen wird von der Annahme, daß geringe Variationen durch Rauschen verursacht werden, starke Variationen jedoch auf Bildinformationen zurückzuführen sind. Dementsprechend wird in Bereichen geringer Variation stark geglättet – das Rauschen wird unterdrückt –, in Bereichen hoher Variation jedoch nur wenig oder gar nicht – die Information bleibt erhalten. Verstärkt eingesetzt werden adaptive Filter in der Vorverarbeitung von SAR-Daten, um den dort auftretenden Speckle-Effekt zu reduzieren [2, 3, 5]. Für die vorliegende Arbeit wurde der im folgenden beschriebene Sigma Filter gewählt.

## 2.3. Adaptive Image Fusion

Der Sigma Filter [2] basiert auf der Annahme, daß das Zentralpixel einer lokalen Umgebung den Mittelwert einer Normalverteilung repräsentiert und mittelt jene Pixel im lokalen Fenster, deren Grauwerte in diese Verteilung fallen. Idealerweise sollte jedoch das wahre Mittel der Verteilung zur Berechnung herangezogen werden. Da dieses Mittel aber nicht bekannt ist, schlägt Smith [5] vor, alle möglichen Verteilungen, denen das Zentralpixel angehören könnte, in die Mittelung miteinzubeziehen. Setzt man nun Grau-

wertverteilungen gleich mit einzelnen Objekten im Bild, bewirkt dieser Modified Sigma Filter, daß Grauwertübergänge zwischen einzelnen Objekten im Bild verstärkt werden, während innerhalb der Objekte homogene Flächen entstehen.

Aus diesem Ansatz wird die Adaptive Image Fusion (AIF) abgeleitet. Aus den hochauflösenden panchromatischen Bilddaten werden die Objektgrenzen extrahiert und in die multispektralen Daten übertragen. Zu diesem Zweck wird der Modified Sigma Filter auf das panchromatische Bild angewendet, wobei allerdings die adaptive Mittelwertbildung auf das multispektrale Bild erweitert wird. Die Folge ist eine schärfere räumliche Abgrenzung der Objekte im multispektralen Bild, verbunden mit einer künstlichen Verbesserung der geometrischen Auflösung der multispektralen Bilddaten (Abb. 1). Eine detaillierte Beschreibung der AIF findet sich in [7].

Zuletzt sei nochmals auf den entscheidenden Vorteil der AIF gegenüber anderen Methoden der Image Fusion eingegangen. Im Gegensatz zu Standardverfahren, wie z.B. der Principal Component Substitution (PCS) oder der Intensity-Hue-Saturation (IHS) Methode, erhält die AIF die radiometrischen Charakteristika der multispektralen Ausgangsdaten. Das ist besonders wichtig, wenn die Ergebnisse der Image Fusion als Basis für numerische Klassifikationen eingesetzt werden. Eine ausführliche Diskussion über die Charakteristika und Einsatzmöglichkeiten der AIF, auch im Vergleich zu anderen Methoden, findet sich in [1].

## 3. Auswertung

Mit Hilfe der Adaptive Image Fusion wurden zunächst die multispektralen Aufnahmen des IRS-1C und Landsat TM mit den hochauflösenden panchromatischen Bilddaten verknüpft. Dieser Schritt ermöglicht nicht nur die Reduktion der Mischpixel, die bei der geringeren Auflösung der multispektralen Daten zwingend auftreten, sondern „normiert“ gewissermaßen auch die räumliche Auflösung der multispektralen Bilddaten. Dieser Effekt kommt vor allem dann zum Tragen, wenn wie im vorliegenden Fall multispektrale Aufnahmen unterschiedlicher Sensoren verwendet werden (IRS-1C und Landsat TM).

Nach der Fusion mit der panchromatischen Aufnahme erfolgte die Klassifikation der multitemporalen Bilddaten nach einem hierarchischen Klassifikationsschema. Dabei wird zu-

nächst zwischen zeitlich variabler und zeitlich konstanter Landnutzung unterschieden. Entspricht, wie im vorliegenden Fall, der Untersuchungszeitraum einem Sommerhalbjahr, so beschränkt sich die Variation in erster Linie auf landwirtschaftlich genutzte Flächen, während andere Landnutzungsformen, wie z.B. Wald, verbautes Gebiet oder Wasser keiner oder nur einer geringfügigen Änderung unterliegen. In einem zweiten Schritt werden die beiden Metaklassen weiter unterteilt, wobei die konstanten Nutzungsklassen aus einem monotemporalen Bild, die variablen Klassen aus einem multitemporalen Datensatz abgeleitet werden. Eine detaillierte Beschreibung dieser multitemporalen Klassifikationsmethode findet sich in [6]. Als Ergebnis dieser Auswertung liegt ein Landnutzungslayer vor, der als Grundlage für die Erstellung der Bodenbilanz herangezogen werden kann. Abb. 2 zeigt einen Ausschnitt der Nutzungskartierung, und zwar die Umgebung von Vöcklabruck und Attnang Puchheim.

#### 4. Diskussion

Die aus der Auswertung resultierende Nutzungskartierung wurden dem Anwenderpartner zur Evaluierung übergeben. Im folgenden sei nun auf die wichtigsten Ergebnisse dieser Evaluierung eingegangen.

Auf der ersten Ebene der Nomenklatur konnte klar zwischen Bauland und Grünland unterschieden werden. Die automatische Erfassung der Verkehrsflächen, insbesondere der Straßen, erfordert jedoch zusätzliche Untersuchungen. Eine Möglichkeit stellen Algorithmen dar, die auf Linienverfolgung basieren. Hilfreich wäre in diesem Kontext in jedem Fall die Verwendung bestehender Daten des Straßennetzes im GIS, die zum Trainieren solcher Algorithmen verwendet werden könnten.

Innerhalb der Klasse Bauland kann zuverlässig zwischen dichter und lockerer Siedlungsstruktur unterschieden werden. Inwieweit diese Trennung jedoch der Definition Kerngebiet bzw. Wohnbaugebiet entspricht müßte durch einen Vergleich mit Flächenwidmungsplänen bestimmt werden. Industriegebiete mit einer signifikanten Flächenausdehnung werden zum Großteil erkannt. Allerdings können sie nicht direkt über ihren Oberflächentyp klassifiziert werden, sondern ergeben sich aus dem Kontext benachbarter Regionen. Hier ist also eine interaktive Nachbearbeitung notwendig, die jedoch mit relativ geringem Aufwand durchgeführt werden kann. Schwieriger gestaltet sich die Ausweisung von

Gewerbegebieten, da ihre Struktur sowohl Industriegebieten – z.B. bei Einkaufszentren – als auch Wohngebieten – bei Kleingewerbe – entsprechen kann. Zur eindeutigen Bestimmung dieser Klasse sind zusätzliche Informationen unerlässlich.

Am besten sind die Ergebnisse für die Differenzierung der Grünlandnutzung. Durch den Einsatz multitemporaler Satellitendaten konnte zuverlässig zwischen Wiesen/Weiden, Ackerland und Wald unterschieden werden. Die Trennung von Laub-, Misch- und Nadelwald wurde aufgrund fehlender Referenzdaten nicht durchgeführt, sollte aber methodisch kein Problem darstellen. In diesem Zusammenhang sei auf die Ergebnisse des MISSION Teilprojektes Forst verwiesen. Im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzung wurden zusätzlich die wichtigsten im Untersuchungsraum angebaute Kulturen ausgewiesen. Von den in der Nomenklatur angegebenen Sonderflächen wurden Abbaugelände und natürliche Vegetation ausgewiesen. Vegetationslose Flächen, außerhalb der landwirtschaftlichen Brachflächen, traten im Untersuchungsgebiet nicht auf.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß ein Großteil der vom Anwenderpartnern gestellten Anforderungen erfüllt werden konnte. Besonders im Hinblick auf großräumige Untersuchungen ist die Fernerkundung als geeignetes Instrument zur Erstellung der Bodenbilanz zu bewerten. Kleinräumige Fragestellungen erreichen hingegen bald die Grenze der verfügbaren Auflösung von 5m. Eine weitere Steigerung der Auflösung scheint nicht sinnvoll, da sowohl das Datenvolumen als auch die Kosten einen realistischen Rahmen sprengen würden. Hilfreich wäre allerdings eine feinere Auflösung im multispektralen Bereich, die mit 25m deutlich über den Anforderungen lag. Die entwickelten Methoden zur Image Fusion konnten diesen Nachteil zwar relativieren, aber nicht eliminieren.

#### Literatur

- [1] Köstl M.: Datenfusion in der digitalen Bildverarbeitung: Vergleich von pixel- und merkmalsbasierten Methoden zur Fusion multisensoraler FE-Daten. Diplomarbeit, Aufbau-studium Technischer Umweltschutz, Technische Universität Wien, 1997
- [2] Lee J.S.: A simple speckle smoothing algorithm for synthetic aperture radar images. IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., vol. 13, pp. 85–89, 1983.
- [3] Lopes A., Touzi R. and Nezry E.: Adaptive Speckle Filters and Scene Heterogeneity. IEEE Trans. Geoscience Rem. Sens., vol. 28, no. 6, pp. 992–1000. 1990
- [4] C. Pohl: „Geometric aspects of multisensor image fusion for topographic map updating in the humid tropics“, ITC Publication, Number 39, Enschede, Netherlands, 1996.

- [5] *Smith D.M.*: Speckle reduction and segmentation of Synthetic Aperture Radar images. *Int. J. Remote Sensing*, vol. 17, no. 11, pp. 2043–2057, 1996
- [6] *Stätter C. und Steinnocher K.*: Ein hierarchischer Klassifikationsansatz zur Erfassung von Landnutzung aus multitemporalen Landsat-TM Daten. *Proceedings AGIT VI*, 6.–8. Juli 1994, Salzburg, pp. 683–691, 1994
- [7] *Steinnocher K.*: Application of adaptive filters for multisensoral image fusion. *Proc. IGARSS'97*, 3.–8. August 1997, Singapore, pp. 910–912, 1997.

*Anschrift der Autoren:*

Dr. Klaus Steinnocher, Abteilung Umweltplanung, Forschungszentrum Seibersdorf, 2444 Seibersdorf, email: steinnocher@arcs.ac.at  
 Dr. Günther Knötig, Abteilung Raumordnung, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Annagasse 2, 4010 Linz, email: guenther.knoetig@ooe.gv.at



**Forstliche Anwendungsmöglichkeiten hochauflösender Satellitenbilddaten**

*Gebhard Banko, Hannes Burger und Werner Schneider, Wien*

**Zusammenfassung**

Die neue Generation hochauflösender Satellitenbilddaten eröffnet zusätzliche Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung in der Forstwirtschaft, da erstmalig Bilddaten im Auflösungsbereich von einzelnen Baumkronen verfügbar sind. Das forstliche Teilprojekt des MISSION-Programmes geht von der Überlegung aus, daß sich der aus Fernerkundungsbilddaten zu deckende Informationsbedarf der Forstwirtschaft auf eine relativ kleine Anzahl von „forstlichen Primärdaten“ (wie z. B. Baumart, Wuchsklasse usw.) zurückführen läßt. Ziel des Projektes war es, diese „forstlichen Primärdaten“ aus den hochauflösenden Bilddaten mit neuen Auswertemethoden zu extrahieren und gemeinsam mit forstlichen Praktikern operationelle Anwendungsmethoden zu entwickeln.

**Abstract**

The new generation of high-spatial resolution satellite image data opens up new application opportunities in forestry: for the first time, satellite data are available with a pixel size below the size of a single tree crown. Any forest information to be mapped from remotely sensed images can be traced back to a relatively small number of so-called „primary forest data“ such as tree species, age classes etc. The project concerning forestry applications within the MISSION-programme is based on this „primary data“ concept. There are two main objectives: Firstly, to extract „primary data“ from high-resolution satellite data with new image analysis methods, and secondly to develop methods for operational applications of the primary data together with partners from the Austrian forestry.

**1. Einleitung**

Die Forstwirtschaft ist mit ihrem Bedarf an detaillierten Flächeninformationen über große Gebiete seit jeher ein wichtiges Anwendungsgebiet der Fernerkundung. In den Ländern Europas und insbesondere Mitteleuropas mit kleinräumigen forstlichen Bestandesstrukturen und intensiven Bewirtschaftungsformen wurden bisher jedoch kaum Satellitenbilddaten, sondern fast ausschließlich fotografische Luftbilder für forstliche Kartierungen eingesetzt. Als Nachteile von Satellitenbilddaten galten bisher vor allem die geringe räumliche Auflösung sowie die fehlende Stereoinformation. Die neue Generation an hochauflösenden Satellitenbilddaten verspricht eine grundlegende Änderung dieser Situation. Mit Pixelgrößen von derzeit bis zu 6 m, in naher Zukunft aber bis zu 1 Meter, in mehreren Spektralkanälen sowie mit der Möglichkeit, Stereo-

bildpaare mit hoher räumlicher Auflösung zu gewinnen, wird die Satellitenfernerkundung auf längere Sicht fotografische Luftbilder ablösen.

Vor dem Hintergrund dieser Entwicklung wurde das Teilprojekt MISSION-FORST mit dem Ziel initiiert, die Anwendbarkeit dieser neuen hochauflösenden Satellitenbilddaten für forstliche Zwecke zu untersuchen. Grundlegender Ansatz des Teilprojektes „FORST“ ist dabei das Konzept der „forstlichen Primärdaten“. Der aus Fernerkundungsbilddaten zu deckende Informationsbedarf der Forstwirtschaft läßt sich auf eine relativ kleine Anzahl von „forstlichen Primärdaten“ zurückführen, die für die unterschiedlichsten Anwendungen ähnlich oder identisch sind. Zu diesen forstlichen Primärdaten gehören beispielsweise die Baumart, der Baumartenanteil, das Bestandesalter, der Überschirmungsgrad, der Kronendurchmesser, die Benade-

lungs- und Belaubungsdichte, etc.. Ziel des Projektes war es daher, diese „forstlichen Primärdaten“ aus den hochauflösenden Bilddaten mit neuen Auswertemethoden zu extrahieren und gemeinsam mit forstlichen Praktikern operationelle Anwendungsmethoden zu entwickeln.

Im folgenden sind die Schwerpunkte des Teilprojektes FORST angeführt:

- Erarbeitung des Informationsbedarfs der Forstwirtschaft, der aus Satellitenbilddaten erhoben werden kann („Definition forstlicher Primärdaten“)
- Entwicklung neuer Auswertemethoden, um „forstliche Primärdaten“ aus den hochauflösenden Satellitenbilddaten zu extrahieren.
- Exemplarische Darstellung verschiedener Auswertemethoden, um die Relevanz dieser neuen Methoden für die Praxis zu demonstrieren.
- Propagierung der Verwendung von Satellitenbilddaten in der Österreichischen Forstwirtschaft.

Von großer Bedeutung für die Durchführung des Projektes war die Kooperation mit Partnern aus der forstlichen Praxis. Durch die Einbindung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, und der Firma Umweltdata Ges.m.b.H. konnte im Teilprojekt FORST forstliches Expertenwissen bei der Erarbeitung neuer operationeller Anwendungsmethoden integriert werden.

## 2. Forstlicher Informationsbedarf

Der Informationsbedarf der Forstwirtschaft, der aus Satellitenbilddaten gedeckt werden kann, wurde einerseits in regelmäßigen Treffen mit den im Projekt eingebundenen zukünftigen Anwendern von Satellitenbilddaten und andererseits über eine Umfrage an 230 im forstlichen Bereich tätigen Personen erarbeitet. Potentielle forstliche Einsatzgebiete von Satellitenbilddaten, derzeit für Forstkartierungen eingesetzte Datengrundlagen, bereits operationelle Fernerkundungsmethoden, übliche Kartiermaßstäbe, aber auch die Verwendung des Internets zur Beschaffung von Informationen wurden hinterfragt.

Im folgenden sind die wesentlichen Erkenntnisse aus diesen Arbeiten angeführt:

Karten werden in fast allen forstlichen Bereichen als Planungsgrundlagen eingesetzt. Die dabei hauptsächlich verwendeten Kartenmaßstäbe liegen im Bereich zwischen 1:5.000 und 1:10.000 (traditionelle Maßstäbe für Forstkar-

ten). Nennenswerten Bedarf an Karten mit kleineren Maßstäben (1:50.000) gibt es nur im Bereich der öffentlichen Verwaltung (Regionale Schutzwaldkartierungen, Waldentwicklungsplan, Waldlayer eines Bundeslandes, etc.). Die allgemeine Anforderung an die Lagegenauigkeit von Objekten liegt bei 5 Meter. Die Erkennbarkeit von Objekten soll ab einer Objektgröße von 5–10 Meter gewährleistet sein.

Maßstab	Detailerkennbarkeit	Sensoren	Einsatzbereich
1 : 100.000	30 m - 50 m	Landsat TM SPOT	überregional
1 : 50.000	15 m - 25 m	Landsat TM SPOT IRS-1C MOMS-02	Bundesland
1 : 20.000	6 m - 10 m	IRS-1C MOMS-02 Quick Bird (KFA-100)	Bezirksebene
1 : 10.000 1 : 5.000 und größer	3 m - 5 m 1 m - 2 m	Quick Bird Ikonos 1 (KVR 1000) Luftbild	Forstbetriebe Projektplanung Spezialuntersuchungen

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen Maßstab, Sensor und Projektgebietsgröße

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über Maßstab, Detailerkennbarkeit und Einsatzbereich für Bilddaten der verschiedenen Sensoren.

Ein wesentlicher Aspekt liegt auch in den Zeitabständen der Informationsbeschaffung. Die gängigen Inventurzyklen in der Forstwirtschaft liegen derzeit bei 5–10 Jahren. Nach den Wünschen der Forstwirtschaft sollen sich die Zeitabstände der Informationsbeschaffung auf 1–5 Jahre verkürzen (Abbildung 1).

Auf die Frage, ob Satellitenbilder in den verschiedenen forstlichen Arbeitsgebieten eingesetzt werden können, gibt es aus der Umfrage

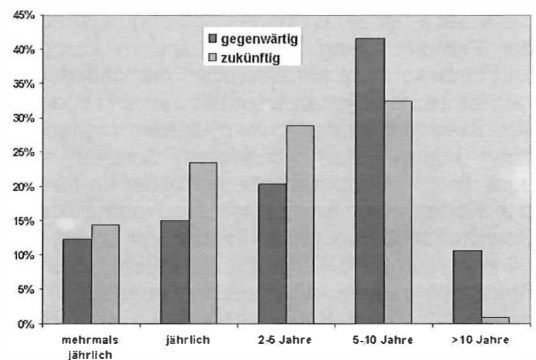


Abbildung 1: Umfrageergebnis: Vergleich der derzeitigen und zukünftigen Zeitabstände der forstlichen Informationsbeschaffung



mehrheitlich positive Einschätzungen, die sich zum Teil jedoch recht beträchtlich unterscheiden (Abbildung 2). So rangiert der Prozentanteil an Antworten, die die Möglichkeiten des Satellitenbildeinsatzes positiv einschätzen, zwischen 95 Prozent bei der forstlichen Raumplanung und 44 Prozent im Bereich der Wildbewirtschaftung. Trotz dieser hohen Zustimmung zur Satellitenfernerkundung werden aber derzeit Satellitenbilddaten nur in Einzelfällen eingesetzt. Es besteht eine beträchtliche Differenz zwischen dem derzeitigen Einsatz (10 Prozent aller Befragten) und dem in Betracht gezogenen zukünftigen Einsatz (43 Prozent aller Befragten). Als wesentliche Gründe, die derzeit noch gegen einen Einsatz von Satellitenbilddaten in der Forstwirtschaft sprechen, werden von mehr als einem Viertel die unzureichende Genauigkeit der Daten und von knapp einem Viertel der Mangel an Information über diese neue Technologie angegeben. Für knapp 20 Prozent der Befragten besteht das Problem der fehlenden Verarbeitungsmöglichkeit. Ebenso viele geben an, mit alternativen Datenquellen das Auslangen zu finden.

Die Auswirkungen der Satellitenfernerkundung auf den forstlichen Arbeitsmarkt können wie folgt zusammengefaßt werden. Mehrheitlich glauben nur Forstwirte von Dienstleistungsunternehmen, daß durch die Satellitenfernerkundung positive Auswirkungen auf den forstlichen Arbeitsmarkt zu erwarten sind. Überraschend hoch ist die negative Einstellung von Forstleuten privater Forstbetriebe (58 Prozent ablehnende Haltung bei 23 Prozent Unentschlossenen). Auch auf die Frage nach dem Rationalisierungseffekt ergibt sich ein ähnliches Bild: ablehnende Haltung in privaten Forstbetrieben (nur 19 Prozent Zustimmung) gegenüber zustimmender Haltung in Dienstleistungsbetrieben (53 Prozent Zustimmung).

Ein signifikant unterschiedliches Antwortverhalten der Personen aus dem öffentlichen Bereich ergibt sich lediglich auf die Frage nach verstärkten Kontrollen bzw. Einschränkung des Handlungsspielraumes durch die Satellitenfernerkundung. Gesamtheitlich gesehen halten sich die zustimmenden (44 Prozent) und die ableh-

nenden (39 Prozent) Antworten die Waage, wobei die ablehnende Haltung mehrheitlich von Personen stammt, die im öffentlichen Bereich tätig sind.

Für den Zugang zu Bildarchiven, den Bilddatentransfer und die Bestellung etabliert sich in steigendem Maße das Internet. Wie die Ergebnisse der Umfrage zeigen, besitzen bereits mehr als die Hälfte der forstlichen Dienstleistungsunternehmen und öffentlichen Institutionen einen Internetanschluß. Lediglich 35 Prozent der privaten Forstbetriebe sind derzeit in der Lage, online Information abzurufen.

### 3. Auswertemethoden

Die optischen Sensoren der neuen Generation liefern Bilddaten mit Pixelgrößen zwischen 1 und 6 Meter. Bei dieser hohen Auflösung stellt die Pixelintensität von Wadaufnahmen nicht mehr eine Mischsignatur von z.B. Baumkronen, Bodenvegetation, Boden und Schatten dar, sondern repräsentiert die reinen Spektralwerte dieser Elemente. Viele bisher vernachlässigbare Details (dunkler Fleck auf einer Straße, Kamine auf Häusern, etc.) bilden eigene spektrale Klassen und müssen bei der Auswertung berücksichtigt werden. Bezogen auf Forstbestände gibt Tabelle 2 einen Überblick, wie sich das Verhältnis Kronengröße zu Pixelgröße in Abhängigkeit vom Alter für die verschiedenen Sensoren verändert.

Bei Landsat-TM entfallen auf ein Bildelement annähernd 60 Baumkronen eines 80-jährigen Buchenbestandes. Im Vergleich dazu werden in einem Bildelement des Sensors MOMS-02 (6 x 6 m<sup>2</sup> Bodenaufklärung) im Durchschnitt nur mehr 2,5 Baumkronen erfaßt. Dieses Verhältnis kehrt sich bei einer Auflösung von 3 x 3 m<sup>2</sup> um, so daß eine Baumkrone bereits von mehr als nur einem Bildelement charakterisiert werden kann. Beim Sensor Ikonos mit 0,8 x 0,8 m<sup>2</sup> fallen auf eine Baumkrone eines 80-jährigen Buchenbestandes bereits 25 Pixel, die zur Beschreibung der Eigenschaften dieser Baumkrone herangezogen werden können.

	Alter	Bäume / ha lt. Ertragstafel	Landsat TM 30 x 30 m <sup>2</sup>	MOMS-2 6 x 6 m <sup>2</sup>	Earlybird 3 x 3 m <sup>2</sup>	Ikonos 0,8 x 0,8 m <sup>2</sup>
Buche	40	2757	248	10	2,5	0,18
	80	693	62	2,5	0,6	0,04

Tabelle 2: Anzahl der Bäume pro Pixel für 40- und 80-jährige Buchenbestände (Ertragstafel nach Marschall, 1975); (erweitert nach [1])

Ausgehend von dieser Überlegung und von der Tatsache, daß die Forstwirtschaft trotz des hohen Detailreichtums in Satellitenbildern Karten mit klar abgegrenzten Waldbeständen (mit homogenen Eigenschaften) benötigt, wurde am IVFL eine neue Satellitenbildauswertestrategie verfolgt und erprobt. Die regionenbasierte Bildauswertung mittels Bildsegmentierung ermöglicht die Bildung von eindeutig abgegrenzten Bildregionen (die den Forstbeständen entsprechen), deren gesamter spektraler Informationsgehalt zur Beschreibung der Eigenschaften (Bestandesparameter, Primärdaten) dieser Regionen herangezogen wird. Im Teilbereich der Erarbeitung von Satellitenbildauswerteverfahren wurden daher mehrere parallele Aktivitäten eingeleitet:

- Bildsegmentierung mit „region growing“
- Analyse von simulierten Satellitenbildern mit unterschiedlicher räumlicher Auflösung
- Topographische Beleuchtungskorrektur

#### Bildsegmentierung:

Unter Segmentierung versteht man die Aufteilung des Bildes in eindeutig abgegrenzte Regionen, deren Pixel aufgrund eines Homogenitätskriteriums gruppiert werden. Es wurde ein als „region growing“ bezeichnetes Segmentierungsverfahren verwendet und für die vorliegende Aufgabenstellung adaptiert. Der Region-Growing Algorithmus [2] funktioniert nach dem Prinzip, daß ein Pixel an eine Region nur dann angehängt wird, wenn der Unterschied in der Intensität entweder zum vorangegangenen Pixel (single linkage) oder zu dem Mittelwert der Intensitäten der bereits gebildeten Region (centroid linkage) einen bestimmten Schwellenwert in den einzelnen Kanälen nicht übersteigt. In den einzelnen Kanälen können unterschiedliche Homogenitätskriterien verwendet werden.

Für die gebildeten Regionen werden anschließend Attribute berechnet. Dazu gehören spektrale Attribute wie die spektralen Mittelwerte der Region, die Standardabweichungen und die Werte der Schiefe und der Gipfeligkeit (Kurtosis) der Verteilung für alle Kanäle. Es können aber auch Texturparameter wie z. B. die Haralick'schen Parameter [3] und Formparameter wie Fläche, Umfang, Längserstreckung, Fraktalität der Region berechnet und dieser als Attribut zugeordnet werden.

Gegenüber konventionellen pixelweisen Auswertemethoden können bei einer auf Regionen basierten Bildanalyse Nachbarschaftsbeziehungen zwischen Bildelementen sowohl bei der Bil-

dung der Regionen als auch bei der anschließenden Klassifizierung berücksichtigt werden [4].

Ein weiterer wichtiger Schritt ist die Bereinigung von kleinen Regionen. Regionen, deren Pixelanzahl eine Mindestzahl an Pixeln unterschreitet bzw. die einer bestimmten definierten Pixelanordnung nicht entsprechen, werden einer Nachbarregion kontrolliert angefügt. Dies hat den Vorteil, daß insbesondere bei der Kartierung von Wald Mindestflächengrößen und Mindestflächenbreiten berücksichtigt werden können. Weiters werden unkontrollierte Glättungsalgorithmen wie z. B. ein Medianfilter vermieden. In Abbildung 3 ist ein Ausschnitt aus einer segmentierten, bereits von Kleinregionen bereinigte Satellitenzene dargestellt.

#### Analyse von simulierten Satellitenbildern mit unterschiedlicher räumlicher Auflösung:

Um den Einfluß der Pixelgröße auf die Klassifizierbarkeit und Trennbarkeit von Waldbeständen abschätzen zu können, wurden Bilder unterschiedlicher Auflösung (zwischen 0,25 m und 32 m) aus einem gescannten IR-Luftbild erzeugt. Vier Fichtenwaldflächen (Jungwuchs, Dichtung, Stangenholz und Baumholz) sowie eine Kahlschlagfläche wurden abgegrenzt und analysiert. Durch die unterschiedliche Anzahl an Mischpixeln und an spektral reinen Pixeln ergibt sich eine Änderung des Informationsgehaltes in der jeweiligen Auflösungsstufe.

Unabhängig von der Auflösungsstufe sind mit Ausnahme der Klassen Dichtung und Stangenholz die einzelne Bestände aufgrund des Mittelwertes bereits trennbar. Die Berechnung der Standardabweichung innerhalb der Region (Bestand) ermöglicht aber auch eine Trennung der zwei restlichen Klassen (Abbildung 4). Die stärkste Abnahme der Standardabweichung weisen die einzelnen Bestände in jenem Auflösungsbe-

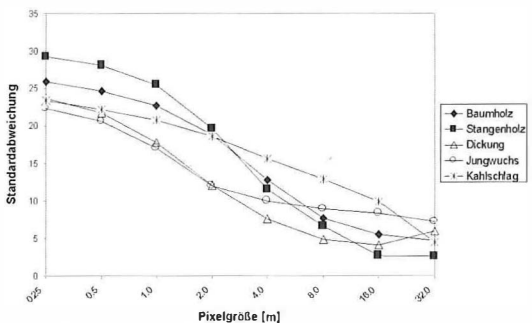


Abbildung 4: Standardabweichung der Pixelwerte von jeweils einer Region unterschiedlicher Fichtenaltersklassen im nahen Infrarot in Abhängigkeit von der räumlichen Auflösung (Pixelgröße)

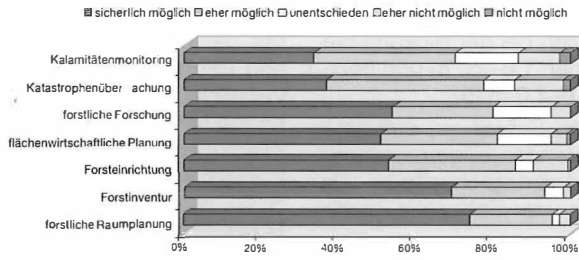


Abbildung 2: Umfrageergebnis: Einschätzung der Einsatzmöglichkeiten von Fernerkundungsinformation für verschiedene forstliche Anwendungen



Abbildung 3: Ergebnis einer Segmentierung eines Landsat TM Bildes hinterlegt mit dem Ausgangsbild (Farbkomposite 4-3-2)



Abbildung 5: Waldlayer des Testgebietes Hölleengebirge, erzeugt durch segmentweise Auswertung von Landsat-TM-Daten

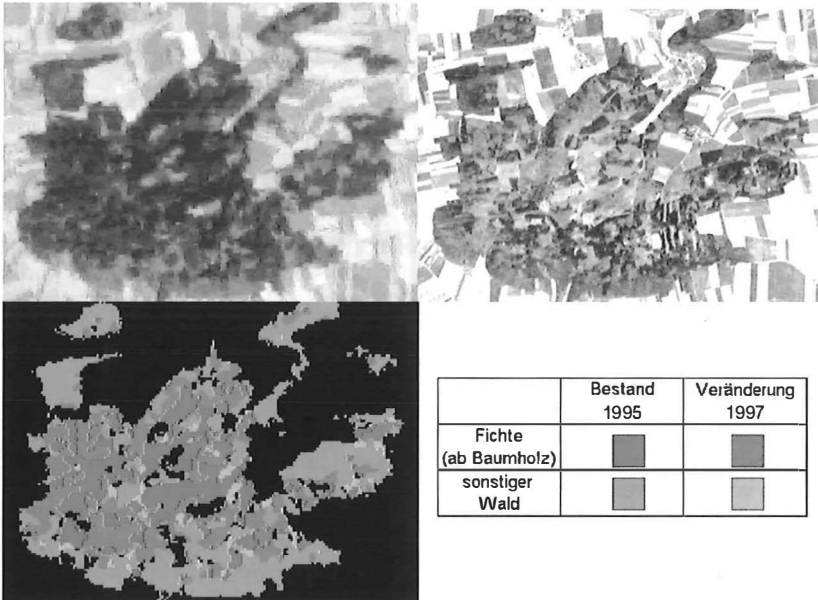


Abbildung 6: a.) Landsat-TM Bild aus dem Jahr 1995 (links oben), b.) IRS-1C panchromatisches Bild aus dem Jahr 1997 (rechts oben), c.) Waldflächenveränderung (insbesondere der Fichte) zwischen 1995 und 1997 (links unten)

reich auf, der dem mittleren Kronendurchmesser entspricht. Somit ergibt sich bei der Dickung die stärkste Abnahme zwischen 1,0–2,0 m und beim Stangenholz zwischen 2,0–4,0 m [5].

Dies läßt wiederum den Schluß zu, daß eine auf Bildregionen basierende Bildauswertung bessere Unterscheidungsmöglichkeiten für Waldbestände liefert als konventionelle pixelweise Methoden.

#### Topographische Beleuchtungskorrektur:

Da es in gebirgigen Regionen aufgrund unterschiedlicher Hangneigungen und Hangexpositionen zu geländebedingten Beleuchtungsunterschieden kommt, erschwert dieser Effekt die automatische Auswertung von Satellitenbilddaten. Beispielsweise können Baumhölzer auf einem Südhang die gleiche spektrale Signatur wie Stangenhölzer auf einem Nordhang aufweisen. Durch die Korrektur der geländebedingten Beleuchtungsunterschiede (topographische Korrektur) können die spektralen Signaturen auf Fernerkundungsbilddaten vereinheitlicht werden. Die Genauigkeit einer automatischen Bildauswertung kann damit deutlich verbessert werden.

Die Korrektur wurde nach dem Minneart-Korrekturmodell durchgeführt, wobei die Korrekturfaktoren für Waldbestände optimiert wurden [6].

#### **4. Anwendungsmethoden:**

Die Daten der neuen hochauflösenden Satellitensensoren ermöglichen sowohl detailliertere geometrische Kartierungen als auch differenziertere thematische Ausscheidungen. Anhand von zwei ausgewählten Anwendungsbeispielen aus dem Projekt MISSION-Forst wird die Verwendbarkeit dieser neuer Satellitenbilddaten im folgenden demonstriert:

#### Waldflächenkartierung:

Die Feststellung der Waldfläche über große Gebiete ist für viele Anwendungsgebiete der Forstwirtschaft von großem Interesse. Die Waldfläche Österreichs wird von drei verschiedenen Institutionen angegeben: von der Forstlichen Bundesversuchsanstalt (Österreichische Waldinventur), vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (Ermittlung aus Katasterwidmung und ÖK 50) sowie vom Österreichischen Statistischen Zentralamt (Land- und Forstwirtschaftliche Betriebszählung). Aufgrund unterschiedlicher Erhebungsmethoden und Waldflächendefinitionen unterscheiden sich diese Angaben jedoch beträchtlich. Im Projekt MISSION-Forst wurde deshalb eine Methode der Waldflächen-

feststellung aus Satellitenbilddaten entwickelt, mit der unterschiedlichen Waldflächendefinitionen Rechnung getragen werden kann, und die vor allem eine aktuelle Darstellung in Kartenform ermöglicht [2]. Der in Abbildung 5 dargestellte Waldlayer wurde mittels regionenbasierter Satellitenbilddaten aus einer Landsat-TM Szene erarbeitet. In der Auswertung wurde eine Mindestbreite von 30 m und eine Mindestflächengröße von 0,5 ha berücksichtigt. Darüber hinaus liegt der Vorteil einer auf Satellitenbilddaten gestützten Waldflächenfeststellung in der Aktualität und Homogenität der Resultate für sehr große Gebiete.

#### Waldflächenmonitoring:

Veränderungen der Waldfläche können sowohl Ergebnis langfristig wirksamer Prozesse als auch Ergebnis rasch eintretender Störungen sein. Für das Monitoring langfristiger Prozesse, wie z. B. Schadstoffbeeinträchtigungen kann auf eine Reihe von Satellitenbildarchiven zurückgegriffen werden. Ab dem Jahr 1972 gibt es durch die Landsat-MSS Daten eine kontinuierliche Abdeckung der Landoberfläche, jedoch kann stellenweise auf noch ältere Daten, wie die des amerikanischen Spionagesatelliten Corona (Auflösung ca. 3 x 3 m<sup>2</sup>), zurückgegriffen [7]. Für das Monitoring rasch wirksamer Änderungen, wie Windwürfe oder Käferkalamitäten, ist infolge der Vielzahl an bereits vorhandenen Satellitenbilddatensystemen zumeist eine aktuelle Szene verfügbar. Aus Satellitenbilddaten können zwar nicht die Ursachen für die Waldflächenveränderung abgeleitet werden, wohl aber das Ausmaß und die Verteilung dieser Veränderungen. Am Beispiel von Fichtenreinbeständen im Alpenvorland konnte der kombinierte Einsatz verschiedener Satellitenbilddaten für das Waldflächenmonitoring demonstriert werden (Abbildung 6). Diese Fichtenreinbestände im Alpenvorland entsprechen nicht der natürlichen Waldgesellschaft und weisen eine hohe Schaddisposition gegenüber Windwurf, Schneebruch und Borkenkäferkalamitäten auf. Aus der Landsat-TM Szene aus dem Jahr 1995 ergab sich, daß mehr als die Hälfte der gesamten Waldfläche aus älteren Fichtenreinbeständen gebildet wird. In der IRS-1C-Szene aus dem Jahr 1997 zeigte sich eine Abnahme der Fichtenreinbestandsflächen in diesem Gebiet um 47 Prozent. Da solche großflächigen Änderungen nicht durch normale forstliche Nutzungen erklärt werden können, muß vielmehr angenommen werden, daß es sich dabei um Veränderungen aufgrund von abiotischen und/oder biotischen Schadereignissen handelt.

## 5. Zusammenfassung

Die exemplarisch angeführten Anwendungsbeispiele demonstrieren deutlich, daß durch die Auswertung hochauflösender Satellitenbilddaten ein wesentlicher Teil des forstlichen Informationsbedürfnisses in Österreich abgedeckt werden kann. Im Bereich der Methodenentwicklung besteht aber noch großer Forschungsbedarf, da langfristig gesehen die derzeitigen auf statistischen Ansätzen basierenden Auswertemethoden durch wissenschaftliche Methoden ersetzt werden müssen. Die bestehende Kooperation mit der forstlichen Öffentlichkeit wird weiter ausgebaut, um auch in Zukunft die forstlichen Informationsbedürfnisse in der Wahl der Forschungsschwerpunkte zu berücksichtigen.

## 6. Beteiligungen

Das Projekt MISSION-FORST wurde von Seiten des Landwirtschaftsministeriums von Dipl.-Ing. Vladimir Carnba, von Seiten der forstlichen Bundesversuchsanstalt von Dipl.-Ing. Manfred Gärtner und von Seiten der Fa. Umweltdata von Dipl.-Ing. Michael Sutter betreut.

## Literatur

- [1] Banko, G. (1997a). Forstliche Anwendungsmöglichkeiten von Landsat-TM-Daten in Österreich; Dipl.-Arb., Wien, Univ. für Bodenkultur.
- [2] Burger, H. und Steinwendner, J. (1996). Study of forest mask generation from satellite imagery using image segmentation algorithms. In: Proceedings of the FIRS Workshop, Vienna, Oktober 1996, S. 465-476.
- [3] Haralick, R. M. und Shapiro, L. G. (1992). Computer and Robot Vision; Band I+II; Addison-Wesley; Reading, Massachusetts
- [4] Burger, H.; Banko, G. und Steinwendner, J.; (1997). Landnutzungserhebung in einem Wildbacheinzugsgebiet aus Satellitenbilddaten; In: Risikofaktoren in Wildbach- und Laweneinzugsgebieten, Symposium, September 1997, BZG Univ. f. Bodenkultur, Wien.
- [5] Burger, H.; Kroiher, F.; Steinwendner, J.; Schneider, W.; (1997). Analysis of simulated satellite imagery with different ground pixel sizes for forestry applications; In: Proceedings of DIP-97, SPIE-International Society for Optical Engineering, Vienna, in Druck.
- [6] Banko, G. (1997). Waldoptimierte Korrektur von geländebedingten Beleuchtungsunterschieden in Landsat-TM-Daten. In: Angewandte Geographische Informationsverarbeitung IX, Dollinger u. Strobl (Hrsg.), Salzburger geographische Materialien, Salzburg, Heft 26, S. 1-10.
- [7] Kaufmann, V. und Sulzer, W. (1997): Über die Nutzungsmöglichkeit hochauflösender amerikanischer Spionage-Satellitenbilder (1960-1972), VGI 3/97, S. 166-174.

### Anschrift der Autoren:

Dipl.-Ing. Gebhard Banko, Dipl.-Ing. Hannes Burger und Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Werner Schneider: Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation, Universität für Bodenkultur, Peter-Jordan-Straße 82, A-1190 Wien

## Modellierung des Abflusses aus hochalpinen Einzugsgebieten unter Verwendung von Satellitendaten



Helmut Rott, Nikolaus Batlogg und Thomas Nagler, Innsbruck, Otto Pirker, Wien

### Zusammenfassung

Verfahren für den Einsatz satellitengetragener Erdbeobachtung zur Modellierung und Vorhersage des Abflusses in hochalpinen Einzugsgebieten wurden entwickelt und im Einzugsgebiet Schlegeis (Zillertal) während zwei Abflußperioden erprobt. Wesentliche hydrologische Eingangsgrößen von Seite der Fernerkundung sind digitale Schneekarten, die aus Aufnahmen abbildender Radarsysteme (SAR) und optischer Sensoren abgeleitet werden. Testläufe zur Kurzfristprognose täglicher Abflüsse zeigen für die Periode der Schneeschmelze gute Ergebnisse, da sich die wesentlichen Eingangsdaten für das hydrologische Modell, Schneeflächen aus Satellitendaten und Lufttemperatur aus numerischen meteorologischen Vorhersagen, gut abschätzen lassen.

### Abstract

Methods for the application of satellite data for modelling and forecasting the runoff in alpine drainage basins were investigated and tested in the drainage basin Schlegeis, Zillertal, in the Austrian Alps during two runoff seasons. Digital snow maps, derived from synthetic aperture radar and optical sensors, are the basic hydrological input data for the runoff calculations. Model runs show good results for runoff simulations during spring and summer. The quality of the short-term forecasts of daily runoff is good during the snowmelt period, because the main model input data, snow distribution from satellite data and air temperature from numerical meteorological forecasts, are accurate.

## 1. Aufgabenstellung

Das Projekt Alpine Hydrologie, das als Teilprojekt im Rahmen der Forschungsinitiative MISSION des Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr durchgeführt wurde, befaßte sich mit der Entwicklung und Erprobung von Methoden zur Abflußvorhersage in hochalpinen Einzugsgebieten, in denen Schnee- und Gletscherschmelze einen wesentlichen Beitrag zum Abfluß liefern [1]. Satellitendaten hochauflösender optischer Sensoren (Landsat TM und SPOT HRV) und des abbildenden Radars (SAR) des europäischen Fernerkundungssatelliten ERS wurden zur Überwachung der Schneebedeckung verwendet. Optische Daten wurden auch zur Kartierung der wichtigsten Bodenbedeckungsarten genutzt, um unterschiedliche hydrologische Einheiten abzugrenzen. Auf Seite der Fernerkundung lag der Schwerpunkt der Arbeiten auf der Weiterentwicklung von Methoden zur automatischen Kartierung von Schneeflächen mittels SAR, wobei die Anwendbarkeit für den operationellen Einsatz im Vordergrund stand. Auf Seite der Hydrologie umfaßten die Arbeiten die Eichung der Modellparameter, Untersuchungen zur Ableitung des Gebietsniederschlag, und die Entwicklung eines Verfahrens zur zeitlichen Interpolation der Schneeflächen. Die Methodik wurde anhand von Modellrechnungen täglicher Abflüsse während zwei Abflußperioden überprüft.

## 2. Das Testgebiet

Als Testgebiet wurde das Einzugsgebiet des Jahresspeichers Schlegeis im Zillertal gewählt, das eine Fläche vom 122 km<sup>2</sup> umfaßt und sich über einen Höhenbereich von 1780 m bis 3509 m erstreckt. Die steile Topographie des Gebiets, mit Hangneigungen größer als 20 Grad auf 70 % der Fläche, stellt große Anforderungen an die Geokodierung der Satellitendaten und an die Korrektur topographisch bedingter radiometrischer Effekte. Der Gletscheranteil beträgt 21 % der Gesamtfläche. Gletscher und andere Oberflächentypen wurden aus multitemporalen Landsat Thematic Mapper (TM) Daten abgeleitet, wobei überwachte Klassifizierung basierend auf der topographisch korrigierten planetaren Albedo angewandt wurde.

Das Einzugsgebiet Schlegeis setzt sich aus 10 Teileinzugsgebieten zusammen, die Flächen zwischen 1.8 km<sup>2</sup> (S04) bis 33.6 km<sup>2</sup> (S00) einnehmen (Abb. 1). Die Auswertungen und hydrologischen Modellrechnungen wurden sowohl für

das Gesamteinzugsgebiet, als auch getrennt für die Teilgebiete durchgeführt [1]. Aus Platzgründen werden in diesem Artikel nur Beispiele für das Gesamtgebiet gezeigt.

## 3. Methodik der Schneekartierung aus Satellitendaten

Digitale Schneekarten aus Satellitendaten stellen die wesentliche Grundlage für die Berechnung der Schmelzwasserabflüsse mit Hilfe des Abflußmodells SRM dar [1, 2]. Diesen Karten, die mit einem digitalen Höhenmodell verknüpft sind, kann man die Schneebedeckung für beliebige Teilgebiete, Höhenstufen, hydrologische Einheiten usw. entnehmen. Neben der Ausdehnung der Schneedecke ist die räumliche Verteilung des Wasseräquivalents für hydrologische Anwendungen von Bedeutung. Dieser Parameter kann von Satelliten aus mit Mikrowellenradiometern gemessen werden. Die geringe räumliche Auflösung der zur Zeit verfügbaren Sensoren, die in der Größenordnung von 10 km oder darunter liegt, schließt jedoch die Anwendung im Gebirge aus [3].

Bei der Geokodierung der Satellitendaten wurde die topographisch bedingte Verzerrung unter Verwendung eines digitalen Höhenmodells korrigiert, das von Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen zur Verfügung gestellt wurde. Aus den optischen Satellitendaten wurde das Reflexionsvermögen an der Obergrenze der Atmosphäre (die planetare Albedo) berechnet. Bei Landsat TM ermöglicht die Ratio der planetaren Albedo von Kanal 3 (0.63 – 0.69 µm) zu Kanal 5 (1.55 – 1.75 µm) eine gute Unterscheidung schneebedeckter und schneefreier Flächen, da das Reflexionsvermögen von Schnee im Gegensatz zu anderen Objekten von Kanal 3 zu Kanal 5 stark abnimmt. Mittels der Ratio-Bildung werden topographische Einflüsse weitgehend eliminiert. Da SPOT 3 keinen Kanal bei 1.5 µm aufweist, wurde die Schneedecke über einen Schwellwert der planetaren Albedo im SPOT Kanal 2 (0.61 – 0.68 µm) klassifiziert, wobei für die radiometrische Korrektur topographischer Einflüsse die Cosinus Korrektur angewandt wurde (Abb. 1).

Auf Grund der Abbildungsgeometrie sind bei SAR topographische Einflüsse noch störender als bei optischen Sensoren. Auf steilen Hängen, die in Richtung zur Radarantenne geneigt sind, kommt es zu Bildverkürzung und Bildüberlagerung (Layover); diese Bereiche eines SAR Bildes können für die Klassifizierung nicht genutzt werden. Im Einzugsgebiet Schlegeis liegen 43.0 % der Fläche bei Aufnahmen aus absteigender

Umlaufbahn und 45.6 % der Fläche bei aufsteigender Umlaufbahn in Layover-Bereichen. Durch Kombination der Aufnahmen aus den beiden Umlaufbahnen wird das Layover auf 8.3 % der Fläche reduziert. Abb. 2 zeigt den Ausschnitt eines ERS SAR Bildes der absteigenden Umlaufbahn. Die nach Südosten geneigten Hänge sind vollständig von Layover betroffen; auf Grund der Steilheit werden diese Hänge sogar zum Teil auf die unteren Bereiche der gegenüberliegenden Talseite projiziert.

Das Verfahren zur Klassifizierung der Schneebedeckung mit SAR beruht auf der starken Reduktion des rückgestreuten Signals bei nasser Schneedecke [3, 4]. Im Frequenzbereich von ERS SAR (5.3 GHz) kann man trockenen Schnee nicht erkennen, da er weitgehend transparent ist. Die wesentlichen Bearbeitungsschritte zur Kartierung schmelzenden Schnees sind:

- Radiometrische Eichung der SAR Bilder unter Verwendung der Daten in den Header-Files.
- Koregistrierung des zu klassifizierenden Bildes mit einem schneefreien Referenzbild.
- Tiefpaßfilterung zur Reduktion des multiplikativen Rauschens (Speckle).
- Berechnung der Ratio von Schnee-Bild zu Referenzbild.
- Geokodierung mit Geländekorrektur und Berechnung einer Karte der lokalen Einfallswinkel  $\theta$ .
- Kombination der Ratio-Bilder von absteigender und aufsteigender Umlaufbahn, wobei Pixel mit  $\theta < 17^\circ$  und  $\theta > 78^\circ$  ausgeschlossen werden.
- Erzeugung der Karte schmelzender Schneeflächen mit Hilfe eines Schwellwerts der Ratio von -3 dB. Dieser Wert wurde im Rahmen von Verifikationskampagnen festgelegt [4].

Mit ERS SAR kann man nur nasse Schneedecke erkennen. Für die Berechnung von Schmelzwasserabfluß ist dies ausreichend, da sich die Schneefläche im wesentlichen in den Randbereichen ändert, in denen die Schneedecke feucht ist [5]. Schnee, der nur oberflächlich gefroren ist, aber eine Schicht mit feuchtem Schnee enthält, wird als schmelzender Schnee klassifiziert [4]. In Hinblick auf den operationellen Einsatz wurde eine Programmsequenz entwickelt, die eine automatische Bearbeitung der obigen Verarbeitungsschritte erlaubt und insbesondere für die Erzeugung von Zeitreihen der Schneebedeckung eine rasche Bearbeitung ermöglicht. Abb. 3 zeigt eine Farbkomposit aus zwei Schneekarten, die aus SAR Bildern vom 12. Mai 1997 und 16. Juni 1997 abgeleitet wur-

den. Die Schneekarte jedes Termins wurde aus Bilddaten aufsteigender und absteigender Umlaufbahn erstellt. Im unteren Bereich von Abb. 3 erscheint ein relativ großer Layover-Anteil, da das Bild der aufsteigenden Umlaufbahn etwa an der Grenze des Einzugsgebiets abschneidet.

Vergleiche mit Schneekarten aus optischen Bilddaten und mit photographischen Aufnahmen weisen darauf hin, daß die SAR Analysen die Schneebedeckung in den Randzonen etwas unterschätzen. Grund dafür ist die Dominanz des Rückstreuverhaltens schneefreier Flächen bei durchbrochener Schneedecke [4].

#### 4. Grundlage der hydrologischen Modellierung

Für die Abflußberechnungen wurde das Snowmelt Runoff Modell (SRM) verwendet, das speziell für die Berechnung von Schneeschmelzabflüssen unter dem Gesichtspunkt der Nutzung von Fernerkundungsdaten entwickelt wurde [2]. In diesem Modell wird das Einzugsgebiet in verschiedene Höhenzonen unterteilt, außerdem kann man auch eine Unterteilung nach anderen Gesichtspunkten durchführen, wie z.B. vergletscherte und unvergletscherte Flächen. Der Abfluß von den einzelnen Zonen wird zusammenfassend berechnet, als Zeitschritt für die Berechnungen wird üblicherweise ein Tag gewählt. Der Schmelzwasserbeitrag aus jeder Zone ( $i = 1, Z$ ) wird über die mittlere tägliche Lufttemperatur  $T$  berechnet. Der Niederschlag  $P$  in Form von Regen wird direkt dem Abfluß zugeführt,  $P$  in Form von Schnee wird gespeichert. Die grundlegende Gleichung von SRM ist:

$$Q_{n+1} = Q_n k_{n+1} + (1 - k_{n+1}) \sum_{i=1}^Z (c_{s,i} \alpha_n T_n S_n + c_{r,i} P_n) \quad (1)$$

$n$  ist die Zahl des jeweiligen Tages in der Zeitserie,  $i$  ist der Index für die Höhenzone,  $Q$  ist der Abfluß aus dem Einzugsgebiet und  $S$  ist die aktuelle Schneefläche in der jeweiligen Zone.  $k$ , der Rezessionskoeffizient, beschreibt die Abnahme des Abflusses und entspricht dem Verhältnis des Abflusses von zwei aufeinanderfolgenden Tagen ohne Schneeschmelze oder Niederschlag.  $k$  wird aus historischen Zeitreihen des Abflusses bestimmt und variiert mit der Abflußmenge  $Q$ .  $c_s$  und  $c_r$  sind Korrekturfaktoren für die Abflußbeiträge von Schneeschmelze bzw. Niederschlag, die Verlustfaktoren wie z.B. Verdunstung implizit berücksichtigen [2]. Für jede Höhenzone wird die Temperatur  $T_i$  mit Hilfe eines Höhengradienten, ausgehend vom Niveau der vorhandenen Meßstelle, berechnet. Der un-

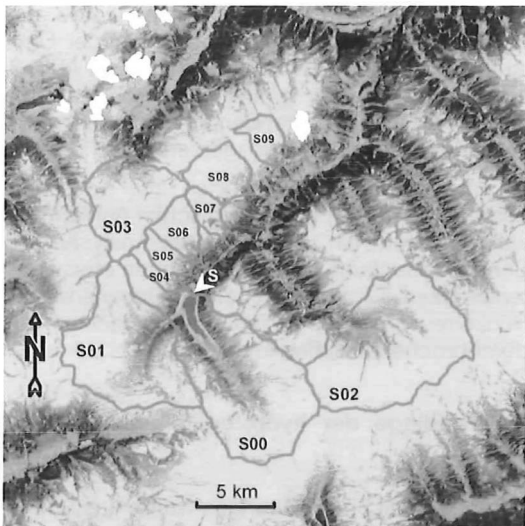


Abb. 1: SPOT Bild vom 7.6.1997 mit Karte der Schneebedeckung (blau) und Teileinzugsgebieten des Speichers Schlegeis. S – Staumauer.

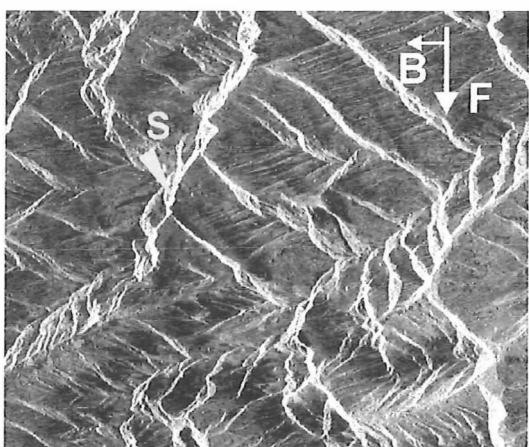


Abb. 2: ERS SAR Bild vom 21. 7. 1997, von absteigender Umlaufbahn aus aufgenommen. F – Flugrichtung, B – Blickrichtung des SAR.

vergletscherte Teil des Einzugsgebiets Schlegeis wurde in fünf Höhenzonen unterteilt, der vergletscherte Teil in drei Höhenzonen.

Der Gradtagfaktor  $\alpha$  stellt einen empirisch bestimmten Umrechnungsfaktor dar, mit dessen Hilfe aus der Lufttemperatur der Schmelzwasserbeitrag in mm pro Tag abgeschätzt wird [6]. Auf Grund zunehmender Verschmutzung der Schneeoberfläche und Verdichtung der Schneedecke nimmt  $\alpha$  im Laufe der Schmelzperiode zu. Für das Gesamteinzugsgebiet Schlegeis änderten sich die Werte von  $\alpha = 3$  [mm/°C Tag] im April bis 4.5 [mm/°C Tag] ab Juni bzw. Juli (je

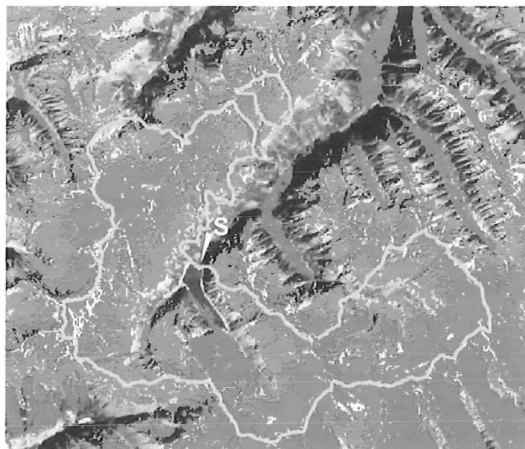


Abb. 3: Schneekarte aus ERS SAR Aufnahmen vom 12. Mai 1997 (rot) und 16. Juni 1997 (grün) mit Grenzen des Einzugsgebiets Schlegeis. Blau: Restzonen mit Bildüberlagerung.

nach Höhenstufe). Über den Gletscherflächen lagen der Werte von  $\alpha$  im Sommer je nach Eisanteil etwas höher [5].

Als Referenz für die Lufttemperatur wurden die Messungen an der Station Schlegeis herangezogen, die in 1800 m Meereshöhe in Nähe der Staumauer liegt. Die Temperaturen für die einzelnen Zonen wurden im Mittel mit einem vertikalen Temperaturgradienten von  $-0.65^{\circ}\text{C}/100$  m berechnet. Für die Berechnung des Gebietsniederschlags wurde ebenfalls die Station Schlegeis verwendet, sowie 6 Stationen in der Umgebung des Einzugsgebiets. Auf Grund der räumlichen Wichtung mit dem Quadrat der Entfernung ist jedoch die Station Schlegeis für den Gebietsniederschlag dominierend. Ein wesentlicher Faktor ist weiters die Höhenabhängigkeit des Niederschlags. Die Analyse von Zeitreihen von Niederschlagsmessungen an synoptischen Stationen und Totalisatoren in den österreichischen Zentralalpen zeigten starke Unterschiede der Höhengradienten des Niederschlags für konvektive oder advektive Ereignisse. Bei der Abflußmodellierung wurden diese Unterschiede berücksichtigt.

Für die Berechnung der Schmelzwasserabflüsse nach Gleichung [1] wird die Schneefläche an jedem einzelnen Tag benötigt. Da im Schnitt nur etwa zwei Schneekarten pro Monat vorlagen, war es notwendig, die zeitliche Änderung der Schneefläche zwischen diesen Terminen abzuschätzen. Dafür wurden Faktoren der Flächenänderung  $f_s$  für die einzelnen Höhenstufen berechnet, die sich aus dem Verhältnis von Flächenänderung zur Gradtagssumme zwischen zwei Termi-



nen ergeben. Für jeden Tag kann man mit  $f_s$  aus der jeweiligen Gradtagssumme die Änderung der Schneefläche seit der letzten Satellitenaufnahme berechnen. Dies ermöglicht eine realistische Abschätzung der Flächenänderungen, da die Schneefläche während der kalten Perioden konstant gehalten wird, der Rückgang an warmen Tagen hingegen entsprechend groß angesetzt wird. Dieses Verfahren kann auch für die Prognose von Schmelzwasserabflüssen verwendet werden, indem man von der Schneefläche einer Satellitenaufnahme ausgeht und mittels  $f_s$  die täglichen Flächenänderungen bis zum Termin der nächsten Satellitenaufnahme berechnet.

### 5. Ergebnisse der Abflußberechnungen

Modellrechnungen täglicher Abflüsse wurden für die Perioden 1. Mai bis 30. Juni 1996 und 1. April bis 15. September 1997 im Simulationsmodus, für die Periode 1. April bis 15. September 1997 im Prognosemodus durchgeführt. Beim Simulationsmodus wurde der Abflußwert des letzten Tages vor Beginn der Untersuchungsperiode eingegeben, die Tageswerte des Abflusses wurden nach dem oben erläuterten Verfahren aus meteorologischen Meßwerten und Schneekarten berechnet.

Abb. 4 zeigt die Ergebnisse der Abflußmodellierung für Frühjahr und Sommer 1997 im Vergleich zum gemessenen Abfluß. Von Anfang Mai bis Mitte Juni war Schneeschmelze für den Abfluß dominierend, den zeitlichen Verlauf be-

stimmten Schneebedeckung und Temperaturverhalten. Ab Mitte Juni führten starke Niederschläge kurzfristig zu Abflußspitzen, Gletscherabfluß lieferte ab Anfang August einen wichtigen Beitrag. Zwischen Ende Mai und Ende Juli traten außerdem wiederholt Neuschneefälle auf, die eine starke Modulation des Schmelzwasserabflusses bedingten. Trotz dieser komplexen Verhältnisse ist die Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Abflüssen gut, die Differenz im Gesamtvolumen von gemessenem und berechnetem Abfluß beträgt nur 3 %, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  zwischen berechneten und gemessenen täglichen Abflußwerten [2] beträgt 0.87 (Tab. 1). Größere Abweichungen ergeben sich für einzelne niederschlagsbedingte Abflußspitzen, was auf Fehler im berechneten Gebietsniederschlag zurückzuführen ist.

	$R^2$	$\Delta V$ (%)
Simulationsmodus		
1.5.-30.6.1996	0.85	6
1.4.-15.9.1997	0.87	3
Vorhersagemodus		
1.4.-15.9.1997 +24h	0.83	14
1.4.-15.9.1997 +72h	0.66	21
1.5.-15.6.1997 +24h	0.91	11
1.5.-15.6.1997 +72h	0.88	13

Tab. 1: Vergleich gemessener und berechneter Abflüsse für das Einzugsgebiet Schlegeis;  $R^2$  – Bestimmtheitsmaß,  $\Delta V$  – Volumsdifferenz.

Die Berechnungen im Prognosemodus wurden zwar nicht in Echtzeit durchgeführt, es wurde jedoch nur diejenige Information verwendet, die auch bei Echtzeitprognosen zur Verfügung stünde. Temperatur und Niederschlag wur-

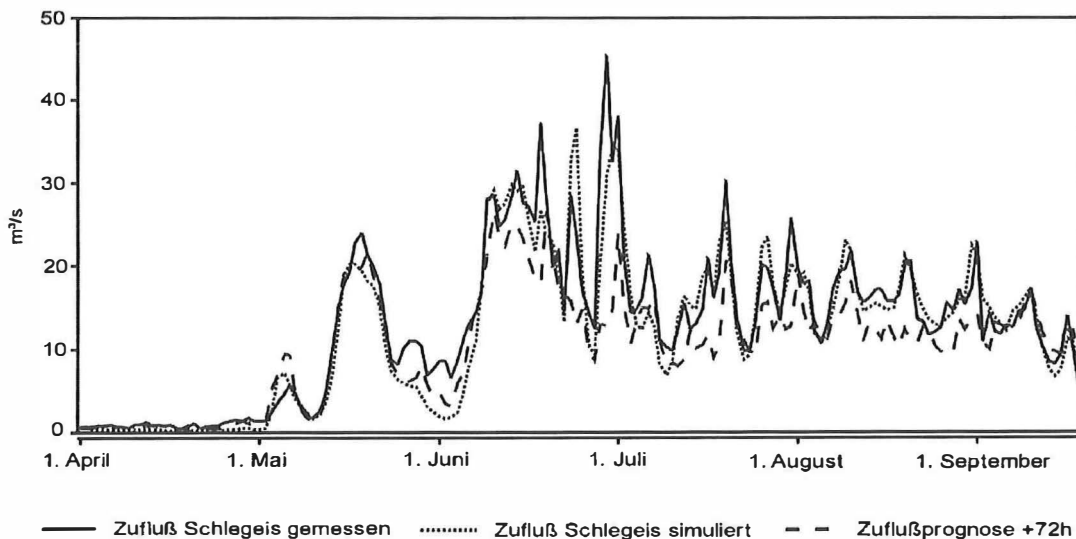


Abb. 4: Gemessene tägliche Abflußraten des Einzugsgebiets Schlegeis und Ergebnisse der Modellrechnungen im Simulationsmodus und für 72-stündige Vorhersagen.

den den meteorologischen Prognosen des europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersagen (ECMWF) entnommen. Die tägliche Ausdehnung der Schneefläche wurden vom Termin einer Satellitenaufnahme ausgehend mit dem in Abschnitt 4 angeführten Verfahren abgeschätzt. Die Berechnungen wurden für Vorhersageperioden von ein bis drei Tagen durchgeführt. Die Statistik in Tab. 1 zeigt gute Ergebnisse für die ein- bis dreitägigen Prognosen während der Hauptperiode der Schneeschmelze (1.5. bis 15.6.1997) mit  $R^2 = 0.91$  für eintägige Vorhersagen und  $R^2 = 0.88$  für dreitägige Vorhersagen. Im Sommer sinkt die Güte der Abflußvorhersage deutlich, was im wesentlichen auf Fehler der Niederschlagsprognose im meteorologischen Modell zurückzuführen ist. In Perioden, in denen Niederschlagsabfluß dominiert, ist eine wesentliche Verbesserung der Abflußvorhersagen nur über eine Verbesserung der Niederschlagsvorhersagen möglich.

## 6. Schlußfolgerungen

Sowohl SAR als auch hochauflösende optische Sensoren bieten gute Möglichkeiten zur Kartierung der Schneebedeckung in komplexem Gelände, eine wesentliche Größe für die Modellierung des Abflusses in alpinen Einzugsgebieten. SAR bietet den Vorteil einer regelmäßigen Aufnahme, unabhängig von Bewölkung und Beleuchtung. Es sind jedoch komplexe Analyseverfahren notwendig, um den Einfluß der Topographie zu eliminieren. Außerdem kann man mit SAR nur feuchte Schneedecke kartieren. Für die Überwachung der Schneeschmelze ist dies jedoch ausreichend, da sich die Schneebedeckung primär in den durchfeuchteten Randzonen ändert. In Hinblick auf operationelle Anwendungen wurde ein automatisches Verfahren für die Schneeklassifizierung mittels SAR entwickelt.

Das verwendete Abflußmodell SRM ist speziell für die Berechnung täglicher Abflußmengen zufolge von Schneeschmelze geeignet. Für die Abflußsimulation im Testgebiet Schlegeis lieferte das Modell in beiden Abflußperioden gute Ergebnisse. Nennenswerte Abweichungen zum gemessenen Abfluß gibt es lediglich an einzelnen Tagen mit starken Niederschlägen, da die Abschätzung des Gebietsniederschlags aus Punktmessungen problematisch ist. Die Pro-

gnose täglicher Abflüsse für Vorhersagezeiträume von ein bis drei Tagen liefert für die Schneeschmelzperiode gute Ergebnisse, da sich die wesentlichen Eingangsgrößen, Schneeflächen aus Satellitendaten und Lufttemperatur aus numerischen meteorologischen Vorhersagen, gut abschätzen lassen. An den Tagen, an denen Regen den Abfluß dominiert, hängt die Güte der Abflußprognose im wesentlichen von der Qualität der Niederschlagsvorhersage ab, die insbesondere im Gebirge oftmals mit großen Fehlern behaftet ist. Da Satellitendaten nur während der Schmelzperiode einen wesentlichen Beitrag zur Vorhersage des Abflusses leisten, kann man den Einsatz von Satellitenmessungen auf diese Periode begrenzen. Die Nutzung der Fernerkundung ist vor allem für große Einzugsgebiete von Interesse. Untersuchungen dazu laufen im Rahmen eines EU-Projekts, das vom Institut für Meteorologie und Geophysik koordiniert wird und Testgebiete in vier europäischen Ländern umfaßt.

### Dank

Die Arbeiten wurden im Rahmen eines Forschungsauftrags des Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr durchgeführt. Die ERS SAR Daten wurden von der ESA für das Experiment AO2.A101 zur Verfügung gestellt.

### Literatur

- [1] Rott, H., Batlogg, N., Nagler, T., Rack, W., Pirker, O.: Projekt MISSION – Alpine Hydrologie, Endbericht. Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck, 64 S., 1998.
- [2] Martinec J. Rango, A., Roberts, R.: Snowmelt Runoff Model (SRM) User's Manual. Geographica Bernensia P29, 65 pp., 1994.
- [3] Rott, H., Nagler, T., Floricioiu, D.-M.: Anwendungen der Fernerkundung für die Schneehydrologie. Österr. Z. für Vermessung und Geoinformation, 84. Jhg.: 51–54, 1996.
- [4] Nagler, T.: Methods and Analysis of Synthetic Aperture Radar Data from ERS-1 and X-SAR for Snow and Glacier Applications. Diss., Univ. Innsbruck, 1996.
- [5] Nagler, T. and Rott, H.: The application of ERS-1 SAR for snowmelt runoff modelling. Remote Sensing and GIS for Design and Operation of Water Resources Systems, IAHS Publ. No. 242: 119-126, 1997.
- [6] Rango, A. and Martinec, J.: Revisiting the degree-day method for snowmelt computations. Water Resources Bulletin 31(4), 657-669, 1995.

### Anschrift der Autoren:

Helmut Rott, Nikolaus Batlogg und Thomas Nagler: Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck.  
Otto Pirker: Österr. Elektrizitätswirtschafts AG, Am Hof 6A, 1010 Wien.

# Ergänzung und Fortführung des Digitalen Landschaftsmodelles des BEV mit Fernerkundung



Michael Franzen, Gerald Kohlhofer, Josef Jansa und Adele Sindhuber, Wien

## Zusammenfassung

Für das Digitale Landschaftsmodell (DLM) des BEV wird aus hochauflösenden panchromatischen Satellitenbildern (IRS-1C-pan und SPOT-pan) und multispektrale Aufnahmen (Landsat TM) eine Ebene mit Bodenbedeckungsflächen abgeleitet. Texturanalyse und Schwellwertverfahren, multispektrale Klassifizierung mit erster und zweiter Wahrscheinlichkeitsdichte und bereits vorhandene DLM Daten werden in einem Regelsystem miteinander verbunden. Für die endgültige Klassenzuordnungen werden auch noch Sicherheitscodes vergeben. Das Ergebnis ist ein Landnutzungsdatensatz mit 15 m x 15 m Auflösung und einer Genauigkeit von ca. 93%.

## Abstract

Diverse remotely sensed data sets from the satellite sensors Landsat Thematic Mapper, IRS-1C-pan and SPOT-pan have been utilized for a landuse classification to be added to the Digital Landscape Model (DLM) of the BEV. The results of a texture analysis, greyvalue thresholding, multispectral classifications with first and second probability density, as well as already existing data are combined in a rule based system. The resulting landuse-layer has classes with associated reliability categories and a 15 m x 15 m ground resolution. A quality assessment proved that 93% of the pixels are identical to classes of a visual reference classification.

## 1. Einleitung

Im Rahmen des Forschungsprojektes MISSION versuchte das Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (IPF) gemeinsam mit dem Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) für deren Digitales Landschaftsmodell (DLM) einen Bodenbedeckungslayer abzuleiten. Dieser Layer soll eine Bodenauflösung von genauer als 20 m x 20 m haben. Die gewünschten Klassen sind „Wasser“, „Wald“, „Acker“, „Grünland“, „Besiedelt“, „Fels“ und „Gletscher“ [1].

Die Motivation für diese Aufgabe liegt in der Vervollständigung des DLM des BEV, da es bisher in den Österreichischen Karten 1:50000 (ÖK50) nur die Information „Wald“ als Bodenbedeckung gab. Zudem sollen auch andere bestehende Landnutzungsdaten mit dem Potential der neuen hochauflösenden Fernerkundungsdaten aktualisiert und verfeinert werden. Nicht nur die Entwicklungen im Bereich der Fernerkundung und der Bildauflösung sind hier wichtig, auch die Bildverarbeitung öffnet neue Wege für die Bearbeitung panchromatischer Daten, da dort große Fortschritte im Bereich der Muster- und Objekterkennung gemacht werden. Diese Entwicklungen sollen nun auf hochauflösende Fernerkundungsbilder angewandt werden. Zusätzlich bieten die vielfältigen Systeme von Geo-

graphischen Informationssystemen (GIS) Methoden an, eine Fülle von hybriden Informationen zu verbinden. Diese Verknüpfung von Daten ermöglicht einerseits die aus den Fernerkundungsdaten gewonnenen Informationen miteinander zu verbinden, andererseits die bestehenden Daten aus dem DLM in die Landnutzungsanalyse miteinzubeziehen. Das wiederum schafft die Möglichkeit, aus einer großen Überbestimmung heraus die Landnutzung für jedes Pixel zu bestimmen und aus der Konsistenz der Daten auf eine Sicherheit der Klassenzuordnung zu schließen. Diese Einbeziehung der Sicherheit der Zuordnung ermöglicht eine effiziente Nachbearbeitung, da nur noch die unsicheren Klassen visuell kontrolliert werden müssen.

## 2. Multispektrale Klassifizierung

Für die Klassifizierung der Thematic Mapper Daten (30 m, geometrisch resampled auf 25 m; verwendet wurden hier nur die 6 Kanäle der reflektierten Strahlung) mit der Maximum Likelihood Methode [2] wurde im Bildverarbeitungssystem ERDAS-Imagine ein sogenanntes „Model“ (eine Art Macro) erstellt, das nicht nur die Klasse mit der größten Wahrscheinlichkeitsdichte ausweist, sondern auch jene mit der zweitgrößten Wahrscheinlichkeitsdichte. Um ein Maß zu fin-

den, wie diese beiden Klassen zueinander stehen, also zu untersuchen, ob theoretisch beide Klassen gleich wahrscheinlich sind oder ob die erste Klasse eindeutig, die zweite aber nur ganz unsicher zugewiesen wurde, erfolgte die Berechnung der Mahalanobisdistanz  $h$ . Aus der  $\chi^2$ -Verteilung kann die Wahrscheinlichkeit entnommen werden, mit der ein Pixel in eine Klasse fällt. Dann werden die Wahrscheinlichkeiten der 1. und 2. Klasse verglichen. Da diese Wahrscheinlichkeiten bei größerem  $h$  sich nur wenig unterscheiden, ist wichtig, das Verhältnis der beiden Mahalanobisdistanzen zu untersuchen. Das Verhältnis zweier  $\chi^2$  verteilter Funktionen ist F-verteilt. Aus der Tabelle der Fischerverteilung kann man den Schwellwert für die entsprechenden Freiheitsgrade herausnehmen, ab dem sich mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit das Verhältnis  $h_2^2/h_1^2$  signifikant unterscheidet. Dieser Schwellwert ist für 6 Freiheitsgrade (wegen 6 verwendeter Kanäle) und einer angenommenen Wahrscheinlichkeit von 95% mit 4.28 angegeben. In dem hier ausgeführten Beispiel können 25% der Pixel nicht signifikant von der Klasse der zweiten Wahrscheinlichkeitsdichte unterschieden werden, was bedeutet, daß es wichtig ist, auch die „zweiten“ Klassen in die gesamte Klassifizierung miteinzubeziehen.

### 3. Analyse panchromatischer Aufnahmen

Aus hochauflösenden panchromatischen Daten (IRS-1C-Pan mit 5.8 m, SPOT-Pan mit 10 m Bodenauflösung) können Informationen sowohl mittels Texturanalysen wie auch durch grauwertbasierte Segmentierung gewonnen werden.

#### 3.1. Texturanalyse

Die Textur eines Bildes wird vom menschlichen Betrachter als „fein, grob, glatt, linienhaft, körnig, unruhig, etc.“ wahrgenommen und entsteht durch unterschiedliche statistische Eigenschaften von verschiedenen Bildregionen. Während ein einzelnes Pixel keine Texturinformation beinhaltet, erhöht sich die texturale Ausprägung mit zunehmender Zahl der betrachteten Bildelemente. Bei starken Grauwertschwankungen ist die Textur das vorherrschende Merkmal [3]. Die Texturanalyse versucht nun, eine Quantifizierung dieser Eigenschaften eines Bildes durchzuführen. Gesucht wird ein thematisches digitales Bild, dessen Klassenkategorien den unterscheidbaren Textureigenschaften des Ausgangsbildes zugeordnet sind.

Die Texturberechnung wurde mit dem aus der digitalen Photogrammetrie bekannten und für

Merkmalsextraktion verwendeten Förstner Operator [4] durchgeführt. Diese Texturanalyse liefert Information, ob ein Pixel als Teil einer homogenen Umgebung, als Punkt oder als Teil einer Grauwertkante erkannt wurde. Dabei werden in der Nachbarschaft (z.B. in einer Umgebung von 5 x 5 Pixel) die Komponenten des mittleren Grauwertgradienten berechnet und daraus ein Maß für die Stärke und Isotropie der Textur abgeleitet. Durch Schwellwertvergleich für das Stärke-Maß lassen sich Texturpixel markieren, womit auch die Unterscheidung zwischen homogenen und texturierten Gebieten ermöglicht wird. Auffällige Punkte weisen lokale Maxima in diesem Texturmaß auf. Der Schwellwert muß aus der Verteilung der Grauwerte abgeleitet werden. Anschließend werden die Texturpixel noch auf „Punkt“ oder „Kante“ untersucht. Kanten sind jene relativen Texturmaxima, deren Isotropie-Maße unter einem Schwellwert liegen [5]. Damit ist es möglich, einen Texturlayer zu extrahieren, der das Bild in die Klassen „homogen“, „Punkt“ und „Kante“ einteilt.

Für die Extraktion der Klasse „Besiedelt“ ist diese Klassifizierung nach der Textur gut geeignet, da die bebauten Gebiete durchwegs durch Punkte und Kanten beschrieben werden, die Akkergrenzen jedoch fast nur als Kanten ausgewiesen werden. Durch eine Nachbearbeitung mit GIS-Operationen kann somit ein Besiedlungslayer extrahiert werden.

#### 3.2. Segmentation mittels Schwellwertoperation

Mit Schwellwertoperationen werden Grauwertintervalle zu Klassen zusammengefaßt. Es können bildvorverarbeitende Schritte vorausgehen, sodaß die Schwellwertoperationen komplexere Strukturen annehmen. So ist es z.B. angebracht, auch die Umgebung eines Pixels zu untersuchen, bevor es aufgrund seines Grauwertes einer Klasse zugeordnet wird. In einem Fenster ausgewählter Größe werden also statistische Größen wie

- Mittelwert
- Standardabweichung
- Minimaler Grauwert
- Maximaler Grauwert

gesucht. Für die Objektklassen werden Schwellwertbereiche für den Mittelwert des Grauwertes, die dazugehörige Varianz, den maximalen und den minimalen Grauwert im untersuchten Fenster mit Hilfe von Trainingsgebieten definiert. Die eigentliche Klassifizierung erfolgt als Vergleich der Umgebungsgrößen jedes Bildpixels (als sogenannte „focal analysis“) mit den

Schwellwertbereichen des Trainingvorgangs. Auf diese Weise gelingt es, in der panchromatischen IRS-1C-Pan-Aufnahme die Klassen „Wald“ und „Wasser“ relativ gut herauszufinden.

Man beachte, daß die ursprüngliche Bodenauf- lösung der Originaldaten von 5.8 m (resampled auf 5 m) durch die verschiedenen Verarbeitungs- schritte in den Ergebnisbildern nicht mehr ge- geben ist. Eine geschätzte Auflösung von etwa 10 m kann als realistisch angenommen werden.

#### 4. Digitales Landschaftsmodell des BEV

Im Zuge der topographischen Landesauf- nahme entsteht im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen seit 1993 das „Digitale Landschaftsmodell“ (DLM) [5]. Dieser Datenbe- stand umfaßt nicht generalisierte topographi- sche Daten, die als Objektbereiche in Vektor- form erfaßt werden. Bereits fertiggestellte Ob- jektbereiche sind Verkehrswege, Gewässer, Raumgliederung und Namen. Die Erfassungs- methoden der Objektbereiche „Bodenbedek- kung“ und „Siedlungen“ sollen aus diesem Pro- jekt hervorgehen. Die Daten dieses DLMs ste- hen für die Bearbeitung der Fernerkundungsda- ten zur Verfügung. So wurde für die Rektifizie- rung der Verkehrslayer verwendet, für die Regel- basis der gerasterte Waldlayer und der Situati- onslayer der ÖK50. Die beiden letzteren gehören eigentlich zum sogenannten „Kartographischen Modell“ und wurden in diesem Projekt als Ersatz für die noch nicht existenten entsprechenden Layer des DLMs verwendet.

#### 5. Verknüpfung aller Daten durch Regelbasis

Für die endgültige Landnutzungsklassifizie- rung werden alle zur Verfügung stehenden, in- klusive der bereits im DLM vorhandenen Infor- mationen verknüpft. Folgende Layer aus der Fernerkundungsanalyse und aus dem DLM ste- hen zur Verfügung (Tabelle 1):

GIS-Layer	Kennzeichnung	Art	Auflösung
Maximum Likelihood 1. Wahrscheinlichkeitsdichte	Maxlike1	Raster	25 m
Maximum Likelihood 2. Wahrscheinlichkeitsdichte	Maxlike2	Raster	25 m
Schwellwert-Analyse Wald	Wald-pan	Raster	10 m
Textur-Analyse Besiedelt	Besiedelt-pan	Raster	10 m
DLM-Situationslayer	Situation-DLM	Raster	2.5 m
DLM-Waldlayer	Wald-DLM	Raster	2.5 m
DLM-Verkehrslayer	Verkehr-DLM	Vektor	

Tab. 1: Layer für Verknüpfung

IF	Maxlike1 == Wald && Wald-pan == Wald && Wald-DLM == Wald
THEN	Wald_sicher_1
IF	Maxlike1 == Wald && Wald-pan == Wald && Wald-DLM ≠ Wald
THEN	Wald_sicher_2 <i>DLM ist nicht richtig, muß aktualisiert werden</i>
IF	Maxlike1 ≠ Wald && Maxlike2 == Wald && Wald-pan == Wald && Wald-DLM == Wald
THEN	Wald_sicher_3 <i>sollte überprüft werden</i>
IF	Maxlike2 ≠ Wald && Wald-pan == Wald && Wald-DLM == Wald
THEN	Wald_sicher_4 <i>sollte überprüft werden</i>

Abb. 1: Beispiel „Wald“ aus Regelbasis

Für die Verknüpfung dieser Informationen wird eine Regelbasis erstellt, wo mit Hilfe von Bedin- gungen für jedes Pixel eine Landnutzungs- klasse abgeleitet wird. Aus der Überbestimmung der ursprünglichen Klassenzuordnung eines Pixels läßt sich ein Sicherheits-Code vergeben. Dieser gibt die Zuverlässigkeit an, mit der ein Pixel zu- geordnet werden kann, und läuft von „Sicher1“ für größte Sicherheit bis „Sicher4“ für ganz unsi- chere Zuordnung. Das Regelsystem ist hierar- chisch aufgebaut. Es werden zuerst die Klassen von „Maxlike1“ geprüft, und falls keine der auf- gestellten Bedingungen erfüllt wird, werden auch die Klassen von „Maxlike2“ in das Regel- system einbezogen. In Abbildung 1 sei als Bei- spiel hier die Klasse „Wald“ angeführt. Wenn für ein Pixel alle Daten-Layer die Klasse unterstü- tzen, dann wird dieses Pixel auch der Klasse „Wald“ zugeordnet, und zwar mit dem Sicher- heits-Code „Sicher1“. Wenn die Fernerkun- dungsanalyse („Maxlike1“ und „Wald-pan“) die Klasse „Wald“ aus- weist, das DLM aber „Nicht-Wald“ ist, dann handelt es sich um eine Veränderung des Waldlayers des DLMs. Entweder ist der Waldstand im DLM nicht aktuell, oder es muß aufgrund von Generalisierungseffekten im vorhande- nen (kartographi-

schen) Modell die Klasse „Wald“ neu fortgeführt werden. Wenn einander die multispektrale und panchromatische Interpretation widersprechen, dann muß die betroffene Klasse nachkontrolliert werden.

Die Abbildung 2 zeigt das Ablaufdiagramm der gesamten Klassifizierungsprozedur. Als Ergebnis erhalten wir einen Landnutzungslayer mit einer Bodenauflösung von 15 m x 15 m, wobei neben dem Klassen-Code jedem Pixel auch ein Sicherheits-Code zugeordnet ist.

### 6. Beispiel, Ergebnisse und Genauigkeiten

Als Testbeispiel wurde eine Kombination von Thematic Mapper- und IRS-1C-Pan-Daten nach den soeben beschriebenen Verfahren klassifiziert. Das TM-Bild liefert nach den in Kapitel 2 beschriebenen Verfahren zwei Ergebnisse. Bei deren Vergleich wird offensichtlich, daß „Wald“, „Wasser“ und „Grünland“ recht sichere Klassen sind, während die Trennung von „Acker“ und „Besiedelt“ oft nicht signifikant möglich ist.

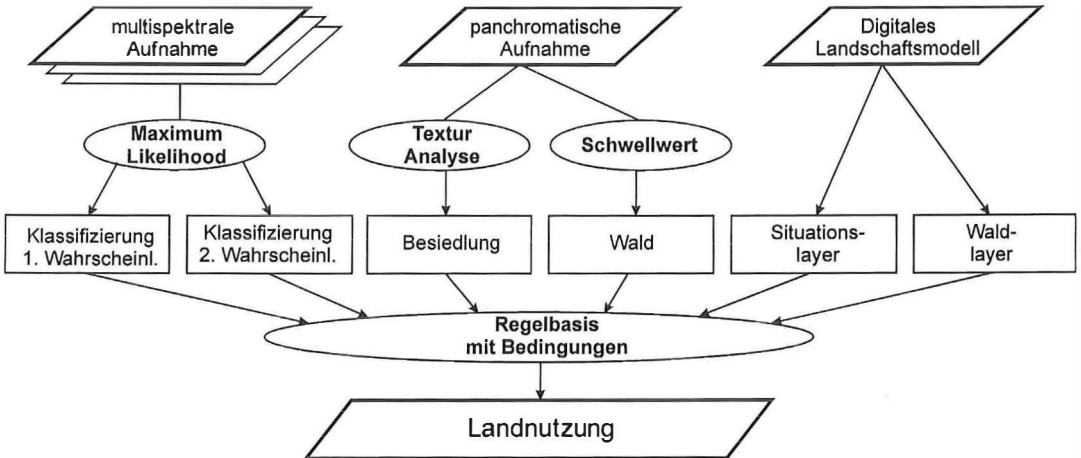


Abb. 2: Ablaufdiagramm der Klassifizierungsprozedur

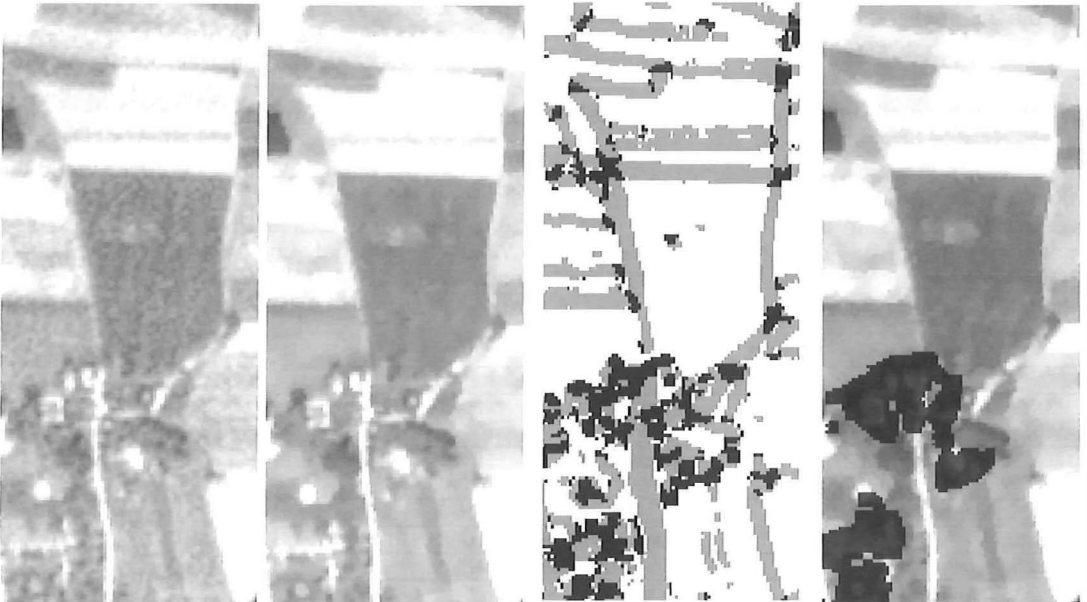


Abb. 3: Bearbeitungen des IRS-1C-Pan Bildes (Links: Original IRS-1C Bild; Mitte links: gefiltertes Bild; Mitte rechts: Kanten und Punkte; Rechts: Besiedlungslayer über IRS-1C Bild)

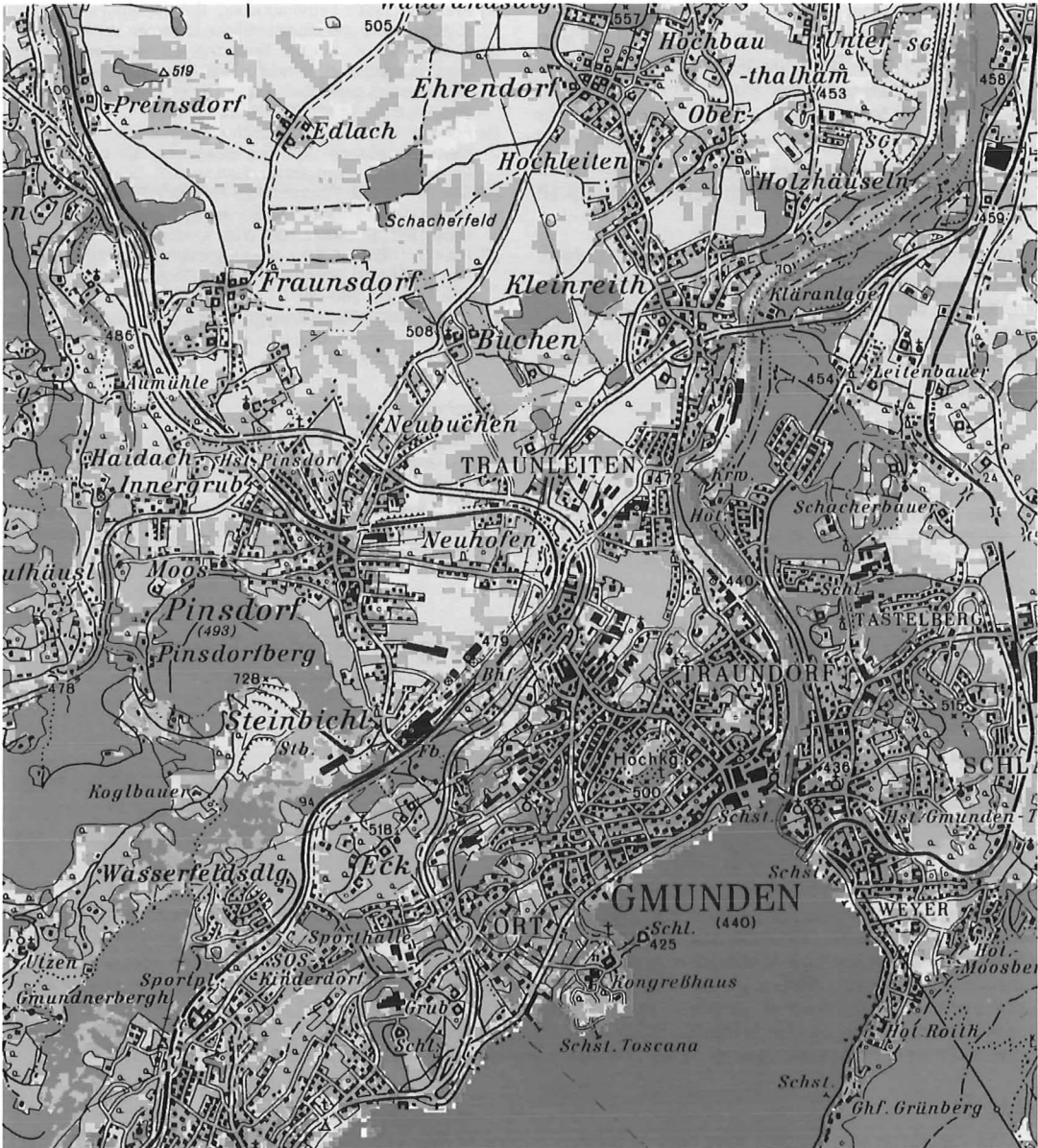


Abb. 4: Ergebnis der Landnutzungsklassifizierung überlagert mit ÖK50 Situationslayer

Ist das panchromatische IRS-1C Bild sehr veräuscht, wie in unserem Fall, muß vor der Texturanalyse gefiltert werden. Dabei sollte unbedingt ein texturerhaltendes Filter verwendet werden, wie z.B. ein Sigma-Filter, wodurch nur jene Pixel gefiltert werden, die sie in einer homogenen Umgebung liegen [7]. Große Grauwertsprünge beinhalten wichtige Texturinformation und werden daher nicht verändert. In homogenen Bereichen wird das Bild demnach deutlich geglättet, während die texturierten Gebiete als solche erhalten bleiben.

Abbildung 3 zeigt links das originale IRS-1C-Pan Bild und rechts davon das gefilterte im Vergleich dazu. An dritter Position sind die aus der Texturanalyse mittels Förstner Operator extrahierten Punkte und Kanten dargestellt. Das rechte Bild schließlich zeigt den abgeleiteten Besiedlungslayer in schwarz, der dem Originalbild überlagert wurde. Eine Regelbasis mit ca. 30 Regeln dient dann der Ableitung der Landnutzungsklassen und deren Sicherheits-Codes.

Dieses Ergebnis wurde für Genauigkeitsanalysen noch mit einer visuellen Interpretation von Orthophotos des BEV verglichen. Dabei stellte sich heraus, daß 93% der Pixel mit der Interpretation der Referenzbilder übereinstimmen. Für die Klassen größter Zuverlässigkeit, das sind 81% der gesamten Pixel, stimmen sogar mehr als 96% überein. Die geometrische Genauigkeit beträgt etwa 15 m x 15 m.

Das Ergebnisbild ist in Abbildung 4 zu sehen. Dem farbkodierten Landnutzungsklassen, die weiter in die erwähnten Sicherheitskategorien unterteilt sind, ist der Situationslayer der ÖK50 überlagert, um einen besseren Eindruck von der erreichten Qualität zu erhalten.

#### Literatur:

- [1] *Sindhuber A. (1998):* Ergänzung und Fortführung eines digitalen Landschaftsmodelles mit multispektralen und hochauflösenden Fernerkundungsaufnahmen, Dissertation an der TU-Wien, Geowissenschaftliche Mitteilung, Heft 48.

- [2] *Kraus K. (1990):* Fernerkundung, Band 2, Auswertung photographischer und digitaler Bilder, Dümmler Verlag, Bonn .  
 [3] *Steinnocher K. (1997):* Texturanalyse zur Detektion von Siedlungsgebieten in hochauflösenden panchromatischen Satellitenbilddaten, Salzburger Geographische Materialien, Heft 26, Seite 143ff, AGIT, Salzburg 1997.  
 [4] *Förstner W. (1991):* Statistische Verfahren für die automatisierte Bildanalyse und ihre Bewertung bei der Objekterkennung und -vermessung, Heft Nr. 370, DGK, München.  
 [5] *Mischke A. und Rottensteiner F. (1997):* Feature Extraction in an On-line Engineering Surveying System, ÖAGM Workshop 1997, R. Oldenbourg Wien München.  
 [6] *Paul G. (1997):* Aufbau eines Digitalen Landschaftsmodells von Österreich, Vermessung und Geoinformation 85. Jhg. VGI 4/97, pp. 260-266.  
 [7] *Lee J. (1983):* Digital Image Smoothing and the Sigma Filter, Computer Vision, Graphics and Image Processing, vol. 24, 1983, pp. 255-269.

#### Anschrift der Autoren:

Michael Franzen, Gerald Kohlhofer: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Krotenthalergasse 3, 1080 Wien

Josef Jansa, Adele Sindhuber: Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien, Gußhausstraße 27-29, 1040 Wien



## Umweltmonitoring im Alpenen Raum mit hochauflösenden Satellitendaten

Jürgen Janoth und Markus Eisl, Salzburg

### Zusammenfassung

Für Fragestellungen des Umweltmonitoring im alpinen Raum wurde der Informationsgehalt hochauflösender Satellitendaten untersucht. Im Vordergrund standen alm- und forstwirtschaftliche Problemstellungen. Dabei wurde die Differenzierbarkeit der bewirtschafteten Almflächen und Wälder sowie die Erfassbarkeit verschiedener Nutzungsintensitäten analysiert. Weiters wurde die Differenzierbarkeit natürlicher Sukzessionsstadien aufgelassener Almen untersucht. Die eingesetzten Verfahren umfassen Beleuchtungskorrektur, Texturanalyse, Maximum Likelihood Klassifizierung und regelbasierte Postklassifizierung. Die Ergebnisse zeigen, daß hochauflösende Satellitendaten für umweltrelevante Fragestellungen im alpinen Umfeld eine wichtige zusätzliche Informationsquelle darstellen.

### Abstract

High resolution satellite data have been analysed concerning their information content for selected problems in environmental monitoring in alpine regions. Special attention has been laid upon the differentiation of alpine pastures and forests. The methods used include illumination correction, texture analysis, Maximum Likelihood classification and rule based classification approaches. The results demonstrate the high potential of high resolution data for environmental studies in alpine regions.

### 1. Einleitung

Die vorliegende Studie, die – gefördert vom Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr – im Rahmen der Projektinitiative MISSION (GZ 79.065/2-II/5/95) durchgeführt wurde, untersucht den Informationsgehalt neuer hochauflösender Satellitendaten für ausgewählte Frage-

stellungen des Umweltmonitoring im alpinen Raum. Im Vordergrund standen vor allem alm- und forstwirtschaftliche Fragestellungen im Nationalpark Hohe Tauern. Von besonderem Interesse war dabei:

- die Erfassung der Almflächen;
- die Unterscheidung verschiedener Nutzungsintensitäten bewirtschafteter Almen;



- die Erfassung natürlicher Sukzessionsstadien in aufgelassenen Almen.

Ein zweiter Themenkomplex beschäftigt sich mit dem Waldanteil. Hier lag das Interesse insbesondere auf:

- einer genauen Abgrenzung des Waldes;
- einer Klassifizierung nach Hauptbaumarten und Altersklassen, und
- Aussagen über die Nutzungsintensität der Wälder.

## 2. Datenlage

Aufgrund ungünstiger Witterungsverhältnisse, konnten lange Zeit keine aktuellen, Satellitendaten des Untersuchungsgebietes gewonnen werden. Aus diesem Grund wurde zunächst auf früher aufgenommene Landsat TM und SPOT Pan Daten zurückgegriffen. Erst gegen Ende der Vegetationsperiode 1997 konnten für den westlichen Bereich des Nationalparks SPOT (09.09.1997) und IRS-1C Daten (11.09.1997) aufgenommen werden. Die panchromatischen IRS-1C Daten verfügen aber nur über eine geringe Dynamik und weisen darüber hinaus sensorbedingte Datenfehler (banding) auf. Die Brauchbarkeit dieses Datensatzes ist daher eingeschränkt. Ursprünglich für das Projekt geplante hochauflösende MOMS-02 Daten konnten nicht aufgezeichnet werden, so daß keine hochauflösenden Satellitendaten im engeren Sinne vorliegen.

Daneben fanden auch Daten des Tauern-GIS der Nationalparkverwaltung Verwendung, die sowohl als Referenzbasis als auch zur weiteren Differenzierung der Klassifizierungsergebnisse genutzt wurden.

Als dritte Datenquelle konnte auf ein räumlich hochauflösendes Digitales Geländemodell mit einer Rasterweite von 25m zurückgegriffen werden, das vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen zur Verfügung gestellt wurde.

## 3. Methodik

Das Fehlen hochauflösender, multispektraler Satellitendaten machte eine besondere Vorgehensweise nötig. Es wurde deutlich, daß die Fragestellungen nur mit einem methodischen Ansatz gelöst werden können, der eine sinnvolle Einbeziehung räumlich höher auflösender panchromatischer Daten in den Klassifizierungsprozeß erlaubt. Diese Überlegungen führten zur Implementierung zusätzlicher Algorithmen, die einerseits Texturparameter berücksichtigen, andererseits eine Verknüpfung der „spektralen Klassen“ mit Zusatzinformationen aus weiteren Datenquellen über wissensbasierte Regeln erlauben. Methodisch beruht der Ansatz auf einer getrennten Bearbeitung von multispektralen und panchromatischen Daten. Der multispektrale Datensatz wird dabei einer herkömmlichen Maximum Likelihood Klassifizierung unterzogen. Topographisch bedingte Reflexionseffekte werden zuvor durch eine Beleuchtungskorrektur korrigiert. Die panchromatischen Daten werden dagegen für eine Texturanalyse herangezogen und liefern mit abgeleiteten Texturmerkmalsbildern weitere wichtige Informationskanäle. Die jeweiligen Ergebnisse werden in einem letzten Arbeitsschritt mit weiteren Zusatzinformationen über wissensbasierte Regeln verknüpft und gegebenenfalls neuen Klassen zugeordnet.

Methodisch beruht der Ansatz auf einer getrennten Bearbeitung von multispektralen und panchromatischen Daten. Der multispektrale Datensatz wird dabei einer herkömmlichen Maximum Likelihood Klassifizierung unterzogen. Topographisch bedingte Reflexionseffekte werden zuvor durch eine Beleuchtungskorrektur korrigiert. Die panchromatischen Daten werden dagegen für eine Texturanalyse herangezogen und liefern mit abgeleiteten Texturmerkmalsbildern weitere wichtige Informationskanäle. Die jeweiligen Ergebnisse werden in einem letzten Arbeitsschritt mit weiteren Zusatzinformationen über wissensbasierte Regeln verknüpft und gegebenenfalls neuen Klassen zugeordnet.

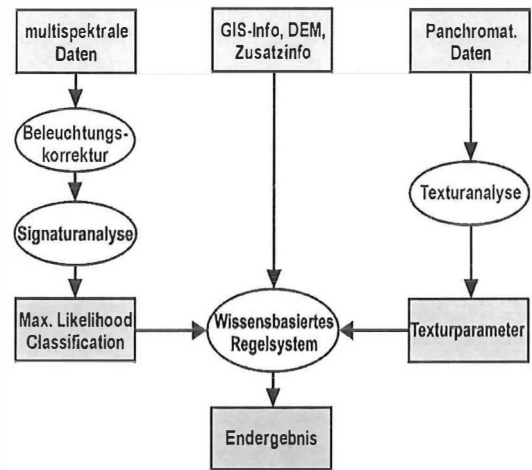


Abb. 1: Schematisches Ablaufdiagramm

### 3.1. Beleuchtungskorrektur

In stark reliefiertem Gelände kommt es infolge unterschiedlicher Hangneigungen und -expositionen zu erheblichen geländebedingten Beleuchtungsunterschieden, die sich auf die spektralen Signaturen entscheidend auswirken.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde daher ein Beleuchtungskorrekturmodell implementiert, das die objektspezifischen BRDF-Effekte (bidirectional reflectance distribution function) berücksichtigt [1, 2]. Die Beleuchtungskorrektur wurde auf die multispektralen Satellitendaten angewandt, wobei die Korrektur speziell für die Waldfläche erfolgte.

Die korrigierten Bilddaten zeichnen sich bereits visuell durch eine deutliche Verringerung des Beleuchtungseinflusses aus, sichtbar z.B.

am deutlich homogeneren Eindruck der Waldflächen. In steilen Hangbereichen führt diese Methode allerdings zu einer Überkorrektur, die auf die Vernachlässigung des diffusen Himmelslichtes zurückzuführen ist.

### 3.2. Texturanalyse

Ziel der Texturanalyse war die Evaluierung der räumlichen Variabilität (Textur) eines Bildes mit Hilfe verschiedener Texturmerkmale wie etwa Contrast, Energy, Correlation, Entropy oder Inverse Difference Moment [3]. Im Rahmen dieser Untersuchung sollten Texturmerkmale aber auch der Einbeziehung der panchromatischen Daten in den Klassifizierungsprozeß dienen.

Eine Untersuchung verschiedener Texturmerkmale zeigte, daß für die vorliegenden Fragestellungen ein richtungsunabhängiges Inverse Difference Moment die besten Resultate lieferte. Wie zu erwarten, ergab die Analyse einen deutlichen Zusammenhang zwischen Bodenauflösung der panchromatischen Daten und Größe der Oberflächenstrukturen. Es zeigte sich, daß SPOT-Pan Daten häufig eine zu geringe Auflösung aufweisen, als daß kleinräumig auftretende Texturunterschiede noch erfaßt werden könnten. IRS-1C Daten weisen in dieser Hinsicht einen Vorteil auf, der aber durch die genannten Datenfehler wieder eingeschränkt wird. Im weiteren Verlauf wurden daher Texturparameter nur für diejenigen Klassen berücksichtigt, für die ein klar erkennbarer Zusammenhang deutlich wurde [4].

### 3.3. Klassifizierung

Zielsetzung der Klassifizierung war eine möglichst genaue Trennung der Klassen, die dann in die anschließende Postklassifizierung einfließen sollten. Dieser Ansatz wurde gewählt, da ein zufriedenstellendes Ergebnis durch eine pixelbasierte multispektrale Klassifizierung nicht erwartet werden konnte.

Auf der Grundlage von Bodenerhebungen wurde eine überwachte Maximum-Likelihood Klassifizierung eingesetzt. Die Klassifizierung erfolgte mit Datensätzen, auf denen zuvor alle Nicht-Waldflächen bzw. alle Nicht-Almflächen ausmaskiert wurden. Die Abgrenzung des Waldes und der Almen konnte dabei teilweise aus IRS-1C Daten abgeleitet werden, die weitere thematische Differenzierung basierte dagegen vor allem auf Landsat TM Daten. Die Klassifizierung erfolgte durch die neue MMIPPS Software (Multispectral and Multitemporal Image Processing on Parallel Systems) [5], die im Rahmen ei-

nes von der Europäischen Kommission geförderten ESPRIT-Projekts von GEOSPACE zusammen mit internationalen Projektpartnern entwickelt wurde.

Die Ergebnisse der Primärklassifizierung deken sich weitgehend mit den Erwartungen [6]. Klassen, die sowohl über eine charakteristische Reflexion verfügen und/oder flächenhaft auftreten weisen eine hohe Klassifizierungsgüte auf. Problematisch sind unterrepräsentierte Klassen, Mischklassen und extreme Schattenbereiche.

### 3.4. Wissensbasiertes Expertensystem

Als methodische Erweiterung des bestehenden Postklassifizierungsverfahrens [4] wurde ein wissensbasiertes Expertensystem eingeführt, mit dem eine weitere Verbesserung der Klassifizierungsergebnisse erreicht werden sollte. Grundsätzlich lassen sich Systeme unterscheiden, die auf Gewißheit (evidential inference) oder Hierarchien (hierarchical inference) beruhen [7]. Ziel war die Einbindung von Texturmerkmalen und weiteren Informationen in den Klassifizierungsprozeß über wissensbasierte Regeln.

Im konkreten Fall werden die Ergebnisse der Klassifizierung mit Texturmerkmalen (Pan-Daten), GIS-Informationen und aus dem Digitalen Geländemodell abgeleiteten Informationen miteinander kombiniert. Zudem wurden Nachbarschaftsbeziehungen berücksichtigt [4, 8].

Aufgrund fehlender Flächendeckung (Geologie) oder thematischer Fehler (aktuelle Vegeta-

#### Regelbeziehungen Wald:

Lärche	Höhenlage > 2200 m	⇒ Zwergstrauch
Fichte	Höhenlage > 1800 m ++ Zirbe + Fichte-Zirbe > 50%	⇒ Fichte-Zirbe
Fichte	Höhenlage > 1800 m ++ Zirbe > 75 %	⇒ Zirbe
Fichte	IDM (IRS Pan) > 100 ++ Fichte-Lärche > 50 %	⇒ Fichte-Lärche

#### Regelbeziehungen Alm:

Mahdalm	Höhenlage > 1900 m ++ Inklination > 20 %	⇒ Bergmäher
Alm	Grünerle + Birke > 50% ++ Inklination > 30 %	⇒ Verbuschung
Mahdalm	Weidealm > 50 % ++ IDM (IRS Pan) < 100	⇒ Weidealm

tion) wurden die Regeln in der ersten Phase auf ökosystemare Zusammenhänge und Informationen gestützt, die aus dem Digitalen Geländemodell ableitbar sind. Im folgenden ist ein Auszug aus den Regeln wiedergegeben.

Abb. 2 und 4 zeigen die Ergebnisse der regelbasierten Postklassifizierungen.

Darüberhinaus wurden Regeln definiert, die eine Differenzierung der Klassifizierungsergebnisse bezüglich verschiedener Nutzungsintensitäten erlauben sollten. Basis bildeten die aus Landsat-TM Daten hergeleitete Primärklassifizierungen, die mit zusätzlichen GIS- und DGM-Daten verknüpft wurden (Abb. 3 und 5). Da in diesen Fällen weniger wissenschaftlich abgesicherte Regelzusammenhänge vorliegen, wurde das „Expertenwissen“ auch auf Plausibilitätskriterien gestützt.

## 4. Diskussion

### 4.1. Almklassifizierung

Die ML-Klassifizierung der Almflächen ergab, daß eine Differenzierung von Weidealm-, Mahdalm- und späten Sukzessionsstadien möglich ist, es zeigt sich aber eine deutliche Abhängigkeit zwischen Flächengröße und Pixelauflösung.

Durch die Einbeziehung panchromatischer Daten und weiterer Informationen über ein Regelwerk konnten die Ergebnisse sowohl hinsichtlich der räumlichen Abgrenzung als auch der thematischen Differenzierung verbessert werden. Die Einbeziehung hochauflösender IRS-1C Pan Daten ermöglichte eine weitere Differenzierung aufgelassener Almen. Im einzelnen können folgende Ergebnisse festgehalten werden:

- Eine Kombination von Landsat TM und panchromatischen Daten scheint geeignet, Almflächen bis zu einem Maßstab von 1: 25 000 zu erfassen.
- Eine Differenzierung in Almtypen war für hinreichend große und homogene Flächen möglich.
- Die Differenzierung von Bergmahdflächen und Hochalmen konnte mit Hilfe des Regelwerkes erfolgen.
- Sukzessionsstadien konnten erst bei fortgeschrittener Verbuschung sicher getrennt werden, was allerdings auch mit der oft geringen Ausdehnung dieser Flächen zusammenhängt.

Die Überprüfung der Klassifizierungsergebnisse erfolgte anhand unabhängiger Kontrollge-

biete und zeigt unter Berücksichtigung der oben genannten Einschränkungen sehr zufriedenstellende Ergebnisse. Die Untersuchung belegt damit das große Potential hochauflösender Satellitendaten zur Differenzierung der Almen in die Nutzungstypen Weide-, Mahd und aufgelassene Alm. Die Ergebnisse zeigen ferner, daß eine Differenzierung in verschiedene Intensitätsstufen möglich ist, allerdings ohne Unterscheidung der Nutzungsintensität von Almen, die der gleichen Nutzung unterliegen.

### 4.2. Waldklassifizierung

Die Ergebnisse der Waldklassifizierung zeigen, daß durch die angewandte Methode die geometrische und thematische Genauigkeit verbessert wird. Im einzelnen können folgende Resultate festgehalten werden:

- Die Berücksichtigung panchromatischer Daten trägt bedeutend zur Abgrenzung des Waldes bei. Probleme treten aber in Schlag-schattenbereichen auf.
- Die Klassifizierung basiert vor allem auf Landsat TM Daten, die die beste Trennung von Baumarten auf Bestandesebene ermöglichen. Durch Berücksichtigung von Nachbarschaftsregeln und weiteren Informationen kann das Ergebnis deutlich verbessert werden.
- Die bestandsbildenden Baumarten werden mit großer Genauigkeit erfaßt, geringere Genauigkeiten ergeben sich für Mischbestände.
- Die Methode zur Differenzierung von Nutzungsintensitäten scheint ein sinnvoller Ansatz zu sein, derartige Informationen aus Satellitendaten abzuleiten.

Die Verifizierung der Klassifizierungsergebnisse stützt sich auf unabhängige Kontrollgebiete. Darauf basierend errechnet sich eine sehr zufriedenstellende Gesamtwahrscheinlichkeit der richtigen Zuordnung bezogen auf Hauptwaldtypen.

Klassifizierte Daten	Unabhängige Kontrollgebiete		
	Nadelwald	Nadelmischwald	Laubwald u. -gehölze
Nadelwald	89 %	14 %	-
Nadelmischwald	9 %	84 %	-
Laubwald u. -gehölze	1 %	2 %	93 %

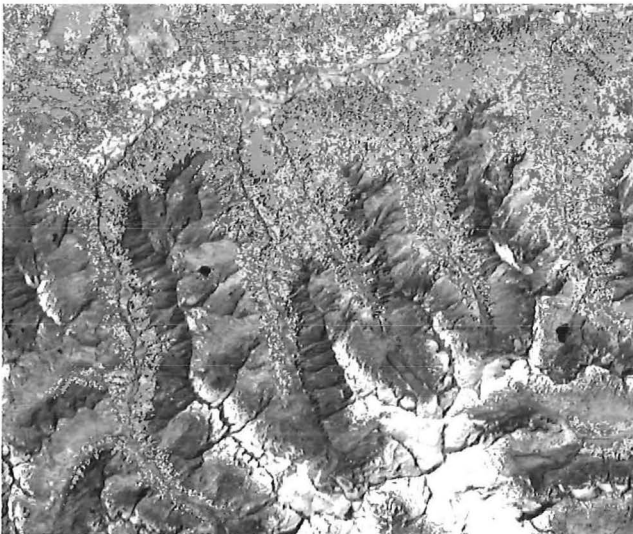
Tab. 1: Klassifizierungsgenauigkeit für Hauptwaldtypen

Als schwierig erwies sich die Erfassung von Blößen und Kulturen sowie von jungen Nadel-



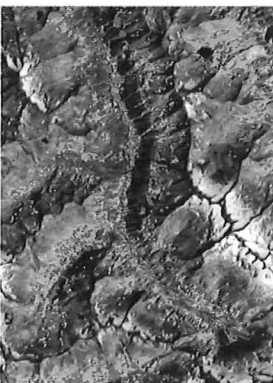
- Kultur
- Fichte (Stg.-holz)
- Fichte (Baumholz)
- Fichte-Zirbe
- Zirbe
- Fichte-Lärche
- Lärche
- Legföhre
- Grünerle
- Niederwald
- Zwergstrauch

Abb. 2:  
Ergebnis der  
Postklassifizierung  
für die Waldflächen



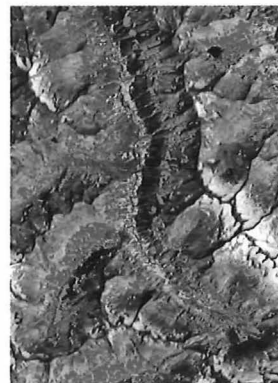
- Sehr stark
- Stark
- Mäßig
- Gering
- Sehr gering

Abb. 3:  
Potentielle Nutzungsintensitäten  
für die Waldflächen



- Extensive Weide
- Intensive Weide
- Mahdalm
- Hochalm
- Bergmähder
- Verbuschung

Abb. 4: Ergebnis der Postklassifizierung  
für die Almflächen



- Gering
- Mäßig
- Stark
- Sehr stark
- Keine

Abb. 5: Potentielle Nutzungsintensitäten  
der Almflächen

waldbeständen. Aufgrund ihres eher geringen Anteils an der Waldfläche wird die Gesamtgenauigkeit aber nicht nennenswert beeinflusst. Auch die zweifelsfreie Differenzierung zwischen Wald und Gebüsch- bzw. Sukzessionsflächen ist problematisch. Die Untersuchung zeigte aber, daß durch den gewählten methodischen Ansatz zufriedenstellende Ergebnisse erreicht werden können.

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß mit der vorgestellten Methode eine Verbesserung der geometrischen und thematischen Klassifizierungsgenauigkeiten erzielt werden kann. Die Methode erwies sich als geeignet, unterschiedliche Aufgabenstellungen (in der Forst- und Almwirtschaft) zu lösen und verschiedene Satellitendaten miteinander zu verbinden. Durch die Einbeziehung zusätzlicher Informationen lassen sich auch neue, aus Satellitendaten nicht direkt ableitbare Aussagen (Nutzungsintensitäten) gewinnen. Eine weitere Verbesserung mit neuen, hochauflösenden Satellitendaten ist zu erwarten.

## 5. Ausblick

Die zukünftige Entwicklung wird sich auf eine Verfeinerung der Regelzusammenhänge richten. Zudem wird derzeit überprüft, inwiefern der Ansatz methodisch um Segmentierungsverfahren erweitert werden kann. Im Rahmen zweier von der Europäischen Kommission geförderten Forschungsvorhaben, EON2000 (Earth Observation for Natura 2000 Habitats) und ENFORMA (Integration of Earth Observation Data in Supporting National Legislations for Environmental Forest Management), wird diesen Fragestellungen weiter nachgegangen. Eine wichtige Fragestellung wird sich schließlich mit dem Potential und den methodischen Fragen der Auswertung der zu-

künftigen, hochauflösenden Multispektraldaten beschäftigen.

## Dank

Mein besonderer Dank gilt den Mitarbeitern der Nationalparkverwaltung Salzburg, vor allem Frau Mag. K. Bauch, Herrn DI F. Lainer und Herrn Mag. D. Stangl für ihre freundliche und tatkräftige fachliche Unterstützung.

## Literatur:

- [1] *Banko, G. (1997):* Waldoptimierte Korrektur von geländebedingten Beleuchtungsunterschieden in Landsat-TM-Daten. – In: (DOLLINGER, F. & J. STROBL; Hrsg., 1997): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung IX. Beiträge zum GIS-Symposium 2.–4. Juli 1997. Salzburger Geographische Materialien, Heft 26, 1997, S. 1–10.
- [2] *Smith, J., Lin, T. & K. Ranson (1980):* The Lambertian assumption and Landsat data. – In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing; Vol. 46, No. 9, p. 1183–1189.
- [3] *Haralick, R.M., Shanmugam, K. & I. Dinstein (1973):* Textural features for image classification. – In: IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-3, No. 6, pp. 610–621.
- [4] *Janoth, J. (1998):* MISSION – Umweltmonitoring im alpinen Raum. Endbericht an das Ministerium Für Wissenschaft und Verkehr. Salzburg 1998.
- [5] *Janoth, J. & M. Eisl (1998):* MMIPPS – Multispectral and Multitemporal Image Processing on Parallel Systems – Result Analysis Document. MMIPPS ESPRIT Project 20970, Deliverable D5.1, Issue 1.3, Salzburg 1998.
- [6] *Schardt, M. (1990):* Verwendbarkeit von Thematic Mapper-Daten zur Klassifizierung von Baumarten und natürlichen Altersklassen. Dissertation an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Freiburg, 1990.
- [7] *Bolstad, P. V. & T.M. Lillesand (1992):* Rule-based classification models: Flexible integration of satellite imagery and thematic spatial data. – In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 58, No. 7, July 1992, S. 965–971.
- [8] *Guo, L.J. & J.M. Moore (1991):* Post-classification processing for thematic mapping based on remotely sensed image data. – In: Proceedings International Conference IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, 3.–7. June 1991, Espoo, Finland, S. 2203–2206.

## Anschrift der Autoren:

Dipl. Geogr. Jürgen Janoth und Dr. Markus Eisl, Geospace GmbH, Jakob-Haringerstr.1, 5020 Salzburg. e-mail: juergen@geospace.co.at

# Strukturanalyse und lithologische Differenzierung mittels Fernerkundungsdaten für hydrogeologische Fragestellungen



Reinhard Belocky, Robert Faber, Gerhard Heiß und Martin Jung, Wien

## Zusammenfassung

Die Identifizierung von Strukturen und Lithologien bildet eine wichtige Grundlage im Rahmen hydrogeologischer Arbeiten. Im vorliegenden Projekt wurde die Eignung unterschiedlicher Fernerkundungsdaten im Hinblick auf diese Fragestellung getestet und beurteilt. Dabei erwies sich für die Strukturanalyse das digitale Geländehöhenmodell in Kombination mit aerogeophysikalischen Daten als am geeignetsten, während die lithologische Differenzierung unter den in Österreich gegebenen klimatischen Bedingungen eine Kombination unterschiedlicher Daten erfordert. Das Projekt war Teil der österreichischen Projektinitiative MISSION.

## Abstract

The identification of structures and lithologies forms an important basis for hydrogeological activities. In the present project the applicability of different remote sensing data for this problem was evaluated. For structural analysis the digital elevation model in combination with aerogeophysical data is most appropriate. For lithological discrimination under Austrian climate conditions a combination of different data is indispensable. This project is part of the Austrian project-initiative MISSION.

## 1. Einleitung und Problemstellung

Der Einsatz der Methoden der Fernerkundung im Rahmen hydrogeologischer Fragestellungen gewinnt zunehmend an Bedeutung [1], bedingt durch den Vorteil der flächenmäßigen Bearbeitbarkeit eines Gebietes, wodurch Zusammenhänge erkannt werden, die aus der Geländeperspektive nur schwer oder überhaupt nicht auszumachen sind.

Die Zielsetzung des vorliegenden Projektes umfaßt die Evaluierung der Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung für hydrogeologische Fragestellungen. Mittels Satellitenbildauswertung sollen Erkenntnisse über die hydrogeologische Situation unter besonderer Beachtung (neo)tektonischer Vorgänge gewonnen werden. Außerdem sollen die Möglichkeiten von Fernerkundungsdaten zur lithologischen Differenzierung unter den in Österreich gegebenen klimatischen Bedingungen untersucht werden. [2]

Als Testgebiet wurde der Ostteil der Böhmisches Masse unter Einbeziehung der östlichen anschließenden Molassezone gewählt, da aus diesem Bereich relativ flächendeckend aerogeophysikalische Daten existieren, die in Kombination mit den satellitengestützten Fernerkundungsdaten zu interpretieren waren.

Die Ergebnisse sind vor allem für wasserwirtschaftliche Fragestellungen sowie für die Beurteilung von Deponiestandorten von entscheidender Bedeutung.

## 2. Geologisch-hydrogeologische Übersicht

Der nördliche Teil von Niederösterreich wird vom variszischen Grundgebirge der Böhmisches Masse aufgebaut, welches in postvariszischer Zeit tiefgehend erodiert und teilweise mit terrigenen und marinen Sedimenten bedeckt wurde. Abb. 1 zeigt eine geologische Übersichtsskizze des Ostteils der Böhmisches Masse in Österreich.

Das kristalline Grundgebirge des Untersuchungsgebietes setzt sich – von W nach E – aus Gesteinen der 3 tektonischen Haupteinheiten zusammen. [3]

1. Südböhmischer Pluton (Weinsberger Granit)
2. Moldanubikum
  - Monotone Serie (einförmigen Biotit-Plagioklas-Gneise)
  - Bunte Serie (Paragneisen, mit Einschaltungen von Marmoren und Amphiboliten)
  - Gföhler Einheit (Gföhler Gneis, Granulit und Hüllserien)
3. Moravikum (Granite, Gneise, Glimmerschiefer und Marmore)

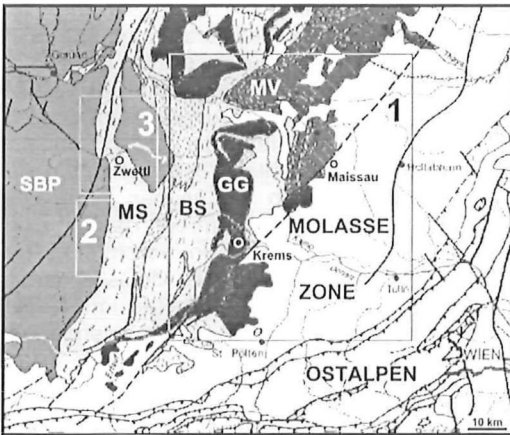


Abb. 1: Geologische Übersichtskarte des Ostteils der Böhmisches Masse [3]: SBP Südböhmischer Pluton, MS Monotone Serie, BS Bunte Serie, GG Gföhler Einheit, MV Moravikum.

Felder 1–3: Untersuchungsgebiete siehe Text:

- 1 Datenintegration: Digitales Geländehöhenmodell, Aeromagnetik, ERS-Radar Lineamentauswertung (Abb. 2)
- 2 Lithologische Differenzierung mittels digitalem Geländehöhenmodell und KFA-1000 (Abb. 4)
- 3 Lithologische Differenzierung mittels Landsat TM Hauptkomponentenanalyse (Abb. 5)

Gegen E wird das abtauchende kristalline Grundgebirge von tertiären Sedimenten der Molasse in Form von Kiesen, Sanden und Schluffen überlagert.

Die tektonischen Lineamente in der Böhmisches Masse zeigen bevorzugte Streichrichtungen von NW-SE und NE-SW. Zwei große NW-SE streichende Störungszonen sind die Vitiser Störung und die Diendorfer Störung. Bei beiden handelt es sich um Linksseitenverschiebungen, wobei die letzere einen Versetzungsbetrag von etwa 25 km aufweist. [4] In der Molassezone sind junge WNW-ESE streichende Störungen häufig, die als Extensionstektonik interpretiert werden.

Über dem kristalline Grundgebirge der Böhmisches Masse treten aufgrund der geringmächtigen Verwitterungsdecke kaum Porengrundwasserleiter auf. Im Allgemeinen besitzen kristalline Gesteine nur eine sehr geringe Wasserleitfähigkeit. Somit findet eine Grundwasserneubildung nur im Bereich von oberflächennahen aufgelockerten Verwitterungszonen, in offenen Klüften der Gesteine bzw. in tektonisierten Bereichen statt, sofern diese nicht durch Feinstmaterial wieder abgedichtet wurden. Im Gegensatz dazu ist die tertiäre Molasse reich an Porengrundwasser.

### 3. Verwendete Daten

Zur Lösung der oben dargelegten Problemstellung wurde auf ein breites Spektrum von Fernerkundungsdaten zurückgegriffen und deren Eignung für die Kartierung von Störungszonen sowie im Hinblick auf die Möglichkeit zur lithologischen Differenzierung bewertet. Als Ersatz für die nicht verfügbaren MOMS-Stereo Aufnahmen wurden panchromatische SPOT Szenen benutzt.

Sensor	Auflösung	Aufnahmedatum
Landsat TM	30 m	01/09/91
KFA-1000	10 m	25/09/91
SPOT-Pan	10 m	20/04/96
SPOT-Pan	10 m	12/03/97
ERS-1 Radar	12,5 m	20/05/96
ERS-1 Radar	12,5 m	26/07/96
Aerogeophysik	200 m	1994–98

Tab. 1: Im Rahmen des Projektes verwendete Fernerkundungsdaten.

Die Daten wurden geocodiert, wobei die KFA-1000 Aufnahme auf 10 m resampled wurde. Die Radardaten, die unterschiedliche Aufnahmewinkel aufwiesen, wurden mittels Pseudocolor-Intensitätsdarstellung kombiniert.

### 4. Lineamentanalyse

Die Strukturanalyse wurde flächendeckend für alle Bildprodukte in Form einer visuellen Interpretation am Bildschirm durchgeführt. Anschließend wurden die Lineamente nach lithologischer Einheit getrennt, richtungsstatistisch ausgewertet und in Form von Rosendiagrammen dargestellt.

#### 4.1. Bewertung der Daten

Für die Strukturauswertung erwies sich die Darstellung des digitalen Geländehöhenmodells (DEM) als beleuchtetes Relief als geeignetste. Die Shaded Relief Analyse erfolgte wegen der Geometrieeffekte durch die Beleuchtung in 8 Teilauswertungen, wobei die Beleuchtungsrichtung jeweils um 45° verändert wurde. Eine beliebige Beleuchtungsrichtung ist auf jeden Fall nicht zielführend und verfälscht das Ergebnis.

Die SPOT-3D Auswertung wurde an der Universität für Bodenkultur am Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation

durchgeführt. Mittels eines speziellen Computersystems (Intergraph ImageStation Z3000) war es möglich, die Spot-Szenen am Computer stereoskopisch darzustellen und nach Lineamenten auszuwerten. Obwohl dieses Computersystem der letzten Generation angehört, erwies es sich für eine großflächige stereoskopische Strukturauswertung, die ein rasches Wechseln von Bildausschnitt und -auflösung erfordert, im Routinebetrieb zu als langsam.

Die Auffindung und Kartierung geologischer Störungszonen in optischen Aufnahmen in von dichter Vegetation bedeckten und/oder anthropogen stark beeinflussten Gegenden stellt ein relativ schwieriges Unterfangen dar. Die hohe Bodenaufklärung läßt zwar Unterscheidungen in der Vegetation zu, täuscht aber andererseits oft Lineamente vor, die nicht geologisch bedingt sind. Hier ist der Auswerter auf die Fähigkeit angewiesen, dreidimensionale Geländestrukturen aufgrund des Bewuchses sowie der Beleuchtungsverhältnisse zu identifizieren. Flächige Unterschiede in Landform und Bewuchs können Störungszonen in Form von tektonischen Grenzflächen zwischen unterschiedlichen Gesteinsserien anzeigen, genauso gut aber auch auf rein lithologische Unterschiede zurückzuführen sein.

Das Radar-Komposit zeigt, wenn auch im Vergleich zum DEM deutlich abgeschwächt, die meisten morphologischen Charakteristika (vergl. Abb. 2). In Gebieten, wo kein DEM verfügbar ist, bilden solche Radar-Komposits eine brauchbare Alternative.

#### 4.2. Ergebnisse der Lineamentanalyse

Grundsätzlich ergibt die Lineamentauswertung der unterschiedlichen Daten differierende Ergebnisse. Es kann in erster Näherung von einem Gesamtstrukturinventar gesprochen werden, daß durch die Daten des DEM repräsentiert wird. Die Auswertung der anderen Daten ergibt jeweils unterschiedliche Teilmengen dieses Gesamtstrukturinventars, bedingt durch die unterschiedliche Charakteristik der einzelnen Sensoren. Eine Ausnahme bilden teilweise relativ langgestreckte Lineamente, die in den optischen Daten aufgrund unterschiedlicher Landnutzung identifiziert wurden, in den „morphologischen“ Daten jedoch nicht zu erkennen sind. Diese Strukturelemente bilden häufig lithologische Grenzen ab, sind teilweise jedoch auf andere Ursachen zurückzuführen.

Die Lineamente des Weinsberger Granit weisen eine Hauptstreichrichtung von NNE-SSW bzw. N-S, sowie eine Nebenrichtung von NW-SE auf. In der Monotonen/Bunten Serie ist eben-

falls die Hauptrichtung mit NNE-SSW ausgebildet, zusätzlich treten Streichrichtungen bei NW-SE und NE-SW auf. In der Gföhler Einheit, im Moravikum und in der Molasse tritt das NE-SW streichende Diendorfer Störungssystem deutlich hervor, speziell wenn man die längengewichteten Richtungen betrachtet. Zusätzlich tritt in diesen 3 Einheiten noch ein flaches WNW-ESE streichendes Störungssystem auf, das mit einer jungen Extensionstektonik in Verbindung gebracht werden kann, die die Molassezone in das Wiener Becken hinein erfaßte. Im Moravikum ist auch noch eine NW-SE streichende Störungsrichtung zu beobachten.

## 5. Aerogeophysik

Im Rahmen der geophysikalischen Landesaufnahme wurde in den Jahren 1986 bis 1997 der Ostrand der Bömischen Masse und das angrenzende tertiäre Molassebecken aeromagnetisch vermessen. [5, 6]

### 5.1. Strukturauswertung

Die Integration der aeromagnetischen Daten mit einer Reliefdarstellung des DEM bietet erste Ansätze zu einer strukturellen Interpretation. Deutlich ist in Abb. 2 die SW-NE verlaufende Diendorfer Störung im Bereich des Dunkelsteiner Waldes und SW davon zu erkennen. Gegen NW wird die Störung von Molassesedimenten überdeckt. Aerogeophysikalische Aufnahmen dieses Gebietes zeigen ebenfalls eine auffällige SW-NE streichende Struktur. In Abb. 2 wurden die aerogeophysikalischen Daten mittels Bildverarbeitungsmethoden so bearbeitet, daß die strukturellen Elemente hervortreten, und als pseudocolorcodierte Intensitätsdarstellung mit dem DEM integriert. Deutlich ist zu erkennen, daß sich die Diendorfer Störung im Bereich der Molasse nördlich der Donau in der Aeromagnetik abbildet.

Die Möglichkeiten zur direkten visuellen strukturellen Auswertung aeromagnetischer Daten ist in der ursprünglichen Form der Datendarstellung als farblich codierte Isolinienplots der magnetischen Totalintensitäten nur eingeschränkt möglich. In dieser Darstellungsart, die vor allem zur Visualisierung und Auswertung flächenhafter Anomalien geeignet ist, ist die Identifikation linearer struktureller Elemente sehr stark von der Farbgebung und Farbabstufung in der Darstellung abhängig. Aufgrund dieser Überlegung wurde die Isoanomalien-Darstellung der Aeromagnetik in eine Darstellung des Aspekts (der „Einfallsrichtung“) des magnetischen Gradienten



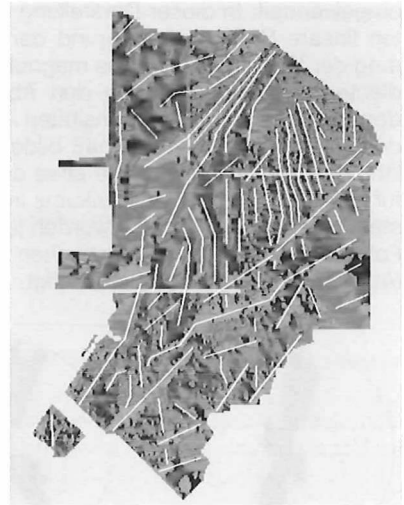


Abb. 2: Datenintegration (Ostrand Böhmi-  
sche Masse - Molassezone): Digitales  
Geländehöhenmodell in Reliefdarstellung,  
magnetische Totalintensität in Pseudoco-  
lor-darstellung und Lineamentauserwertung  
der ERS Radardaten (links).

Abb. 3: Strukturelle Interpretation des  
Aspekts der magnetischen Totalintensität  
(oben).

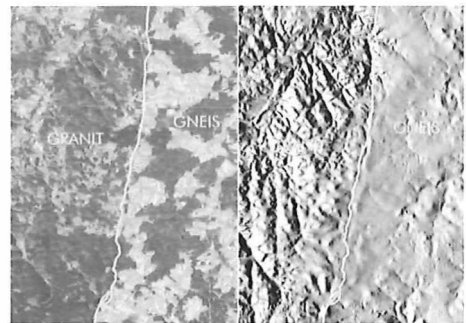
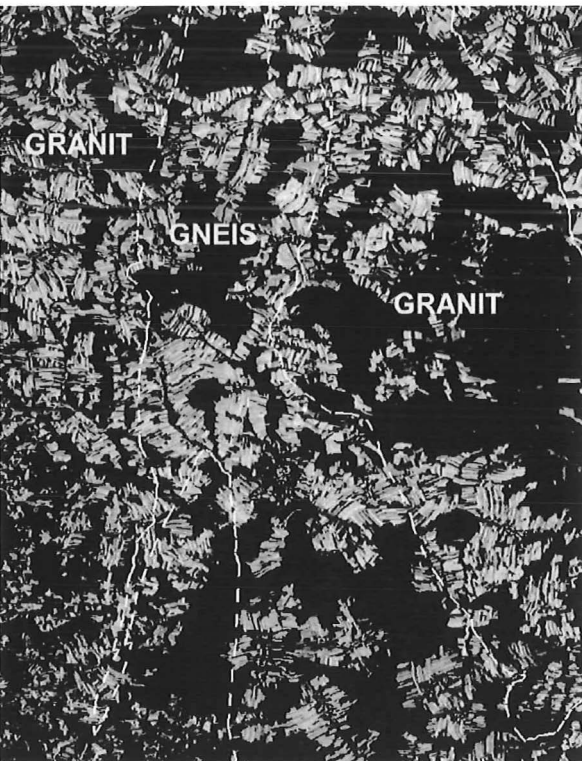


Abb. 5: Differenzierung lithologischer Einheiten  
(Weinsberger Granit bzw. Gneise der Monoto-  
nen Serie) im Gebiet Weinsberg - Rapottenstein  
über Unterschiede im Hinblick auf Landnutzung  
(KFA-1000, links oben) und Morphologie (digi-  
tales Geländehöhenmodell, rechts oben).

Abb. 6: Differenzierung lithologischer Einheiten  
(Weinsberger Granit bzw. Gneise der Monoto-  
nen Serie) im Raum Zwettl mittels der spektra-  
len Charakteristika des Bodens. RGB Dar-  
stellung der Landsat TM Hauptkomponentenana-  
lyse, vegetationsbedeckte Flächen maskiert  
(links).

umgewandelt. In dieser Darstellung (Abb. 3) treten lineare Strukturen aufgrund der Farbcodierung der Einfallsrichtung des magnetischen Gradienten – unabhängig von den Absolutwerten der magnetischen Totalintensitäten – wesentlich deutlicher hervor. Naturgemäß bilden sich auch lithologische Strukturen, wie etwa die magnetitführenden Serien des Moravikums in dieser Darstellung deutlich ab, diese wurden jedoch in der Folge bei der richtungsstatistischen Auswertung (Abb. 4) nicht weiter berücksichtigt.

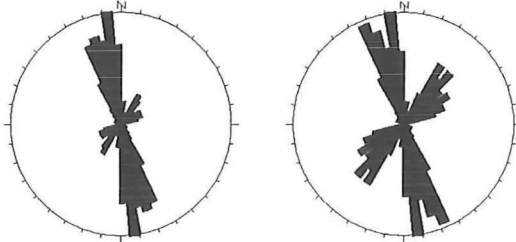


Abb. 4: Rosen-Diagramme (li.: Richtungen, re.: längennormierte Richtungen) der Strukturelemente der aeromagnetischen Vermessung der Molassezone am Ostrand der Böhmisches Masse.

Als Hauptrichtungen treten NNW-SSE und NE-SW gerichtete Strukturen deutlich hervor, wobei die NE-SW gerichteten „Diendorfer“-Strukturen sich aufgrund ihrer geringeren Anzahl aber weitaus größeren Länge von ersteren unterscheiden.

## 6. Lithologische Klassifizierung

Obwohl eine lithologische Klassifizierung aufgrund der in unseren Breiten dominierenden Vegetationsbedeckung grundsätzlich als schwierig zu bezeichnen ist, wurde im folgenden versucht, mögliche lithologische Unterschiede hinsichtlich Landnutzung (KFA-1000), Morphologie (DEM), sowie spektraler Natur (Landsat TM) herauszuarbeiten.

### 6.1. Landnutzung und Morphologie

In Gebiet Weinsberg – Rapottenstein treten die Unterschiede zwischen Weinsberger Granit im W und den Paragneisen der Monotonen Serie im E aufgrund der Unterschiede in der Oberflächenstruktur sowie der Landnutzung deutlich zutage (Abb. 5). Das Granitgebiet zeigt mit seiner aufgrund der starken Zerklüftung wesentlich rauheren Geländestruktur eine relativ kleinräumige Landnutzung (Wald-Feld Verteilung), während über Gneis aufgrund der schwächeren Klüftung und stärkeren Verwitterung großräumige

gere Wechsel von land- bzw. forstwirtschaftlich genutzten Flächen auftreten.

### 6.2. Spektrale Charakteristika

Zum Aufnahmezeitpunkt der verwendeten Landsat Szene waren die meisten Felder bereits abgeerntet, sodaß zu erwarten war, neben der Vegetation zum Teil die spektrale Information des Bodens als Ausdruck der Verwitterung des darunterliegenden Gesteinseinheit mit Hilfe der Landsat Sensors zu erfassen.

Um diese Information möglichst rein zu erhalten, wurden sämtliche vegetationsbedeckten Flächen (Wald, Grünland) sowie Wasserflächen im Testgebiet (Umgebung von Zwettl) mittels nicht überwachter Klassifikation maskiert. Mit den so erhaltenen Daten der brachliegenden Ackerflächen wurde eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt. Die ersten 3 Hauptkomponenten zeigen die spektralen Unterschiede des Bodens über Weinsberger Granit bzw. den Gneisen der Monotonen Serie. Die Differenzierungsmöglichkeiten anhand der einzelnen Hauptkomponenten ist jedoch nur lokal gegeben. Aus diesem Grund wurde in Abb. 5 eine RGB-Darstellung der ersten 3 Hauptkomponenten gewählt. Die Anwendung des Crosta-Verfahrens [7] deutet auf einen höheren Tongehalt des aus den Gneisen hervorgegangenen Verwitterungsproduktes hin.

## 7. Diskussion der Ergebnisse

Im vorliegenden Projekt wurden Methoden zur Identifizierung und Charakterisierung tektonischer Lineamente unter Einbeziehung einer breiten Palette von Fernerkundungsdaten satellitengestützter sowie hubschraubergestützter Sensoren erprobt. Zusätzlich wurden auch die lithologischen Charakteristika von Morphologie, spezifischer Landnutzung und spektraler Information erfaßt.

Die Ergebnisse der Lineamentanalysen der unterschiedlichen Bildprodukte wurden der Reliefdarstellung DEM mit verschiedenen Beleuchtungsrichtungen verglichen. Hier zeigt sich, daß das DEM aufgrund der verschiedenen Beleuchtungsmöglichkeiten gegenüber den übrigen Fernerkundungsdaten einen nicht zu vernachlässigenden Vorteil besitzt, da die Satellitendaten, seien es Radardaten oder Daten andere Sensoren, deutlich von der Ausrichtung und Neigung der Aufnahmesensoren bzw. der Exposition abhängig sind. Dadurch können manche Richtun-

gen scheinbar dominieren während andere in den Hintergrund treten.

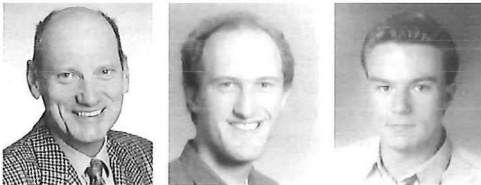
Eine lithologische Differenzierung geologischer Einheiten ist in unseren Breiten mit den momentan zur Verfügung stehenden Fernerkundungsdaten nur bedingt möglich. Alle verwendeten Verfahren waren nur lokal anwendbar, zeigen dort aber Möglichkeiten auf, die auf der Basis der voraussichtlich in den nächsten Jahren zur Verfügung stehenden hyperspektralen Fernerkundungsdaten auch unter den in Österreich gegebenen klimatischen Verhältnissen mineralogisch-lithologische Differenzierungsmöglichkeiten auf der Basis von Fernerkundungsdaten erwarten lassen.

In Gebieten, in denen die als Grundwasserspeicher dienende Lockergesteinsauflage nur geringmächtig ausgebildet ist, beeinflussen Störungszonen aufgrund ihrer bevorzugten Wasserwegigkeit maßgeblich das hydrogeologische Regime. Setzen sich Störungszonen aus den Festgesteinen in Sedimentbecken fort und sind diese (sub)rezent noch aktiv, so ist zu erwarten, daß das hydrogeologische Regime der Sedimentbecken durch diese Störungssysteme beeinflusst wird. Strukturvergleiche zwischen Satellitenbilddaten und aerogeophysikalischen Verfahren in Verbindung mit geologischen Basisdaten ermöglichen die indirekte Identifizierung von

Lithologien und Strukturen unter Sedimentbedeckung. Dies gibt Aufschluß über Wegigkeiten und Speicherkapazitäten oberflächennaher Grundwasserleiter und stellt eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die Grundwasserprospektion dar.

#### Literatur

- [1] Engman, E.T. & Gurney, R.J. (1991): Remote Sensing in Hydrology. – 225 pp., London.
- [2] Belocky R., Heiss G. & Salzer F. (1997): Structural analysis and lithological classification in humid areas using satellite remote sensing and airborne geophysics – a case study from the Bohemian Massif / Lower Austria. – In: Checci G., Engman E.T. & Zilioli E. (eds.): „Earth Surface Remote Sensing.“ – Proceedings of SPIE Vol. 3222, 351–356
- [3] Oberhauser, R. (1980): Der geologische Aufbau Österreichs., Springer, Wien New York, 1980
- [4] Schermann, O. (1965): Über Horizontalseitenverschiebungen am Ostrand der Böhmischen Masse. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. 16
- [5] Seiberl, W. & Heinz, H. (1986): Aerogeophysikalische Vermessung im Bereich der Kremser Bucht. – Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-006d/81, 42 Bl, 12 Abb., 7 Beil, Geol. B.-A., Wien
- [6] Seiberl, W., Rötzel, R. & Pirkl, H. (1996): Aerogeophysikalische Vermessung im Bereich von Pulkau/NÖ.-Vollzug des Lagerstättengesetzes: Projekt ÜLG-20/94-1, 52 S., 8. Abb., 10 Beil, Geol. B.-A., Wien
- [7] Crosta, A.P. & Moore, J. McM. (1989): Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: A Prospecting case history in greenstone belt terrain. – Proceedings of the 7th (ERIM) Thematic Conference: Remote Sensing for Exploration Geology, Calgary, 2–6 Oct, pp. 1173–1187



## Automatische Extraktion von Straßen aus digitalen Luftbildern<sup>1</sup>

Heinrich Ebner, Albert Baumgartner und Carsten Steger, München

### Zusammenfassung

In diesem Artikel wird ein Ansatz zur automatischen Extraktion von Straßen aus digitalen Luftbildern präsentiert. Der Ansatz beruht auf der Verwendung verschiedener Auflösungsstufen des Luftbildes. Die Straßen werden als Netz modelliert, das aus Kreuzungen und aus Verbindungen zwischen diesen Kreuzungen besteht. Für verschiedene sogenannte „globale Kontexte“, d.h. offene Landschaft, Wald und Siedlung, werden Relationen zwischen Hintergrundobjekten, wie Gebäuden oder Bäumen, und Straßenobjekten, wie Straßenabschnitten, modelliert. Die Relationen, wie z.B. der Schattenwurf von Gebäude auf Straßenabschnitt, bestimmen sogenannte „lokale Kontexte“. Die automatische Unterteilung des Luftbildes in globale Kontexte dient dazu, die Extraktion auf die erfolgversprechendsten Regionen zu fokussieren und ermöglicht Aussagen darüber, in welchen Bereichen des Luftbildes das Ergebnis am zuverlässigsten ist. Für die Straßenextraktion werden Kanten im ursprünglichen Bild hoher Auflösung (0,2 – 0,5 m) und Linien in einem auflösungsreduzierten Bild extrahiert. Unter Verwendung beider Auflösungsstufen und expliziten Wissens über Straßen werden Hypothesen für Straßenabschnitte generiert. Diese werden in einem iterativen Verfahren zu langen Verbindungen gruppiert. Neben reinen Gruppierungsverfahren werden zum Schließen von Lücken auch Wissen über den lokalen Kontext und sogenannte „Ribbon-Snakes“ genutzt. Die Vernetzung der Straßen erfolgt durch die Extraktion von Kreuzungen. Die dargestellten Beispiele und die Ergebnisse einer Evaluierung auf Grundlage manuell erfaßter Referenzdaten zeigen die Leistungsfähigkeit des Verfahrens.

<sup>1</sup> Vortrag von Prof. Ebner anlässlich der Verleihung der Friedrich-Hopfner-Medaille am 15. Mai 1998 an der TU-Wien

## Abstract

This paper presents an approach for the automatic extraction of roads from digital aerial imagery. The approach makes use of several versions of the aerial image having different resolutions. Roads are modeled as a network of intersections and links between these intersections. For different so-called „global contexts“, i.e., rural, forest, and urban area, the model describes relations between background objects, e.g., buildings or trees, and road objects, e.g., road-segments. The relations, e.g., the casting of a shadow from a tree on a road-segment, determine so-called „local contexts“. The automatic segmentation of the aerial imagery into different global contexts is used to focus the extraction to the most promising regions and additionally allows to predict in which parts of the image the results are most reliable. For the actual extraction of the roads edges are extracted in the original high resolution image (0.2 – 0.5 m) and lines in an image of reduced resolution. Using both resolution levels and explicit knowledge about roads, hypotheses for road-segments are generated. They are grouped iteratively to larger segments. In addition to grouping algorithms also knowledge about the local context and so-called „Ribbon-Snakes“ are used to bridge gaps. To construct the road network, finally intersections are extracted. The given examples and the results of an evaluation based on manually plotted reference data indicate the potential of the approach.

## 1. Einleitung

In der digitalen Photogrammetrie gibt es operationelle automatische Lösungen für geometrische Aufgaben. Dies sind z.B. die Messung von Rahmenmarken und das Auffinden homologer Punkte für die Bestimmung der relativen Orientierung, für die Generierung eines digitalen Oberflächenmodells, oder für die automatische Aerotriangulation. Semantische Aufgaben, wie Aufbau und Fortführung Geographischer Informationssysteme (GIS), müssen bisher immer noch von einem Operateur manuell erledigt werden. Dies ist zeitaufwendig und teuer. Daher sind automatische Lösungen hochwillkommen.

Forschungsarbeiten, die sich mit der automatischen Extraktion von topographischen Objekten aus Luft- und Satellitenbildern befassen, gibt es bereits seit den siebziger Jahren. Ziel ist hierbei heutzutage die Fortführung von GIS-Daten. Auch wenn die Objektextraktion für die GIS-Fortführung durch die Verwendung vorhandener GIS-Daten erleichtert werden kann, beschränkt sich der hier vorgestellte Ansatz dennoch auf die Extraktion von Objekten (hier: Straßen) ohne die Verwendung dieser Daten. Dafür gibt es mehrere Gründe: Eine automatische Extraktion ohne Verwendung von Vorwissen zeigt die Möglichkeiten und Grenzen eines Extraktionsverfahrens wesentlich besser als eine GIS-gesteuerte Extraktion und kann daher einen wichtigen Beitrag zum besseren Verständnis der Probleme der automatischen Bildinterpretation leisten. Weiterhin ist es für die GIS-Fortführung ohnehin unumgänglich, daß auch neue Objekte extrahiert werden, für die es keine Vorinformation gibt.

Einen guten Überblick über Modelle und Strategien zur Straßenextraktion gibt [5]. Die am meisten verbreiteten Vorgehensweisen sind die Extraktion und Verfolgung von Linien in Bildern niedriger Auflösung (z.B. [3]) und die Zuordnung

von Profilen sowie die Detektion von Straßenrändern in Form von (anti-)parallelen Kanten in Bildern hoher Auflösung (z.B. [10]). Die verschiedenen Ansätze verwenden spezielle Methoden und zusätzliches Wissen, wie z.B. geometrische Bedingungen, auf unterschiedliche Art und Weise.

Werden die Relationen zwischen Straßen und anderen Objekten, wie Fahrzeugen, Gebäuden oder Bäumen, außer Acht gelassen, so ist eine zuverlässige Extraktion meist nicht möglich. Diese Hintergrundobjekte haben oft einen starken Einfluß auf die Charakteristik der Straßen, oder zumindest auf ihr Aussehen in Luftbildern: So werfen z.B. hohe Objekte Schatten und können Verdeckungen verursachen. Durch die Verwendung von Kontext-Information, wie in [1], können Extraktionsalgorithmen besser gesteuert werden. Im Extremfall ist die Straßenextraktion nicht mehr durch Verfolgung von Linien oder Detektion von Straßenrändern möglich, sondern muß wie in [8] durch die Erkennung und Gruppierung von Fahrzeugen, d.h. Hintergrundobjekten, erfolgen.

Die Eigenschaften von Straßen unterscheiden sich in verschiedenen Auflösungsstufen und in verschiedenen globalen Kontexten. In dem hier vorgestellten Verfahren werden im ursprünglichen, hochaufgelösten Bild Kanten, in einem auflösungsreduzierten Bild Linien extrahiert. Unter Verwendung beider Auflösungsstufen und expliziten geometrischen und radiometrischen Wissens über Straßen, werden Hypothesen für Straßenränder abgeleitet, und daraus Straßenabschnitte generiert. Straßenabschnitte sind semantische Objekte mit Attributen und zugeordneten Methoden. Die Fähigkeit eines Straßenobjekts, explizit eine spezifische Region zu repräsentieren, erleichtert die Suche nach zusätzlicher Evidenz, wie z.B. Fahrbahnmarkierungen. Verbindungen zwischen zwei Kreuzungen werden aus Straßenabschnitten aufgebaut. Die At-

tribute und Methoden der Straßenobjekte variieren entsprechend dem Kontext. Zur Beschreibung der verschiedenen Erscheinungsformen von Straßen werden hier drei „globale Kontexte“ unterschieden: Siedlung, Wald, Offene Landschaft. Für jeden globalen Kontext werden spezifische Relationen zwischen Straßenobjekten und Hintergrundobjekten berücksichtigt, welche hier als „lokale Kontexte“ bezeichnet werden.

Das Straßenmodell und die verschiedenen lokalen Kontexte werden im Abschnitt 2 dargestellt. Abschnitt 3 erläutert neben der grundlegenden Beschreibung der Strategie für die Extraktion die für den hier präsentierten Ansatz charakteristischen Elemente. An eine Bewertung der Ergebnisse in Abschnitt 4 schließt sich ein kurzer Ausblick an.

## 2. Modell

Um Straßen aus einem digitalen Luftbild extrahieren zu können, ist es notwendig, eine klare Vorstellung von dem Objekt „Straße“ zu haben. Hier umfaßt das Modell explizites Wissen über Geometrie (Straßenbreite, Parallelität der Straßenränder, ...), Radiometrie (Reflexionseigenschaften), Topologie (Netzstruktur) und Kontext (Relationen mit anderen Objekten, wie z.B. Gebäuden und Bäumen). Das nachfolgend beschriebene Modell ist in zwei Teile gegliedert: Ein Teil beschreibt die charakteristischen Eigenschaften von Straßen in der realen Welt und im Luftbild und leitet daraus ein Straßenmodell ab (Abschnitt 2.1). Der andere Teil definiert verschiedene lokale Kontexte und weist diese verschiedenen globalen Kontexten zu (Abschnitt 2.2).

Auf diese Weise wird das komplexe Modell für das Objekt Straße in Teilmodelle zerlegt, die an den jeweiligen globalen Kontext angepaßt sind. Diese Teilmodelle betonen bestimmte Eigenschaften und können daher als spezialisierte Modelle betrachtet werden.

### 2.1. Straßen

Straßen in der realen Welt: Die Beschreibung von Straßen in der realen Welt kann zuerst aus ihrer Funktion für die Menschen abgeleitet werden. Straßen erschließen die Erdoberfläche und erscheinen daher als Netz, das von Menschen besiedelte und bewirtschaftete Gebiete verbindet. Je dichter ein Gebiet bewohnt und je intensiver es genutzt ist, desto dichter ist das Straßennetz. Entsprechend ihrer Bedeutung werden die einzelnen Teile des Straßennetzes in ver-

schiedene Kategorien mit unterschiedlichen Attributen eingeteilt. Je nach Kategorie unterscheiden sich die Straßen u.a. hinsichtlich minimalem Krümmungsradius und maximal zulässiger Steigung. Informationen über Art und Zustand des Fahrbahnbelags, Existenz von Markierungen, Geh- und Radwegen, oder rechtliche Bestimmungen (Straßenbezeichnung, Verkehrsvorschriften) sind als Attribute für einzelne Teile einer Straße von Bedeutung.

Straßen in Luftbildern: Das Aussehen von Straßen in Bildern hängt von den spektralen Eigenschaften des verwendeten Sensors und dessen Auflösung im Objektraum ab. Der hier vorgestellte Ansatz zur Straßenextraktion ist zunächst auf Schwarzweißbilder bzw. die Verwendung eines einzigen Farbkanals beschränkt und es werden nur Abhängigkeiten von der Auflösung berücksichtigt. In Bildern niedriger Auflösung, d.h. mehr als 2 m pro Pixel, erscheinen Straßen meist als Linien, die ein mehr oder weniger dichtes Netz bilden. In Bildern höherer Auflösung dagegen, d.h. bei weniger als ca. 0.50 m, erscheinen Straßen als langgestreckte homogene Flächen mit relativ konstanter Breite. In der originalen, höheren Auflösung ist die erreichbare geometrische Genauigkeit deutlich besser. Jedoch wird die Straßenextraktion durch Hintergrundobjekte, wie Fahrzeuge, Bäume oder Gebäude stark gestört.

In einem geglätteten Bild – was der reduzierten Auflösung entspricht – können Linien, die Straßenachsen repräsentieren, teilweise auch in Gegenwart dieser störenden Hintergrundobjekte noch sicher extrahiert werden. Durch die Glättung werden Detailstrukturen der Straße, wie z.B. ein Fahrzeug auf der Straße oder auch Objekte wie Fahrbahnmarkierungen, eliminiert. Dies kann als Abstraktion interpretiert werden, d.h. das Objekt Straße wird vereinfacht und seine grundlegenden Eigenschaften werden hervorgehoben [6].

Straßenmodell: Aus dem letzten Absatz folgt, daß die Fusion der Ergebnisse einer Straßenextraktion in reduzierten und hoch aufgelösten Bildern dazu beitragen kann, die Zuverlässigkeit zu erhöhen. Zudem können Details wie Fahrbahnmarkierungen, welche bei einer Auflösung von 0.20 m oder weniger zu erkennen sind, als zusätzliche Evidenz zur Bestätigung von Straßenhypothesen genutzt werden. Die Verwendung mehrerer Auflösungsstufen erhöht einerseits die Robustheit der Straßenextraktion, andererseits ergibt sich daraus die Notwendigkeit, verschiedene Merkmale in den einzelnen Auflösungsstufen zu verwenden und die Merkmale al-

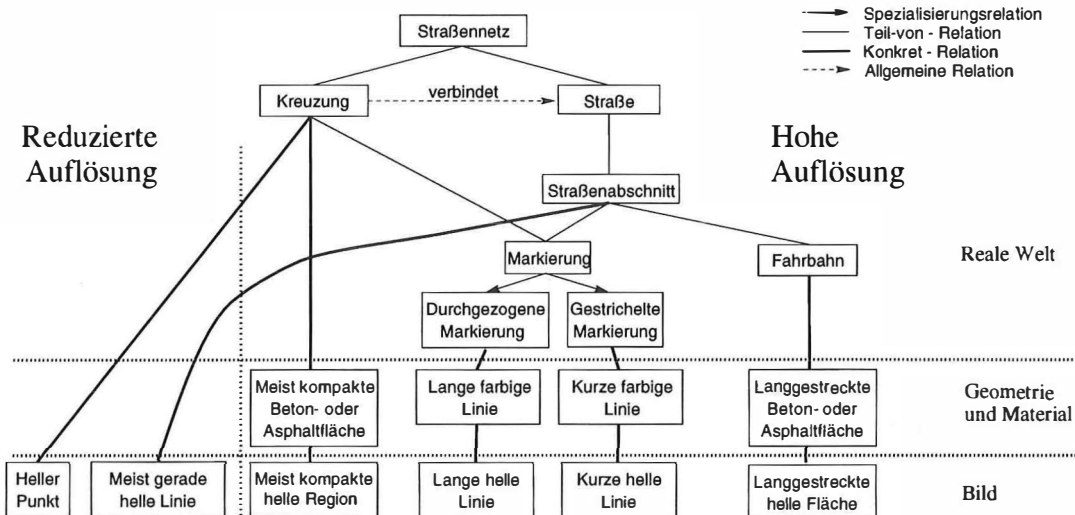


Abb. 1: Straßenmodell

ler Auflösungsstufen in einem Modell zu vereinen. Dies führt zu dem in Abbildung 1 dargestellten Straßenmodell.

Das Modell beschreibt die Objekte als „Konzepte“. Es ist in drei Ebenen aufgeteilt, die unterschiedliche Sichtweisen beschreiben. Die reale Welt-Ebene stellt die zu extrahierenden Objekte und ihre Relationen dar. Auf dieser Ebene besteht das Straßennetz aus Kreuzungen und Straßen, die diese Kreuzungen miteinander verbinden. Die Straßen bestehen aus kürzeren Segmenten, den Straßenabschnitten. In der hohen Auflösung bestehen die Straßenabschnitte aus Fahrbahnen und Markierungen. Die Konzepte der realen Welt sind mit den Konzepten der Geometrie- und Material-Ebene über die Konkret-Relation gekoppelt, welche Konzepte verbindet, die gleiche Objekte auf verschiedenen Ebenen repräsentieren. Die Geometrie- und Material-Ebene dient als Zwischenebene, in der die 3D-Gestalt und Materialeigenschaften der Objekte repräsentiert werden. Der Vorteil dieser Ebene besteht darin, daß Objekte – anders als in der Bild-Ebene – unabhängig von Sensoreigenschaften und Blickrichtung beschrieben werden. In der reduzierten Auflösung sind die Straßenabschnitte mit den „meist geraden hellen Linien“ der Bild-Ebene verbunden. Im Gegensatz dazu ist die Fahrbahn als Teil eines Straßenabschnitts in der hohen Auflösung mit der „langgestreckten hellen Fläche“ der Bild-Ebene über die „langgestreckte Beton- oder Asphaltfläche“ der Geometrie- und Material-Ebene verbunden.

Während die hohe Auflösung detaillierte Information liefert, fügt die reduzierte Auflösung glo-

bale Information hinzu. Im Rahmen der Fusion der Information beider Auflösungen können aufgrund der Abstraktion in der reduzierten Auflösung richtige Hypothesen für Straßen hinzugefügt und falsche eliminiert werden, während aus der hohen Auflösung Details gewonnen werden, wie z.B. die exakte Position und Breite der Straße oder Markierungen. Auf diese Weise können die Vorteile beider Auflösungen verschmolzen werden.

## 2.2. Kontext

Das vorgestellte Straßenmodell enthält Wissen über radiometrische, geometrische und topologische Eigenschaften von Straßen. Dies wird hier um den Kontext erweitert. Hintergrundobjekte, wie Gebäude, Bäume und Fahrzeuge können einerseits die Straßenextraktion unterstützen (z.B. führt zu einem Haus i.d.R. auch ein Weg), andererseits aber auch behindern (z.B. kann ein Haus einen Teil einer Straße verdecken; Hausdächer können ähnlich aussehen wie Straßen). Die Wechselwirkungen zwischen Straßen- und Hintergrundobjekten werden hier lokal und global modelliert.

**Lokaler Kontext:** Im lokalen Kontext werden typische Beziehungen zwischen einzelnen Straßenobjekten und Hintergrundobjekten modelliert. Situationen, in denen die Straßenextraktion durch Hintergrundobjekte lokal erschwert wird, sind in der offenen Landschaft z.B. Zufahrten zu Feldern oder einzelne Fahrzeuge auf der Fahrbahn. In Siedlungen treten dagegen Probleme eher durch Zufahrten zu Gebäuden auf. Ge-

bäude sind ihrerseits meist parallel zu den Straßen ausgerichtet. In Siedlungen gibt es zudem auch eine Reihe von anderen Objekten, die parallel zu Straßen verlaufen, wie z.B. Geh- und Radwege, und die die Extraktion ebenfalls behindern, aber auch unterstützen können. Für den lokalen Kontext werden diese Situationen in Form von Skizzen beschrieben. Der lokale Kontext Verdeckung\_Schatten (Abb. 2) beschreibt z.B. einen Fall, in dem ein hohes Objekt einen Teil der Straße verdeckt oder abschattet, so daß zunächst nur zwei unverbundene Straßenabschnitte gefunden werden. Weitere lokale

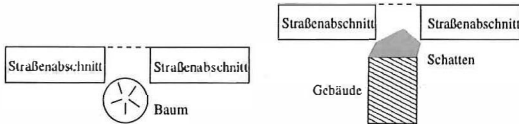


Abb. 2: Lokaler Kontext Verdeckung\_Schatten

Kontexte sind Zufahrt\_zu\_Feld, Zufahrt\_zu\_Gebäude, Fahrzeug\_auf\_Fahrbahn oder Geh-/Radweg\_parallel\_zu\_Straße. Diese beispielhaft angeführten lokalen Kontexte können zu komplexeren lokalen Kontexten aggregiert werden, in denen dann z.B. Verdeckung\_Schatten und Zufahrt\_zu\_Gebäude miteinander interagieren.

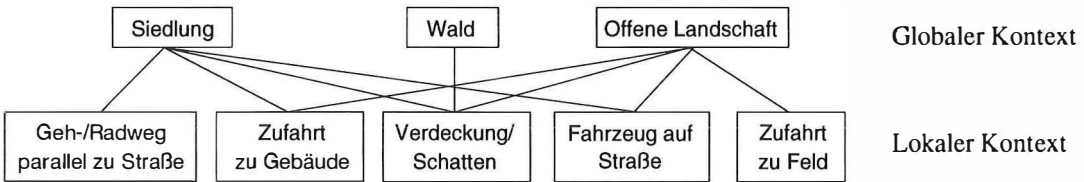


Abb. 3: Globaler und lokaler Kontext

**Globaler Kontext:** Nicht jeder lokale Kontext muß überall in Betracht gezogen werden. Die Relationen zu Hintergrundobjekten und deren Relevanz für die Straßenextraktion hängen auch von den Gebieten ab, in denen sie auftreten. So haben Straßen in bebauten Gebieten ein deutlich anderes Erscheinungsbild als im Wald oder in der aus Wiesen und Feldern aufgebauten offenen Landschaft. Die Unterschiede im Erscheinungsbild sind zum Teil auch Ausprägung der unterschiedlichen Beziehungen zwischen Straßen und Gebäuden. So stehen Gebäude meist um so näher an den Straßen und sind umso stärker parallel zu ihnen ausgerichtet, je dichter die Bebauung ist. Daher ist es sinnvoll, unterschiedliche lokale Kontexte, d.h. Merkmale und Relationen, nicht nur für verschiedene Auflösungsstufen, sondern auch für verschiedene Gebiete, d.h. globale Kontexte, zu verwenden. Hier werden im folgenden Siedlung, Wald und

Offene Landschaft unterschieden. Der globale Kontext ist nicht nur für die Relevanz und Ausprägung des lokalen Kontexts von Bedeutung. Auch die Extrahierbarkeit der Objekte hängt von ihm ab. Verfahren, die für die Straßenextraktion in der offenen Landschaft gut geeignet sind, sind zumindest nicht ohne weiteres auf die anderen globalen Kontexte übertragbar. In Wald und Siedlung können andere Parametereinstellung zu besseren Ergebnissen führen, meist sind aber komplett andere Ansätze erforderlich. Eine Zuweisung verschiedener lokaler Kontexte zu globalen Kontexten ist in Abbildung 3 dargestellt.

Eng verbunden mit der Verwendung von Kontextwissen ist die Frage nach der Quelle für die zusätzliche Information. Da hier die Extraktion von Straßen im Vordergrund steht, sind die Anforderungen an Genauigkeit und Detaillierungsgrad der Information über die Hintergrundobjekte nicht allzu hoch. Diese Information kann entweder aus einem vorhandenen GIS übernommen werden, oder aber aus dem Bild selbst extrahiert werden. Letzteres hat den Vorteil, daß sich keine zusätzlichen Probleme durch veraltete GIS-Daten ergeben. Durch die Zuhilfe-

nahme eines aus zwei und mehreren Bildern automatisch generierten digitalen Oberflächenmodells (DOM) kann ein wesentlicher Teil der für die Straßenextraktion problematischen Situationen erklärt werden. Z.B. können einzelne hohe Objekte im DOM detektiert werden. Unter Verwendung der Information über Aufnahmeort und -zeitpunkt lassen sich anhand des DOM abgeschattete und verdeckte Bereiche bestimmen. Eine Unterteilung des Luftbildes in globale Kontexte zur Steuerung der Straßenextraktion kann entweder aus einem GIS übernommen, oder durch eine Segmentierung des Bildes erreicht werden.

### 3. Strategie

Neben der statischen Modellierung von Straßen und deren Kontext spielt die Strategie, d.h.

das Wissen darüber, welches Modellwissen wann eingesetzt werden soll, eine zentrale Rolle für die Leistungsfähigkeit des Ansatzes. In diesem Abschnitt erfolgt zunächst eine allgemeine Beschreibung der Vorgehensweise zur Extraktion von Straßen. Anschließend werden anhand von Beispielen einzelne Teilschritte ausführlicher erläutert.

Die grundlegende Strategie des hier vorgestellten Extraktionsverfahrens besteht darin, die Extraktion auf die Teile des Straßennetzes zu fokussieren, die am einfachsten und sichersten zu erkennen sind, und die zudem einen großen Einfluß auf die weitere Erkennung haben. Welche Merkmale am auffälligsten sind und sich damit für die Extraktion am besten eignen, hängt stark davon ab, in welchem Kontext Straßen extrahiert werden sollen. In Siedlung und Wald reicht Wissen über Geometrie und Radiometrie wegen der Schatten- und Verdeckungsprobleme häufig nicht aus. Andererseits können bereits mit einem relativ einfachen Modell, das nur Wissen über Eigenschaften von Straßen selbst berücksichtigt, für die offene Landschaft relativ gute Ergebnisse erwartet werden.

Entsprechend diesen Überlegungen beginnt die Straßenextraktion in der offenen Landschaft. Die (Zwischen-)Ergebnisse nach diesem Schritt können dann genutzt werden, um die Straßenextraktion in Siedlung und Wald weiterzuführen. Die Unterteilung des Luftbildes in die verschiedenen globalen Kontexte erfolgt mit Hilfe einer texturbasierten Segmentierung. Gemäß dem Straßenmodell wird neben der Originalauflösung von 0.20–0.50 m ein auflösungsreduziertes Bild verwendet, in dem die Straßen nur wenige Pixel breit sind. Mit Hilfe der in der reduzierten Auflösung extrahierten Linien werden aus den in der hohen Auflösung gefundenen Kanten mittels mehrerer Gruppierungsregeln diejenigen ausgewählt, die Kandidaten für Straßenränder sind: Die Kanten müssen einen gewissen Abstand zueinander haben, parallel sein, eine homogene Fläche einschließen, und zudem zu einer Linie aus der reduzierten Auflösung korrespondieren. Aus diesen Kandidaten für Straßenränder werden dann Straßenabschnitte generiert. Straßenabschnitte werden durch die Punkte der Mittelachse mit zugehöriger Breite repräsentiert, und erhalten zudem Attribute, die für die weitere Extraktion bzw. Gruppierung nützlich sind. Die Gruppierung der zunächst noch relativ kurzen Straßenabschnitte zu längeren, d.h. das Schließen von Lücken und die sukzessive Elimination von falschen Hypothesen, erfolgt nach dem Prinzip der „Hypothesenbildung und Verifika-

tion“. Ausgehend von geometrischen Kriterien (Abstand, Kollinearität, Breitenverhältnis) und radiometrischen Kriterien (mittlerer Grauwert, Standardabweichung) werden Hypothesen über zu schließende Lücken generiert. Anschließend werden die hypothetischen Straßenabschnitte im Bild verifiziert. Dieser Verifikationsschritt besteht aus maximal drei Stufen: Auf der ersten Stufe werden die radiometrischen Eigenschaften des neuen Abschnittes mit denen der zu verbindenden Abschnitte verglichen. Die Geometrie des neuen Abschnittes wird dabei durch die zu verknüpfenden Endpunkte und die von diesen ausgehenden Richtungen festgelegt. Sofern sich in den radiometrischen Eigenschaften keine allzu großen Differenzen zeigen, gilt die Hypothese als bestätigt. Im anderen Fall wird in der zweiten Verifikationsstufe mittels einer sogenannten „Ribbon-Snake“ versucht, im Gradientenbild einen optimalen Pfad für die Verbindung zu finden, der eine Annahme der Verknüpfungshypothese rechtfertigt. Schlägt auch dieser Verifikationsschritt fehl, so wird in der dritten Stufe nach einer Erklärung dafür gesucht, weshalb sich für den hypothetischen Straßenabschnitt keine Bestätigung im Bild finden läßt. Als mögliche Erklärungen kommt hierfür der lokale Kontext Verdeckung/Schatten in Betracht. D.h. der lokale Kontext wird als letzte und gleichsam schwächste Verifikationsmethode zum Erklären und Schließen von Lücken herangezogen.

Nach dem Schließen von Lücken zwischen den Straßenabschnitten und der damit einhergehenden Elimination vermutlich falscher Hypothesen, die kurz sind und nicht verknüpft werden können, gilt es im nächsten Schritt, Kreuzungspunkte zu finden, um topologische Beziehungen zwischen den Straßenhypothesen aufzubauen. Idealerweise sollten nach diesem Schritt alle Straßenhypothesen miteinander verbunden sein, so daß zwischen jedem Punkt auf den extrahierten Straßen eine Verbindung zu jedem beliebigen anderen Punkt innerhalb des extrahierten Straßennetzes existiert. Daß ein solches Ergebnis in der Regel nicht erwartet werden kann, liegt zum einen daran, daß sich durch den begrenzten Bildausschnitt die Knotenpunkte, über die die Straßen verbunden werden, zum Teil außerhalb des betrachteten Ausschnittes befinden. Zum anderen ist das Extraktionsverfahren nicht perfekt und erkennt besonders in Siedlung und Wald häufig nur Bruchstücke des Straßennetzes. Bei einer zuverlässigen Extraktion allein in der offenen Landschaft läßt sich somit der Netzcharakter von Straßen nicht optimal nutzen.

Unter Verwendung von Wissen über globalen und lokalen Kontext kann die Semantik einzelner



Straßen genauer bestimmt werden. So können Zufahrten zu Gebäuden und Zufahrten zu Feldern unterschieden werden. Ab einer gewissen Mindestbreite ist zu erwarten, daß eine Straße mit Fahrbahnmarkierungen versehen ist. Daher kann in den extrahierten breiten Straßen gezielt nach Markierungen gesucht werden. Sind Markierungen vorhanden, so ist dies ein zusätzlicher, äußerst wichtiger Hinweis darauf, daß es sich tatsächlich um eine Straße handelt. Im anderen Fall könnte dies ein Hinweis dafür sein, daß es sich um etwas anderes handelt, was in dem Luftbild so ähnlich wie eine Straße aussieht, z.B. ein gemähter Wiesenstreifen. Steht nicht nur ein Schwarzweißbild, sondern Farb- oder Farbinfrarotinformation zur Verfügung, so könnten derartige Verwechslungen durch eine rigorosere Einschränkung des Suchraumes bereits in einem früheren Stadium der Extraktion vermieden werden.

Globaler Kontext: Abbildung 4 zeigt das Resultat einer texturbasierten Segmentierung der Offenen Landschaft in einem Bild mit einer reduzierten Auflösung von ca. 4 m. Die Pixelgröße am Boden beträgt für das gezeigte Beispiel in der hohen Auflösung ca. 0.45 m.

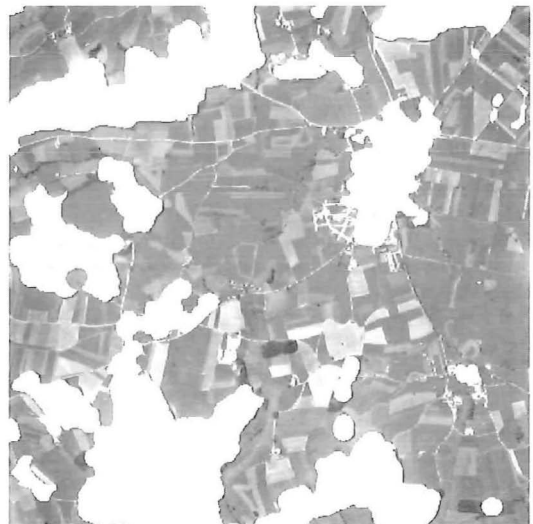


Abb. 4: a) Luftbild b) Offene Landschaft

Straßenhypothesen: Durch eine Fusion der Ergebnisse von Linienextraktion in einer reduzierten Auflösung (ca. 2 m) und Kantenextraktion in der hohen Auflösung (Abb. 5) werden Hypothesen für Straßenränder und daraus dann Hypothesen für Straßenabschnitte generiert (Abb. 6).

Gruppierung: Die mittels der Fusion von Linien- und Kantenextraktion generierten Straßen-

abschnitte hängen größtenteils nicht direkt zusammen und enthalten zudem noch viele falsche Hypothesen. Daher besteht die Hauptaufgabe im Folgenden darin, die korrekten Hypothesen miteinander zu verbinden und die falschen Hypothesen zu eliminieren. In einem iterativen Verfahren werden anhand der oben bereits aufgezählten Gruppierungskriterien Verbindungshypothesen aufgestellt und überprüft. Von Iteration zu Iteration wird hierbei die maximale Länge der zu schließenden Lücken vergrößert, während die übrigen Kriterien zunächst nahezu unverändert bleiben. Um harte Schwellwerte für die einzelnen Kriterien zu vermeiden, werden bei geringfügiger Überschreitung der geforderten Schwellwerte alle Kriterien in eine Gesamtbewertung der Verknüpfungshypothese miteinbezogen. Mit zunehmender maximaler Länge der zu schließenden Lücken werden gleichzeitig kurze, bislang noch nicht verknüpfbare Hypothesen für Straßenabschnitte eliminiert. Abbildung 7 zeigt ein Zwischenergebnis dieses Gruppierungsprozesses.

Nach der Vergrößerung des Schwellwertes für den Abstand werden in den folgenden Iterationen die Anforderungen hinsichtlich der Kollinea-

rität reduziert. In dieser Gruppierungsphase kommt auch die Snake-Technik in Form der Ribbon-Snakes zum Tragen. Eine ausführliche Beschreibung der Vorgehensweise beim Einsatz der Ribbon-Snake ist in [7] zu finden.

Reicht die Bildinformation nicht aus, um eine Verbindungshypothese zu bestätigen, so wird Wissen über den lokalen Kontext des betreffen-

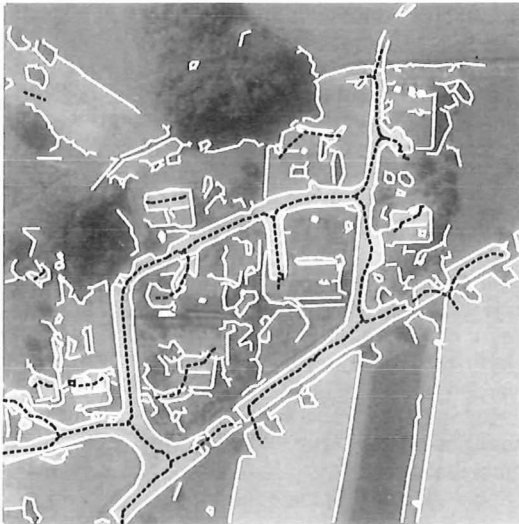


Abb. 5: Eingangsdaten für die Fusion: Linien (schwarz), Kanten (weiß)

den Straßenabschnitts mitberücksichtigt. D.h. es wird nach einer plausiblen Erklärung gesucht, weshalb im Bild zuwenig Hinweise auf eine Straße gefunden werden, und warum die Lücke dennoch geschlossen werden darf. Von Bedeutung sind hier v.a. der lokale Kontext Verdeckung/Schatten. Einen Großteil der Information, die zur Erklärung dieser Problemsituationen erforderlich ist, kann mit Hilfe eines DOM und Kenntnis von Aufnahmeort und Aufnahmezeit gewonnen werden. Daraus können Schattenbereiche im Bild prädiert und dann detektiert sowie Aussagen über Verdeckungen gemacht werden. Zudem lassen sich einzelne hohe Objekte anhand ihrer Textur im Bild in Vegetation und Gebäude unterscheiden [2]. Das DOM ist außerdem nützlich, um falsche Hypothesen für Straßen, die sich auf Hausdächern befinden, zu eliminieren.

**Netzbildung:** Nach der Generierung von Verbindungshypothesen und deren Verifikation, werden die gefundenen Straßen durch Kreuzungen verbunden. Die Generierung von Kreuzungshypothesen erfolgt auf Grundlage von rein geometrischen Schnittpunktberechnungen zwischen den bereits gefundenen Straßenhypothesen und deren Verlängerungen. An den Enden werden neue Abschnitte generiert, die bis zum Schnittpunkt mit der anderen Straße reichen. Die Verifikation dieses Abschnitts erfolgt nach denselben Kriterien, wie das Schließen der Lücken während des Gruppierungsprozesses. Als weitere Möglichkeit, um zu Hypothesen für Kreuzungen zu gelangen, bietet sich – als kon-



Abb. 6: Hypothesen für Straßenabschnitte

sequente Nutzung der Information aus der niedrigen Auflösung – die Verwendung der Knotenpunkte aus der Linienextraktion an.

#### 4. Bewertung der Ergebnisse

Die Qualität der Ergebnisse ist je nach globalem Kontext sehr unterschiedlich. Für die offene Landschaft sind die Ergebnisse weitgehend richtig und vollständig (vgl. Abb. 8). Voraussetzung für gute Ergebnisse ist ein ausreichend deutlicher Kontrast zwischen Straßen und Um-



Abb. 7: Gruppierung: Zwischenergebnis

gebung. Die Feldwege, die oft ebenfalls mitextrahiert werden, lassen sich anhand ihrer Breite relativ einfach von den übrigen Straßen unterscheiden. In der Siedlung bereitet die große Anzahl von Hintergrundobjekten Probleme. Dadurch, daß die Straßen dort im Bild sehr oft unterbrochen sind, können von Anfang an weniger korrekte Hypothesen für Straßenabschnitte gefunden werden, die sich zudem schlecht gruppieren lassen. Abbildung 9 zeigt die Grenzen des Ansatzes: Die in der offenen Landschaft gefundenen Straßen enden meist am Ortsrand. Eine konsequente Einbeziehung der DOM-Information, welche hier noch nicht erfolgt ist, kann u.U. weiterhelfen.

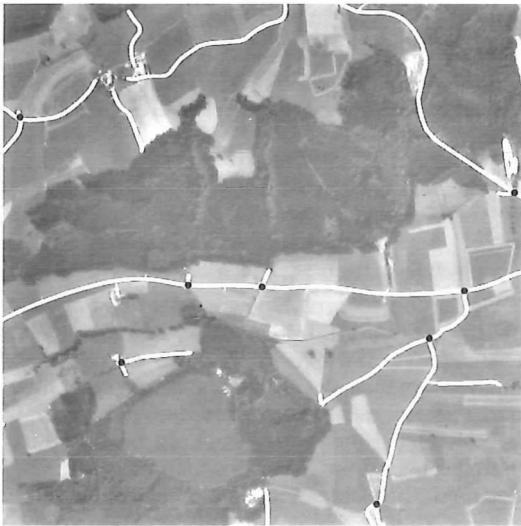


Abb. 8: Extrahierte Straßen und Kreuzungen

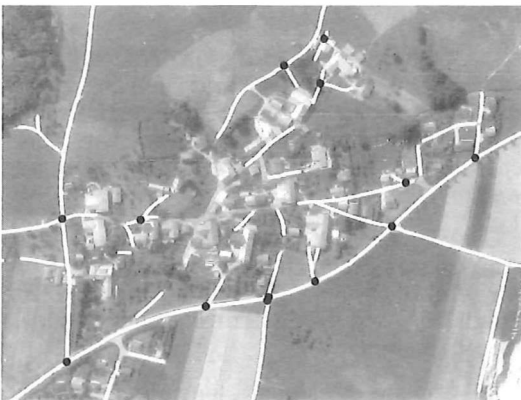


Abb. 9: Ergebnis für Siedlung

Eine quantitative Bewertung der Extraktionsergebnisse auf mehreren Bildern wurde mit dem in [4] vorgestellten Evaluierungsverfahren

vorgenommen. Es zeigte sich, daß für die offene Landschaft die Extraktionsergebnisse relativ zuverlässig ( $> 95\%$ ) und auch ziemlich vollständig (80%–90%) sind. Die geometrische Genauigkeit der korrekten gefundenen Straßenachsen liegt bei ca. einem Pixel, d.h. 0.30–0.50 m.

## 5. Diskussion und Ausblick

Der vorgestellte Ansatz ist anwendbar auf Bilder mit einer Auflösung von ca. 0.20–0.50 m. Bei einer feineren Auflösung nimmt die Zahl der extrahierten Kanten sehr stark zu und die Fahrbahnen erscheinen wesentlich inhomogener. Bei einer Auflösung von mehr als 0.5 m werden die Straßenflächen im Bild andererseits sehr klein, so daß letztlich nur noch das Linienmodell verwendbar ist. Noch zu untersuchen ist, inwieweit für breite Straßen die Auflösung zukünftiger Satellitenbilder von ca. 0.8 m ausreichend ist.

Da beim Aufbau von Verbindungen nur die jeweils nächsten Nachbarn betrachtet werden, ist nicht gewährleistet, daß stets die im Sinne des gesamten Netzes besten Verbindungen gewählt werden. Abhilfe soll hier das in [9] vorgeschlagene Verfahren bringen, das bei der Gruppierung globale Kriterien mitberücksichtigt.

Für die Extraktion der Straßen in der Siedlung und im Wald stehen mit den Endpunkten am Rand der offenen Landschaft zwar gute Startpunkte zur Verfügung, die Extraktion muß sich in diesen Gebieten jedoch stärker auf andere Evidenz, wie z.B. Gruppierung von Markierungen und Fahrzeugen, als auf parallele Kanten stützen.

Die Straßenextraktion läuft bei dem vorgestellten Ansatz zwar automatisch, aber nicht absolut vollständig und zuverlässig ab. Daher wäre bei einem praktischen Einsatz in jedem Fall ein Operateur erforderlich, der die fälschlicherweise extrahierten Straßen eliminiert und die fehlenden Teile ergänzt. Die Ergebnisse zeigen aber auch, daß bereits mit relativ einfachen Gruppierungsverfahren gute Resultate erzielt werden können. Durch eine weitere konsequente Einbeziehung von Kontextwissen und durch die Integration globaler Gruppierungskriterien sollten sich die Ergebnisse noch einmal deutlich verbessern lassen.

### Dank

Diese Arbeit wurde unter dem Kennzeichen Eb 74/8-3 aus Mitteln der Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.

## Literatur

- [1] Bordes, G., Giraudon, G. & Jamet, O. (1997): Road Modeling Based on a Cartographic Database for Aerial Image Interpretation, Semantic Modeling for the Acquisition of Topographic Information from Images and Maps, Birkhäuser Verlag Basel, pp. 123–139.
- [2] Eckstein, W. & Steger, C. (1996): Fusion of Digital Terrain Models and Texture for Object Extraction, Proceedings of the Second International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition. Vol. III, Environmental Research Institute of Michigan, pp. 1–10.
- [3] Grün, A. & Li, H. (1997): Semi-Automatic Linear Feature Extraction by Dynamic Programming and LSB-Snakes, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 63(8): 985–995.
- [4] Heipke, C., Mayer, H., Wiedemann, C. & Jamet, O. (1998): External Evaluation of Automatically Extracted Roads, Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation (2): 81–94.
- [5] Mayer, H. (1998): Automatische Objektextraktion aus digitalen Luftbildern, Deutsche Geodätische Kommission (C) 494, München.
- [6] Mayer, H. & Steger, C. (1998): Scale-Space Events and Their Link to Abstraction for Road Extraction, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 53(2): 62–75.
- [7] Mayer, H., Laptev, I. & Baumgartner, A. (1998): Multi-Scale and Snakes for Automatic Road Extraction, Fifth European Conference on Computer Vision, pp. 720–733.
- [8] Ruskoné, E., Guigues, L., Airlault, S. & Jamet, O. (1996): Vehicle Detection on Aerial Images: A Structural Approach, 13th International Conference on Pattern Recognition, Vol. III, pp. 900–904.
- [9] Steger, C., Mayer, H. & Radig, B. (1997): The Role of Grouping for Road Extraction, Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (II), Birkhäuser Verlag Basel, pp. 245–256.
- [10] Vosselman, G. & de Knecht, J. (1995): Road Tracing by Profile Matching and Kalman Filtering, Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images, Birkhäuser Verlag Basel, pp. 265–274.

### Anschrift der Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Heinrich Ebner, Dipl.-Ing. Albert Baumgartner: Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU München, D-80290 München, Email: {ebn}{albert}@photo.verm.tu-muenchen.de  
Dr. rer. nat. Carsten Steger, Forschungsgruppe Bildverstehen, Institut für Informatik IX, TU München, D-80290 München, Email: stegerc@informatik.tu-muenchen.de

## Verleihung der Friedrich-Hopfner-Medaille an Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Heinrich Ebner

### Die Friedrich-Hopfner-Medaille

Die Friedrich-Hopfner-Medaille ist eine Auszeichnung, die von der Österreichischen Kommission für die Internationale Erdmessung (ÖKIE) bzw. ab 1996 von der Österreichischen Geodätischen Kommission (ÖGK) in der Regel alle vier Jahre für hervorragende wissenschaftliche Leistungen auf dem Gebiet der Geodäsie verliehen wird.

Die Verleihung dieser Auszeichnung an den Vorstand des Lehrstuhles für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technischen Universität München, an Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Heinrich Ebner, ist neben der Würdigung der persönlichen Leistung des Geehrten auch ein positives Zeichen im Sinne der immer stärker werdenden Integration der einzelnen Fachbereiche des Vermessungswesens, von der Erdmessung bis zur Photogrammetrie und Fernerkundung.

Die ÖGK ist gemäß ihren Statuten das Organ der Internationalen Geodäsie für Österreich. Sie vertritt die Belange Österreichs in der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG) und bei zwischenstaatlich vereinbarten geodätischen Arbeiten, soweit diese nicht in Vollzug des Vermessungsgesetzes erfolgen. Sie ist die offizielle Verbindungsstelle Österreichs zur Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG).

Die ordentlichen Mitglieder der Kommission sind maximal 18 Universitätsprofessoren im Dienststand, sowie je ein Vertreter des Bundesministeriums für wirtschaftliche Angelegenheiten und des Bundesministeriums für Wissenschaft, Verkehr und Kunst, der Präsident des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV), der Leiter der Abteilung „Grundlagen“ des BEV, der Direktor der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, sowie ein Vertreter der Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten.

Die ÖGK ist damit in dieser personellen Zusammensetzung eine einzigartige Plattform, in der Persönlichkeiten aus Wissenschaft, Verwaltung und Praxis vor dem gemeinsamen fachlichen Hintergrund beurteilend und lenkend tätig werden können.

Die Verleihung der Friedrich-Hopfner-Medaille durch dieses Gremium stellt somit eine ganz besondere Auszeichnung dar und ist die höchste Würdigung, die die österreichische Geodäsie vergeben kann.

Die Stiftung der Medaille erfolgte im Rahmen einer Sitzung der Österreichischen Kommission für die Internationale Erdmessung (ÖKIE), am 26. November 1976 über Vorschlag von Univ.-Prof. Dr. Helmut Moritz und wurde bisher vergeben an:

Prof. Dr. Karl Killian (1978)  
Prof. Dr. Karl Ramsayer (1982)  
Prof. Dr. Dr.h.c. Hellmut Schmid (1986)  
Prof. Dr. Fritz K. Brunner (1990)

Im Jahre 1994 kam eine Vergabe der Medaille nicht zustande. Gemäß den Bestimmungen für die Verleihung der Friedrich-Hopfner-Medaille (zuletzt veröffentlicht in der ÖZ, 79. Jg. 1991/Heft 1) war die nächste Verleihung erst wieder in weiteren vier Jahren und damit 1998 möglich.

Der Vorschlag für Prof. Ebner wurde von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Karl Kraus in der Sitzung der ÖGK am 1.12.1997 eingebracht. Die wissenschaftlichen Leistungen von Prof. Ebner auf dem Gebiet der Photogrammetrie und der Ausgleichsrechnung waren und sind unumstritten. Ebner ist zudem österreichischer Staatsbürger und nicht Mitglied der ÖGK. Er erfüllt damit die erforderlichen Bedingungen.

Nach Einholung der beiden in den Bedingungen vorgesehenen Gutachten, die selbstverständlich äußerste Zustimmung zum Ausdruck brachten, wurde die festliche Verleihung der Medaille für den 15. Mai 1998 im Boeckl-Saal der Technischen Universität Wien vorgesehen.

Die Festsitzung konnte vor einem vollen Auditorium, umrahmt vom Steichquartett der Technischen Universität Wien mit Musik von Josef Haydn, stattfinden. Der Höhepunkt der Veranstaltung war neben der Verleihung der Medaille durch den Präsidenten der ÖGK, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hans Sünkel, der Festvortrag des Geehrten mit dem Titel „Automatische Extraktion von Straßen aus digitalen Luftbildern“.

Die ÖGK erlaubt sich in diesem Zusammenhang dem jüngsten Träger der Friedrich-Hopfner-Medaille, Herrn Prof. Ebner, und allen im Festakt involvierten Persönlichkeiten mit Spektabilis Dr. Stachelberger an der Spitze für diese Kooperationsbereitschaft den herzlichsten Dank auszusprechen.

*Erhard Erker, Sekretär der ÖGK*

**Grußworte seiner Spektabilität des Dekans der Technisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der TU-Wien o. Univ.-Prof Dipl.-Ing Dr. techn. Herbert Stachelberger**

Sehr geehrter Herr Prof. Ebner, sehr geehrter Herr Präsident Sünkel, verehrte Kolleginnen und Kollegen, hohe Festversammlung, mir fällt die Ehre zu, die Grußworte der TU Wien an Sie, meine Damen und Herren, zu richten.

Wir sind zusammengekommen, um Prof. Ebner mit der Friedrich-Hopfner-Medaille auszuzeichnen. Diese Medaille wird von der Österreichischen Geodätischen Kommission an österreichische Staatsbürger für hervorragende wissenschaftliche Leistungen verliehen. Die Friedrich-Hopfner-Medaille ist eine seltene und sehr hohe Auszeichnung. In den Worten Prof. Sünkels, dem Präsidenten der Österreichischen Geodätischen Kommission, kam dieser hohe Stellenwert bereits zum Ausdruck.

Vor der Verleihung der Friedrich-Hopfner-Medaille wird Prof. Kraus, der Fachkollege Prof. Ebners an unserer Universität, die Laudatio für Herrn Prof. Ebner halten. Ohne dieser Würdigung vorgreifen zu wollen, möchte ich als akademischer Funktionär der TU Wien meine Freude zum Ausdruck bringen, daß Sie, sehr geehrter Herr Kollege Ebner, ein Absolvent unserer Universität sind.

Mit der im Jahre 1976 erfolgten Stiftung der Friedrich-Hopfner-Medaille für herausragende Leistungen auf dem Gebiet der Geodäsie durch die Österreichische Geodätische Kommission sollen die Verdienste Friedrich Hopfners, o.Hochschulprofessor an der TH Wien von 1934 bis 1938 und von 1945 bis 1949, um die Internationale Erdmessung gewürdigt werden. Lassen Sie mich, hohe Festversammlung, auf die Persönlichkeit Hopfners und seine Verdienste im folgenden kurz eingehen.

Friedrich Hopfner wurde im Jahre 1881 in Trautenau in Böhmen geboren. In den Jahren 1899 bis 1904 studierte er Astronomie, Geophysik und Meteorologie an der Deutschen Universität in Prag und an der Universität München sowie zwei Semester Geodäsie an der Deutschen Technischen Hochschule Prag. Im Jahre 1905 wurde er zum Doktor der Philosophie promoviert.

Die ersten Stationen seines Berufslebens waren das königliche Meteorologische Institut in Berlin, das Institut für kosmische Physik in Innsbruck, die k.k. Zentralanstalt für Meteorologie in Wien, das k.k. maritime Observatorium in Triest und schließlich das k.k. Gradmessungsbüro, in das er im Jahre 1912 als Adjunkt berufen wurde.

Den ersten Weltkrieg machte Friedrich Hopfner als Reserveoffizier mit, und zwar vom 26. Juli 1914 bis 30. November 1918.

Nach der Eingliederung des Gradmessungsbüros in das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen wurde er im Jahre 1921 zum Vorstand der Abteilung für den wissenschaftlichen Vermessungsdienst ernannt. In dieser Funktion organisierte er den geodätisch-astronomischen

und geophysikalischen Vermessungsdienst. Weiters richtete er eine Versuchsanstalt für geodätische Instrumente und Zeitmesser ein. Wir verdanken ihm ferner auch die ersten astronomischen Längenbestimmungen in Österreich auf drahtlosem Weg, die Ausgestaltung des Zeit- und Uhrendienstes des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen, die Durchführung von Pendelmessungen mit drahtloser Fernsteuerung der Koinzidenzapparate sowie die Verwirklichung einer neuen magnetischen Landesaufnahme von Österreich.

In Anerkennung seiner großen Verdienste wurde Dr. Hopfner im Jahre 1931 zum wirkl. Hofrat ernannt. Nach Ablehnung eines Rufes auf ein Ordinariat für Astronomie an der Deutschen Universität Prag wurde er im Jahre 1936 als Nachfolger von Prof. Dr.-Ing. et Dr.phil. Richard Schumann auf die freigewordene Lehrkanzel für Höhere Geodäsie und Sphärische Astronomie an der Technischen Hochschule Wien berufen. Diesem Ruf ist er gerne gefolgt.

Von den Machthabern des Dritten Reiches wurde Prof. Hopfner in den dauernden Ruhestand versetzt. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde er an die Technische Hochschule zurückberufen. Im Studienjahr 1945/46 fungierte er als Dekan der Fakultät für Angewandte Mathematik und Physik. Vom Vertrauen seiner Kollegen getragen, wurde er mit großer Mehrheit für das Studienjahr 1948/49 zum Rektor magnificus der Technischen Hochschule Wien gewählt. Im letzten Monat seiner Amtszeit, am 5. September 1949, fiel er einem tragischen Unglück am Hintersteinersee zum Opfer.

Prof. Hopfner hat eine intensive und vielseitige wissenschaftliche Tätigkeit entfaltet. In jüngeren Jahren befaßte er sich mit theoretischen Problemen der Meteorologie, daneben aber auch mit rein astronomischen Themen, besonders mit ersten Bahnbestimmungen und Ephemeridenrechnungen für eine Reihe von Planetoiden.

Hopfner setzte sich außerdem mit Fragen der Höheren Geodäsie und Geophysik auseinander. Viel trug er zur Klärung des Problems der Reduktion der beobachteten Schwerewerte, der Begründung der Lehre von der Isostasie, der Elliptizität des Erdäquators und der Abplattung des Niveausphäroids bei. In Fortsetzung der Bruns'schen Arbeiten über die Figur der Erde hat Hopfner eine elegante Methode zur Ableitung der Geoidundulationen entwickelt.

Von ihm stammen ferner einige zusammenfassende Darstellungen und Lehrbücher geodätischen und geophysikalischen Inhalts. In der

1933 erschienenen „Physikalischen Geodäsie“ war Hopfner bestrebt, die Höhere Geodäsie auf eine sehr breite astronomisch-physikalische und mathematische Grundlage zu stellen. Mit dem kurz vor seinem Tode erschienenen Lehrbuch über „Grundlagen der Höheren Geodäsie“ hat sich Hopfner höchste Anerkennung in Fachkreisen erworben.

Die großen Verdienste Prof. Hopfners wurden durch die Zuerkennung der Mitgliedschaften in Gelehrtenvereinigungen und die Verleihung von Wissenschaftspreisen gewürdigt. Lassen Sie mich in diesem Zusammenhang als Beispiele nur die Wahl zum wirklichen Mitglied der Österreichischen Akademie der Wissenschaften sowie zum Präsidenten der Österreichischen Kommission für die Internationale Erdmessung erwähnen.

Mit diesem kurzen Abriß über Hopfners Persönlichkeit und seiner wissenschaftlichen Verdienste wollte ich, meine Damen und Herren, den Hintergrund für die Verleihung der Friedrich-Hopfner-Medaille aufzeigen. Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit.

#### **Laudatio für Prof. Ebner vorgetragen von o.Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. Karl Kraus**

Die Wege Prof. Ebners und meine Wege verliefen längere Zeit nebeneinander, manchmal haben sie sich gekreuzt und manchmal berührt. Es fällt mir daher leicht, seinen beruflichen Weg kurz zu skizzieren.

Zunächst einige biographische Daten:

- 29. 11. 1939 geboren in Wien.  
Volksschule, Gymnasium und Ingenieurschule für Tiefbau, ebenfalls in Wien.
- 1959 – 1964 Studium des Vermessungswesens an der TH Wien, anschließend zur Firma Carl Zeiss nach Oberkochen.
- ab 1.1.1967 Wissenschaftlicher Assistent am Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart.
- 1969 Promotion mit dem Thema „Genauigkeitsuntersuchung zur photogrammetrischen Sternkoordinatenbestimmung durch geschlossenen Blockausgleich“.

Um diese Zeit haben sich unsere Wege berührt; ich war ab 1970 ebenfalls an diesem Institut in Stuttgart tätig. Wir beide waren sozusagen hinter Prof. Ackermann, dem Institutsleiter, in

zweiter Ebene tätig. Wir waren beide sehr ambitioniert; Herr Ackermann hat immer auf Balance geachtet; das drückt sich zum Beispiel auch darin aus, daß wir unsere Habilitationsvorträge am gleichen Tag in einer Doppelveranstaltung gehalten haben.

Im Jahre 1974 stand die Besetzung des Ordinariats für Photogrammetrie an der TH Wien an. Für Heinrich Ebner war diese Position damals sein erklärtes großes Ziel; für mich war es damals eher ein „Nebenmaximum“; die Entscheidung in Wien fiel auf mich. Kurz danach war das Ordinariat für Photogrammetrie an der TU München zu besetzen, eigentlich mein großes Ziel. Doch ich hatte mich in Wien in kurzer Zeit bereits so gut etabliert, daß ich für München keine Bewerbung mehr abgegeben habe.

Prof. Ebner wurde am 1.1.1977 von Stuttgart nach München berufen.

Das war kurz geschildert die Kreuzung in unseren Lebenswegen. In der photogrammetrischen Fachwelt wurde dieser Umstand, daß Prof. Ebner als „Wiener“ in München ist und ich als „Münchener Absolvent“ in Wien bin, heftig diskutiert. Heinrich Ebner und ich sehen im nachhinein die herausgekommene Lösung für beide als sehr positiv.

Prof. Ebner hat in München eine sehr forschungsintensive Gruppe aufgebaut. Er hat mit seinen Mitarbeitern insbesondere auch in der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (ISPRS) Herausragendes geleistet. In diesem Zusammenhang gab es wieder eine Berührung unserer Wege.

In der Periode 1992 – 1996 war Prof. Ebner Präsident der Kommission III „Theory and Algorithms“ der ISPRS. In der Vorbereitung und Durchführung des ISPRS-Kongresses im Jahre 1996 in Wien war diese Kommission äußerst leistungsfähig, wobei sich die Leistung sowohl auf das wissenschaftliche Niveau als auch auf die Organisation bezieht.

Besonders dieses wissenschaftliche Umfeld, das Heinrich Ebner geschaffen hat, waren für Prof. Sünkel, dem Präsidenten der ÖGK, und für mich ausschlaggebend, Prof. Ebner für die Friedrich-Hopfner-Medaille vorzuschlagen.

Einen kurzen Blick möchte ich noch in die wissenschaftlichen Arbeiten Prof. Ebners werfen (es gibt deutlich mehr als 100 Publikationen):

In den ersten Jahren seiner Assistententätigkeit am Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart entstanden die sehr bekannten Ausgleichungsprogramme für die Aerotriangula-

tion. Herr Ebner hat dazu einen großen Teil der mathematischen Grundlagen beigetragen und er hat sich vor allem den Genauigkeitsgesetzen der Aerotriangulation gewidmet. Es war eine große Sensation als es sich herausstellte, daß man aus Netzverbänden mit kleinen Elementar-einheiten die gleiche Genauigkeit erreichen kann wie mit der traditionellen Vorgangsweise vom Großen ins Kleine. Ich möchte in diesem Zusammenhang noch erwähnen, daß der früh verstorbene Prof. Meissl auf diesem Gebiet eng mit Prof. Ebner zusammengearbeitet hat. Prof. Ebner bekam für diese Arbeiten den Otto-von-Gruber-Preis, eine sehr hohe Auszeichnung, die nur in Abständen von vier Jahren von der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung vergeben wird.

Prof. Ebner hat sich in der Folge seiner wissenschaftlichen Tätigkeit mit Varianz-Komponentenschätzung, also der a posteriori Schätzung der Varianzen von Beobachtungsgruppen unterschiedlicher Genauigkeit, sehr erfolgreich auseinandergesetzt und eine Methode mit sehr guter Konvergenz angegeben.

Eine weitere Folge seines Umgangs mit großen Datenmengen waren die Erarbeitung und Implementierung von Methoden zur Detektion grober Datenfehler und der Kompensation systematischer Modellfehler.

Ende der 70er Jahre hat Prof. Ebner einen sehr interessanten Aufsatz veröffentlicht, der verschiedene Interpolationsaufgaben, insbesondere zur Generierung von digitalen Geländemodellen, mit Finiten Elementen löst. Dieser Ansatz ist auch für die Modellierung der Bahnen von Flugzeugen und Satelliten sehr interessant. Auf der Basis dieser Theorie entstanden auch vielseitige EDV-Programme.

In den letzten Jahren war Prof. Ebner intensiv mit Studien über neue digitale Aufnahmesysteme für die Fernerkundung der Erde und für Marsmissionen befaßt.

Schließlich möchte ich noch die Publikationen über Bildzuordnung und Objektrekonstruktion innerhalb der digitalen Photogrammetrie erwähnen. Dieses Thema ist heute äußerst aktuell. Darüber werden wir von ihm anschließend den Festvortrag hören.

**Verleihung der Friedrich Hopfner-Medaille durch den Präsidenten der ÖGK, o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hans Sünkel**

Meine Damen und Herren, ich habe das Vergnügen, Herrn Prof. Ebner seit mehr als zwei

Jahrzehnten persönlich zu kennen. Ich habe ihn und seine herausragenden wissenschaftlichen Arbeiten in hohem Maße schätzen gelernt – als großartigen Kollegen, als ambitionierten Hochschullehrer, als wissenschaftlichen Manager, aber auch als ungemein aktiven Sportler. (Wenn Sie auf der Fahrt durch die Toskana einem braungebrannten, durchtrainierten Rennradfahrer mit leichtem Wiener Akzent begegnen, dann kann es sich durchaus um Heinrich Ebner handeln.) Mens sana in corpore sano – gelebt von Heinrich Ebner – im wahrsten Sinne des Wortes.

Und diese Ebnersche Mens sana folgt durchaus einfachen Prinzipien:

„Set and demand standards of excellence“

„Ideas are useless unless used“

„Nothing is particularly difficult, if you divide it into small jobs“.

Heinrich Ebners Sache ist es nicht, Aussagen zu verbrämen und hinter einem Paravent diplomatischer Floskeln zu verstecken. Er liebt und lebt vielmehr den Mut zum aufrechten Gang. Er ist nicht nur ein ungemein vielseitiger Kollege, dessen enorm breites wie auch tiefes Wissen weit über unsere fachlichen und geografischen Grenzen hinaus nachgefragt wird, er ist auch ein Mensch des Vertrauens und der Zuneigung – er ist ein guter Freund. Und dieser Cocktail von so herausragenden menschlichen Qualitäten macht ihn in hohem Maße integrativ, macht ihn zum Vorbild schlechthin.

Unser verehrter Karl Rinner, einst Präsident der ÖGK, meinte:

„Wer an der Front kämpfen muß, braucht Ruhe im Hinterland“

Und diese ruhige wie beruhigende Atmosphäre bietet Heinrich Ebner, wie auch so man-

chen seiner Kollegen, seine geschätzte Familie. Hinter jedem erfolgreichen Mann steht ja bekanntlich auch eine ebenso erfolgreiche Frau. Daher ist Dein beachtlicher Erfolg, lieber Heinrich, wohl auch jener Deiner lieben Gattin und Deiner Familie überhaupt.

Sehr geehrter Herr Prof. Ebner, lieber Heinrich, in meiner gegenwärtigen Funktion als Präsident der Österreichischen Geodätischen Kommission wird mir die ehrenvolle Aufgabe zuteil, Dir in Würdigung Deiner hervorragenden Leistungen in Wissenschaft und Forschung auf dem Gebiet der Photogrammetrie und Fernerkundung die Friedrich Hopfner-Medaille zu verleihen. Ich tue dies mit größtem Respekt und persönlicher Freude gleichermaßen.

### **Dankesworte von Prof. Ebner für die Verleihung der Friedrich-Hopfner-Medaille**

Spektabilität, lieber Hans, lieber Karl, sehr verehrte Festgäste,

ich bedanke mich herzlich für die Verleihung der Friedrich-Hopfner-Medaille, mit der ich in keiner Weise gerechnet habe und freue mich, heute in meiner Heimatstadt, an der TU Wien zu sein, an der ich studiert habe.

Ich bin an dieser Universität hervorragend ausgebildet worden. Besonders danken möchte ich Prof. Karl Neumaier für seine Förderung seit meinem Studienabschluß und für das freundschaftliche Verhältnis, das uns verbindet.

Darüberhinaus geht mein Dank an Prof. Ackermann. Die 10 Jahre bei ihm in Stuttgart haben mich stark geprägt und sind die Basis meiner wissenschaftlichen Laufbahn.

Speziell danken möchte ich meiner lieben Frau, die seit 35 Jahren aushält, daß ich eine Geliebte namens Photogrammetrie habe.



### NEU: LEICA TPS-1100 Tachymetrieserie

Auf der Geotechnica in Wiesbaden fand die Weltpremiere der neuen LEICA TPS-1100-Professional-Serie statt. LEICA präsentiert eine neue Generation von elektronischen Tachymetern, die schon rein äußerlich durch ihr neues (bedeutend leichteres) Design ins Auge stechen. Insbesondere zeichnet sich die TPS-1100-Serie durch eine vereinfachte Bedieneroberfläche und raschere Meßabläufe aus.



Dazu kommen folgende Features:

- **Weltneuheit: Reflektorlose Distanzmessung**

Einzigartig ist die über einen Software-Schalter aktivierbare, koaxiale reflektorlose Distanzmessung (jederzeit umschaltbar zwischen reflektorloser und Reflektormessung). Optimal für die Messung unzugänglicher Punkte, wie z.B. bei hohen Gebäuden, Fassaden, Schluchten, Steinbrüchen, etc.

- **Verschiedenste Ausführungen für unterschiedliche Anwendungen**

Genauigkeitsklassen: 1,5" 2" 3" 5"

Modelle:    **TC** (klassischer Tachymeter)  
              **TCM** (siehe TC, motorisiert)  
              **TCR** (Tachymeter mit reflektorloser Distanzmessung)  
              **TCRM** (siehe TCR, motorisiert)  
              **TCA** (siehe TC, motorisiert, Automatische Zielerfassung)

- **Neue Fernsteuerung für TPS-1100**

Die neue Fernsteuerung RCS-1100 ist wesentlich verkleinert und weiterentwickelt worden. Controller, Batterie, Funkgerät und Antenne bilden eine kompakte Einheit.

- **Verbesserte Automatische Zielerfassung bei TPS-1100**

Sie erreichen eine enorme Produktivitätssteigerung bei Messungen durch die neue, verstärkte Automatische Zielerfassung, wobei die Reflektorsuche stark beschleunigt wurde.

- **Neues Innovatives Zubehör**

Mit der Entwicklung der neuen Tachymeter-Serie wurde ebenfalls eine große Palette von innovativen Zubehörkomponenten entwickelt, wie z.B. neue, universelle Batterien, Stative, Laserlote, Prismen, ATA-Speicherkarten mit sehr hohen Speicherkapazitäten, u.a.

Weitere Komponenten, die den Meßkomfort erhöhen sind u.a. das integrierte Laserlot für schnelleres und bequemerer Aufstellen des Instrumentes über dem Bodenpunkt, die blinkende Zieleinweishilfe EGL als Option, das flexibel konfigurierbare, kontrastreiche Display für die neuen Camcorder-Batterien zur Stromversorgung.

Die TPS-1100-Professional-Serie setzt neue Maßstäbe. Profitieren Sie von der großen Erfahrung und dem technischen Know-How der Marke LEICA, sowie von dem außergewöhnlich günstigen Preis-Leistungsverhältnis der neuen Serie!

Am besten, Sie schauen sich das live an:

Rost-Roadshow-Termine 1999

19.1.1999 nm, 20.1.1999 vm, Pörschach Joainigg-Wirt

21.1.1999 Brauhaus Puntigam Graz, 8 – 16 Uhr

27.1.1999 Linz Novotel, 8 – 16 Uhr

28.1.1999 nm, 29.1.1999 vm, Salzburg Hubertushof

1.3.1999 vm, 2.3.1999 nm, Innsbruck Austrotel

*Einladung und nähere Info:*

*R & A Rost, 1150 Wien, Märzstraße 7, Tel. (01) 981 22 - 0, Fax-Kl. 50*

# Redaktionsschluß

für die nächste Ausgabe der VGI (Heft 4/1998)

ist

**Donnerstag, 10. Dezember 1998**

## Impressum

**VGI**

Österreichische Zeitschrift für  
VERMESSUNG & GEOINFORMATION

86. Jahrgang 1998 / 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, Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien, Tel. (01) 21176-3204, Fax (01) 2167551, Dipl.-Ing. Bernhard Jüptner, Krotenthallergasse 3, 1080 Wien, Tel. (01) 40146-212, Fax (01) 4069992.

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

o.Univ.-Prof. Dr. W. Pillewizer, 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 Dr. J. Bernhard, BEV, Krotenthallergasse 3, 1080 Wien, Dipl.-Ing. M. Eckharter, Friedrichstraße 6, 1010 Wien, HR 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 einreichen. 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 Verarbeit-

ung in elektronischen Systemen sowie Mikroverfilmung der Zeitschrift oder von in ihr enthaltenen Beiträgen 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, Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien, Tel. (01) 21176-3204. Unterlagen über Preise und technische Details werden auf Anfrage gerne zugesendet.

**Erscheinungsweise:** Vierteljährlich in zwangloser Reihenfolge (1 Jahrgang = 4 Hefte), Auflage: 2500 Stück.

**Abonnement:** Nur jahrgangswise 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 ÖS 170.- (Inland), ÖS 190.- (Ausland), Abonnement ÖS 600.- (Inland), ÖS 700.- (Ausland); alle Preise exclusive Mehrwertsteuer.

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

# Willkommen im

# BEV



## Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen

Digitale Katastralmappe



Digitales Geländehöhenmodell



Digitales Landschaftsmodell



Grundstücksdatenbank



Kartographische Modelle



Physikal.-Techn. Prüfdienst



Für nähere Informationen wenden Sie sich bitte an:

BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen

A-1025 Wien, Schiffamtsgasse 1-3, Tel. +43 (1) 211 76 - 0\* Fax +43 (1) 216 10 62

oder den BEV-Kunden-Center Wien: A-1080 Wien, Krotenthallergasse 3, Tel. +43 (1) 401 46-460 Fax +43 (1) 401 46-463  
oder an Ihr nächstes Vermessungsamt

**BEV - Der starke Partner der österreichischen Wirtschaft und aller Konsumenten**

## KOMMUNEN

# Arbeit und Beschäftigung, Umweltschutz, Wirtschaftsförderung

Neue Werkzeuge für eine effiziente Verwaltung

Gesamtheitliche Planung und Verwaltung

Integrierte Prozesse und effiziente Kommunikation



Kommunale Entscheidungen müssen gleichwertig ihre ökonomischen, ökologischen und sozialen Auswirkungen berücksichtigen, gleichzeitig Arbeitsplätze schaffen und Ressourcen schonen. Die gewachsenen Aufgaben sollen bürgernah und im Interesse der Haushaltskonsolidierung effizient bewältigt werden. Für die dazu notwendige ganzheitliche Aufgabenwahrnehmung hat Intergraph Werkzeuge entwickelt, die vernetzte, systemübergreifende Ansätze bei der Problemlösung fördern. Intergraphs GeoMedia schafft dabei unter Windows die einheitliche Basis für Planungen, Analysen und die breitgefächerte Kommunikation. GeoMedia verbindet Informationen aus unterschiedlichen Datenbanken, technischen und administrativen Anwendungen und stellt ihren Raumbezug her. Die Verfügbarkeit dieser Informationen, auf breiter Basis in den einzelnen Fachbereichsanwendungen, steigert nicht nur die Effizienz der Verwaltung, sie eröffnet völlig neue wertschöpfende Einsatzmöglichkeiten und Dienstleistungen, die der Bürger heute erwartet.

- Demographie, Demoskopie
- Flächenmanagement und -planung
- Raumerfassung und -bewertung
- Rahmen- und Infrastrukturplanung
- Gebietsentwicklung
- Urban Rezoning Management
- Stadtplanung, Bauleitplanung
- Bürgerinformationen
- Wirtschaftsförderung
- Liegenschaften, Kataster, Grundbuch
- Einsatzmittelplanung, Disposition

# INTERGRAPH

Intergraph GmbH (Österreich)  
Modocenterstraße 14/Block A • A-1030 Wien  
Tel.: 01 / 7 97 35-0 • Fax: 01 / 7 97 35 35  
<http://www.intergraph.com>