

82 (173 p.)

**VERFAHREN DER VORVERARBEITUNG UND ANALYSE
SYNERGETISCHER DATENSÄTZE
AUS DER FERNERKUNDUNG**

Hubert Ranzinger Franz Leberl

Technische Universität und Forschungszentrum Graz

mit einem Beitrag von
G. Suetter und Th. Untersweg

**Abteilung für Umweltgeologie und Angewandte Geographie
Forschungsgesellschaft Joanneum**

**Endbericht zum Projekt 4315
des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung**

Graz, im Jänner 1984

DIBAG - Bericht Nr. 14

**Institut für Digitale Bildverarbeitung und Graphik
Forschungszentrum Graz A-8010 GRAZ**

D A N K

Dieser Bericht ist das Ergebnis eines Projektes, das vom Österreichischen Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) im Zeitraum vom 1. Juli 1981 bis 30. Juni 1983 mit einem Betrag von öS 599.000,-- gefördert wurde. Hierfür und für die verständnisvolle Projektbegleitung durch die Herren Dr. R. Kneucker und Mag. J.M. Bergant vom FWF sind die Autoren zu herzlichem Dank verpflichtet.

Die Arbeit wäre in ihrem Umfang nicht möglich gewesen, hätten nicht einige Kolleginnen und Kollegen im Institut selbstlos und idealistisch mitgeholfen. In der Programmierung waren dies Dipl. Ing. H. Oswald und G. Diarra (MSc), bei der Herstellung von Abbildungen und der Digitalisierung von Kartendaten Dipl. Ing. E. Kienegger, K. Hafner und H. Hauser. Dipl. Ing. Monika Ranzinger stellte die Schnittstelle zum Geoinformationssystem DESBOD her.

Herr Dr. E. Mondre von der ASSA stand uns bei der Beschaffung der Satellitenbilder mit Rat und Tat zur Seite.

Wir wünschen uns auch in Zukunft eine für alle fruchtbringende und gute Zusammenarbeit.

Graz, im Jänner 1984

H. Ranzinger
F. Leberl

ZUSAMMENFASSUNG

Die Nutzung von Fernerkundungsbilddaten, die periodisch von erdbeobachtenden Satelliten geliefert werden, gewinnt zunehmend an Bedeutung. Die automatisationsgestützte Auswertung der Daten setzt die Entwicklung und Implementierung von Programmsystemen voraus, welche imstande sind, neben den Bildern auch Daten aus anderen Quellen, vor allem Kartendaten, in die Analyse einzubeziehen. Ein solches System wurde, aufbauend auf dem bisherigen Kenntnisstand über die Behandlung von Satellitenbilddaten, entwickelt. Ein Bildverarbeitungsrechner mit spezieller Architektur, für den eine Bildverarbeitungssprache formuliert wurde, ermöglicht es, die Analyse und Interpretation der Bilddaten interaktiv durchzuführen.

Die Funktionen des Systems werden durch Bildbeispiele aus der Steiermark beschrieben. Das Bildmaterial umfaßt Bilder verschiedener Aufnahmezeitpunkte und Auflösungen. Durch die Überlagerung der Bilder und die Herstellung einer geometrischen Beziehung zu digitalen Geländemodellen und topographischen und thematischen Karten, die einem Geoinformationssystem entstammen, wurde ein synergetischer geokodierter Datensatz erzeugt. Anwendungen in der automatischen Klassifizierung und in der Erhebung von Naturraumdaten werden diskutiert.

ABSTRACT

The use of remote sensing image data which are acquired by earth-observing satellites on a regular basis is of increasing importance. The automated evaluation of the data requires that program systems are developed and implemented which are capable of including in the analysis not only imagery, but also ancillary data from other sources, especially digital maps. Such a system has been designed, based on today's knowledge about satellite image data processing. An image array processor with dedicated architecture is included to enable interactive analysis and interpretation of image data. For this device, an image processing language has been formulated.

The scope of the system is illustrated by means of digital images of Styria, Austria. Multitemporal and multispatial (different resolution) images were registered. Together with digital elevation models and topographic and thematic map data from a geo-information system they form a geocoded synergetic data set. Applications are discussed in automatic classification and in the extraction of environmental data for suitability mapping.

INHALTSVERZEICHNIS

ABSCHNITT 1	EINLEITUNG	
1.1	SATELLITENFERNERKUNDUNG	1-1
1.2	SATELLITENBILDVERARBEITUNG	1-2
1.3	AUFGABE UND ZIEL DER ARBEIT	1-3
ABSCHNITT 2	STAND DER DATENVERARBEITUNG IN DER SATELLITENFERNERKUNDUNG	
2.1	ALLGEMEINES	2-1
2.2	ZUM EINZELBILD	2-2
2.2.1	Behandlung von Kontext	2-3
2.2.1.1	Textur	
2.2.1.2	Relaxation	
2.3	ZU MEHRFACHBILDERN	2-4
2.3.1	Multi-Temporal	2-4
2.3.2	LANDSAT-MSS und RBV	2-4
2.3.3	Radar	2-4
2.4	EINBRINGUNG EXTERNER DATEN	2-5
2.4.1	Thematische Information	2-5
2.4.2	Digitale Geländemodelle	2-5
2.5	GEOMETRISCHE MANIPULATIONEN	2-6
2.6	OPERATIONELLE VERFAHREN	2-6
2.7	SOFTWARE	2-7
2.8	HARDWARE	2-7
2.9	SCHLUSSFOLGERUNG	2-7
ABSCHNITT 3	TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG	
3.1	EINTEILUNG DER VERFAHREN	3-1
3.2	GRUNDBEGRIFFE	3-2
3.2.1	Das digitale Bild	3-2
3.2.2	Operationen auf Bildern	3-4
3.2.3	Transformationstabelle	3-4
3.2.4	Histogramm	3-4
3.2.5	Schwellwert	3-6
3.2.6	Filter	3-7
3.3	DAS LANDSAT-SATELLITENSYSTEM	3-9
3.3.1	Allgemeines	3-9
3.3.2	Der Multi-Spektral-Abtaster MSS	3-11
3.3.3	Das Return-Beam-Vidikon System RBV	3-11
3.3.3.1	Systembeschreibung	
3.3.3.2	Geometrische und radiometrische Eigenschaften	
3.4	BILDVERBESSERUNG	3-14
3.4.1	Rauschen	3-14
3.4.2	Geometrische Bildfehler	3-15
3.4.3	Radiometrische Bildfehler	3-17
3.4.3.1	Angleichung der Sensormeßwerte	
3.4.3.2	Atmosphäre	
3.4.3.3	Sonnenstand	
3.4.3.4	Exposition	
3.5	BILDVERSTÄRKUNG	3-21
3.5.1	Kontrastverstärkung	3-21

3.5.2	Farbsysteme	3-22
3.5.2.1	Farbdarstellung	
3.5.2.2	Intensität, Farbton, Sättigung (IHS)	
3.5.2.3	Pseudofarbdarstellung	
3.5.3	Kantenverstärkung	3-24
3.5.4	Behandlung von Mehrfachbildern	3-25
3.5.4.1	Multispektrale Einzelbilder	
3.5.4.2	Multi-Temporale Bilder	
3.5.5	Gemeinsame Darstellung von Bild und Karte	3-27
3.6	BILDÜBERLAGERUNG UND ENTZERRUNG	3-27
3.6.1	Allgemeine Definition	3-27
3.6.2	Das Korrespondenzproblem	3-28
3.6.3	Bild-Karte-Entzerrung	3-29
3.6.4	Zur digitalen Bildkorrelation	3-29
3.6.5	Ergebnis der Deformationsrechnung	3-31
3.6.6	Die Herstellung des entzerrten Bildes	3-32
3.6.6.1	Multi-Sensor Bilder	
3.6.6.2	Herstellung von Bildmosaiken.	
3.7	BILDANALYSE	3-33
3.7.1	Definition	3-33
3.7.2	Grauwertebereiche und Farbe	3-33
3.7.3	Textur	3-33
3.7.4	Kanten	3-34
3.7.5	Parallele und Sequentielle Flächensuche	3-35
3.8	DARSTELLUNG DER ANALYSEERGESNISSE	3-35
3.8.1	Bildhafte und tabellarische Darstellung	3-35
3.8.2	Darstellungsgeräte	3-36
3.9	BILDDATENVERDICHTUNG	3-37
3.9.1	Allgemeines	3-38
3.9.2	Hauptkomponententransformation	3-38
3.10	SCHLUSSFOLGERUNG	3-40

ABSCHNITT 4

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

4.1	GRUNDLAGEN	4-1
4.1.1	Klassen von Parallelprozessoren	4-1
4.2	DAS BILDVERARBEITUNGSGERÄT	4-2
4.2.1	Ausstattung	4-2
4.2.2	Der Prozessorteil	4-3
4.3	KONKRETE ANWENDUNGSBEISPIELE	4-5
4.3.1	Ratiobildung	4-6
4.3.2	Kantenoperatoren	4-7
4.3.3	Berechnung des Median	4-8
4.3.4	Medianfilterung	4-9
4.3.5	Karhunen-Loeve-Transformation	4-11
4.3.5.1	Berechnung der Transformationsmatrix	
4.3.6	Operationen auf Binärbildern	4-15
4.4	FARBTRANSFORMATIONEN	4-19
4.4.1	Eine spezielle IHS - RGB Transformation	4-19
4.4.2	Praktische Durchführung	4-20
4.4.3	Beispiele	4-20
4.4.4	Beschreibung von Farbskalen	4-21

ABSCHNITT 5		DIE EINBRINGUNG BESTEHENDER KARTENINFORMATION	
5.1	DIGITALE HÖHENMODELLE		5-1
5.1.1	Das "Graz Terrain Model"		5-2
5.1.2	Darstellungen		5-3
5.2	GEOINFORMATIONSSYSTEME		5-5
5.2.1	DESBOD		5-5
5.2.1.1	Manuelle Digitalisierung		
5.2.1.2	Datenaufbau und -verwaltung		
5.2.1.3	Datenzugriff		
5.2.1.4	Datenanalyse		
5.2.1.5	Kartendarstellung und Informationsausgabe		
5.2.1.6	Überführung in Rasterform		
5.3	HERSTELLUNG VON DATENSÄTZEN		5-10

ABSCHNITT 6		AUTOMATISCHE KLASSIFIZIERUNG DES BILDINHALTES	
6.1	BEGRIFFSBESTIMMUNGEN		6-1
6.1.1	Statistische und strukturelle Verfahren		6-1
6.1.2	Unüberwachte und überwachte Verfahren		6-2
6.1.3	Diskriminanzfunktionen		6-3
6.1.4	Fehlerabschätzungen		6-5
6.2	MERKMALSAUSWAHL		6-6
6.3	EIN SYSTEM ZUR AUTOMATISATIONSGESTÜTZTEN KLASSIFIZIERUNG		6-7
6.3.1	Definition von Trainingsgebieten		6-7
6.3.2	Interaktive Kontrollklassifizierung		6-9
6.3.3	Multivariate Klassifizierung		6-10
6.3.4	Darstellung		6-14
6.3.5	Weiterbearbeitung		6-14
6.4	AUSBLICK		6-15

ABSCHNITT 7		BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES	
7.1	MOTIVATION		7-1
7.2	DER DATENSATZ		7-1
7.3	AUSWAHL DES BEARBEITUNGSGEBIETES		7-3
7.4	GEOMETRISCHE BEARBEITUNG		7-6
7.4.1	Relative Entzerrung		7-6
7.4.2	Absolute Entzerrung		7-7
7.4.3	Diskussion		7-11
7.5	ÜBERLAGERUNG VON KARTENDATEN		7-13
7.5.1	Digitales Geländemodell		7-13
7.5.2	Topographische und thematische Karten		7-17
7.6	VERSUCHE ZUR AUTOMATISCHEN KLASSIFIZIERUNG		7-18
7.6.1	Klassenwahl und Trainingsgebiete		7-18
7.6.2	Klassifizierung		7-23
7.6.3	Darstellung		7-27
7.6.4	Diskussion		7-29

ABSCHNITT 8 ANWENDUNG BEI DER ERFASSUNG DES NATURRAUMPOTENTIALS

8.1	ALLGEMEINES	8-1
8.2	GEOLOGIE - HYDROGEOLOGIE	8-2
8.3	HYDROLOGIE	8-3
8.4	BODENKUNDE	8-3
8.5	VEGETATION	8-4
8.6	LANDNUTZUNG	8-4
8.7	KLIMATOLOGIE	8-4
8.8	DISKUSSION	8-5

ABSCHNITT 9 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

LITERATUR

DIBAG - BEFEHLSVORRAT

DEANZA - BEFEHLSVORRAT

ABSCHNITT 1

EINLEITUNG

1.1 SATELLITENFERNERKUNDUNG

Die Fernerkundung ist mit der Entwicklung der Erschließung des Weltraumes eng verknüpft. Erste operationelle Anwendungen der Satellitenfernerkundung lagen im Bereich der Meteorologie und beruhten auf der systematischen Nutzung von Satellitensystemen zur Beobachtung der Erdoberfläche mittels bildgebender Systeme. Weitere Bereiche der Erdwissenschaften wurden für die Satellitenfernerkundung durch die systematische Datenerfassung im U.S. LANDSAT-Programm erschlossen. Die daraus resultierenden Satellitenbilder liegen nunmehr seit zehn Jahren vor. Die bisher vier derartigen Satelliten haben zu einem weltweiten quasi-operationellen Datenfluß geführt, obwohl das LANDSAT-Programm experimentellen Charakter hat und derzeit noch weiter behält. Mit dem bisher letzten Satelliten, LANDSAT 4, wurde 1982 ein neues Meßinstrument in Form des "Thematic Mapper" in eine Umlaufbahn gebracht, das die bisher etwa 80 m Bodenauflösung auf 30 m pro Bildpunkt verbessert. Derzeit (1983) ist der seit 1972 ununterbrochene Datenfluß wegen technischer Mängel unterbrochen, wird jedoch zu Beginn 1984 mit einem weiteren Satelliten wieder aufgenommen.

Weitere Satellitenbilder wurden in meteorologischen und kurzen geowissenschaftlichen Experimenten erstellt, haben aber in Österreich keine relevanten Auswirkungen erzielt (Skylab, 1972, mit zwei Kameras; HCMM, 1977, Thermalabtastung; Seasat, 1978, Radarbildsystem).

Meteorologische Satellitensysteme zählen nur zum Teil auch zur Fernerkundung, da sie eine wesentlich andere Kategorie der geometrischen Auflösung bringen (einige Kilometer je Pixel) und daher für die meisten geowissenschaftlichen Fragestellungen außerhalb der Meteorologie wenig Bedeutung haben. Nur im Sinne synergetischer Datenverknüpfungen sind diese meteorologischen Satelliten von Bedeutung, beispielsweise für Landnutzungs- oder Bodenkundeuntersuchungen.

Trotz der seit 1972 laufenden intensiven Forschungsarbeiten mit Bildern der Satellitenfernerkundung ist die Anwendbarkeit weltweit zum Teil unklar. Dies liegt an zwei Ursachen:

- (a) die geometrische Auflösung der Bilder ist mit etwa 80 x 80 m² für viele Problemstellungen zu grob;

EINLEITUNG

- (b) es bestehen keine Konzepte zur Nutzung des wesentlichen Vorteils der Satelliten gegenüber herkömmlicher Luftbildaufnahmen: die jahrelange, kontinuierlich wiederholte Bedeckung des gesamten Territoriums eines Landes.

Die geometrische Auflösung der Satellitenbilder wird sich in absehbarer Zeit entscheidend verbessern: nicht nur wird der ab 1984 erhoffte Bildstrom auf 30 x 30 m² Pixeldimension verbessert, auch das SPOT-Projekt der französischen Raumfahrtbehörde verspricht ab 1985 Bilder Österreichs mit 10 x 10 m² Punktgröße. Wenn also die Auswertung bestehender Satellitenbilder nur beschränkt relevante Ergebnisse bringt (ARL-Nachrichten, 1981), so ist mit höher auflösenden Daten wohl ein Durchbruch zu größerer Nutzung zu erwarten.

Die Auswertung der Satellitenbilder ist Inhalt der digitalen Bildverarbeitung, da Fernerkundungsdaten in digitaler Form zur Erde gefunkt werden. Bisher hat sich die Forschung nahezu ausschließlich mit Verfahren der Verarbeitung einzelner Farbbilder befaßt (z.B. Haberäcker, 1977); vereinzelt werden auch Mehrfachbilder gemeinsam genutzt (z.B. Lichtenegger und Seidel, 1980). Die Fachwelt steht jedoch dem gewaltigen Datenstrom aus Satelliten im wesentlichen ohne technische Hilfsmittel zur sinnvollen Bewältigung gegenüber.

Es besteht daher die Aufgabe, grundsätzliche Verfahren zu entwickeln und zu prüfen, um die Satellitenbilder unterschiedlicher Herkunft für spezielle Anwendungen zu nutzen. Dies schließt die Verknüpfung von Bildern verschiedener Zeitpunkte und von bestehenden Karten ein.

1.2 SATELLITENBILDVERARBEITUNG

Die Bilddaten werden digital, d.h. als in Matrizen angeordnete Zahlenwerte, zur Erde übertragen und auf Rechenanlagen vorverarbeitet. Die weitere Analyse erfolgt entweder durch visuelle Interpretation von Filmmaterial oder auf digitalem Wege durch Mittel der automatischen Mustererkennung.

Die Bedeutung der digitalen Bildverarbeitung im allgemeinen und ihrer Anwendung auf die Fernerkundung wurde durch die LANDSAT-Daten stark befruchtet. Die grundlegenden Darstellungen und Arbeiten stammen von Goetz u.a. (1975), Rosenfeld und Kak (1976 und 1982), Pratt (1978), Gonzalez und Wintz (1977), Hunt (1979), Moik (1980) und anderen. Viele der angewandten Verfahren lassen sich auf die Signalverarbeitung, wie sie aus der Elektrotechnik bekannt ist, zurückführen. Sie werden nun auf diskrete Strukturen übertragen. Andererseits entstehen neue Methoden im Bereich der Computerwissenschaften, der Künstlichen Intelligenz und verwandter Systeme.

Geometrische Probleme werden mit Methoden der Photogrammetrie bearbeitet, die im Umgang mit Fernerkundungsbildern eine lange Tradition aufweist (ASP, 1980). Es besteht insgesamt ein starker Trend zur Anwendung digital arbeitender Verfahren.

EINLEITUNG

Die Bildvorverarbeitung ist die Herstellung optimierter Bilder für die visuelle Interpretation. Sie schließt radiometrische und geometrische Entzerrung, Bildverbesserung und -kodierung ein (Anuta, 1977).

Zur Analyse von Bilddaten werden Verfahren der Mustererkennung herangezogen, die in Verbindung mit der Künstlichen Intelligenz ein umfassendes Feld von Anwendungen besitzt. Fu (1982) unterscheidet zwischen einem entscheidungstheoretischen Zugang, bei dem aus den Mustern charakteristische Merkmale ausgewählt und durch Unterteilungen des Merkmalsraumes Zuordnungen zu den Musterklassen getroffen werden, und dem syntaktischen oder strukturellen Zugang, bei dem strukturelle Informationen in den Mustern formal beschrieben und die Beschreibungen zur Zuordnung herangezogen werden.

Für die Auswertung von Satellitenbildern sind in vielen erdwissenschaftlichen Fachbereichen besondere Zweige entstanden, etwa in der Geographie, der Geologie, der Kartographie und den Umweltwissenschaften.

Die Entwicklung von Geräten und Verarbeitungssystemen beschäftigt wiederum die technischen Wissenschaften. Der revolutionäre Fortschritt in der Elektronik verursacht Innovationen im Bereich der Meß- und Rechentechnik und in der Datenübertragung. Der Stand der Technologie ist durchaus ausreichend, um der Satellitenfernerkundung sinnvoll dienen zu können. Damit stellt sich die Aufgabe, in der Datenverarbeitung Konzepte zur systematischen Nutzung unterschiedlicher Datenarten zu entwickeln, wobei im Grunde der repetitive Charakter von Satellitendaten zu berücksichtigen ist. Auch ist die Datenverarbeitung in enger Verbindung mit den neuen Konzepten der Geoinformationssysteme zu sehen. Die Bildauswertung wird verstärkt auf Verfahren der Mustererkennung einzugehen haben.

1.3 AUFGABE UND ZIEL DER ARBEIT

Die sinnvolle Nutzung von Daten der Satellitenfernerkundung setzt die Entwicklung geeigneter Methoden der synergetischen Verarbeitung von Bildern

- (a) verschiedener Zeitpunkte
- (b) unterschiedlicher Auflösung
- (c) verschiedenartiger Sensoren

in einem Konzept voraus, welches vor allem auch

- (d) bestehende Karteninformation
- beinhaltet.

EINLEITUNG

Kernpunkt der Arbeit ist daher die Entwicklung und Demonstration eines Verfahrensablaufs, in welchem bestehende Satellitenbilder verschiedener Jahreszeiten und unterschiedlicher Auflösung mit computerlesbaren Kartendaten gemeinsam analysiert werden. Diese umfassende Methode der Datenverarbeitung verspricht, dem Anspruch der Satellitenfernerkundung gerecht zu werden: aus stets neuen und vielfältigen Daten bisher nicht gegebene, aber nützliche Informationen zur Verfügung zu stellen. Derartige umfassende Analysekonzepte bestehen auch im internationalen Vergleich bisher kaum.

Die im Rahmen der Arbeit tatsächlich gegebenen Satellitendaten repräsentieren zwar den Stand der Technologie, sind jedoch nicht geeignet, den Wert der Fernerkundung zu beurteilen. Eine Phase der experimentellen Datenerfassung im U.S. LANDSAT-Programm legte Wert auf grundsätzlich weltweite, systematische Bedeckung, nicht jedoch auf die in einzelnen Weltregionen benötigte Detailerfassung. Derzeit findet hier ein Durchbruch zu wesentlich höher auflösenden, flexiblen und daher auch operationellen Systemen statt (SPOT, Thematic Mapper). Jedoch stehen im Rahmen der vorliegenden Arbeit diese neuen Daten noch nicht zur Verfügung.

Die Beurteilung der heute gegebenen Satellitenfernerkundungsbilder ist somit nur ein sekundäres Arbeitsziel. Primär steht die Frage der Analyseverfahren im Vordergrund.

Es werden die Ziele der Studie daher wie folgt definiert:

- (a) Verfahrensentwicklung zur gemeinsamen Analyse von Karten und Satellitenbildern;
- (b) Untersuchung von Methoden der multitemporalen Datenauswertung;
- (c) Erstellung eines Systems zur Vorverarbeitung und Kartierung von synergetischen Bild - Karte Datensätzen zur nachfolgenden visuellen Interpretation;
- (d) Prüfung der automatischen Klassifizierung der Inhalte eines synergetischen Datenbestandes;
- (e) Diskussion der Anwendbarkeit bestehender und erwarteter Satellitenbilder zur Erhebung von Planungsinformation;

Die Arbeit zerfällt in sieben Teile. Zunächst wird in Abschnitt 2 der derzeitige Stand der Datenverarbeitung in der Satellitenfernerkundung beschrieben. In Abschnitt 3 werden die derzeit gebräuchlichen Verfahren der digitalen Bildverarbeitung, soweit sie für die Fernerkundung eingesetzt werden, dargestellt und illustriert. Abschnitt 4 zeigt, wie neue Hilfsmittel, die von der Elektronikindustrie bereitgestellt werden, genutzt werden können, um dem Anwender den Zugang zu diesen Verfahren zu erleichtern.

EINLEITUNG

Die Möglichkeiten zur Verbindung neuer Bilder mit bestehenden Karten sind ein wesentlicher Faktor in der sinnvollen Nutzung der Fernerkundungsdaten. Diese Frage wird daher gesondert in Abschnitt 5 diskutiert. Die Verbindung setzt jedoch die Präzisionsentzerrung der Bilder auf bestehende Karten voraus. Für diese Aufgabe wird eine Lösung vorgestellt.

Für die Analyse der Bilddaten durch multivariate Klassifizierung werden Hilfsmittel benötigt, die dem Experten die Überwachung und das Eingreifen in den Klassifizierungsvorgang ermöglichen. Dieses - ebenfalls unter Verwendung spezieller Gerätekonfigurationen entwickelte - Verfahren ist Gegenstand von Abschnitt 6.

Ein umfassender multitemporaler Datensatz aus Gebieten der Steiermark dient in Abschnitt 7 zur Dokumentation der entwickelten Verfahren. Anhand des multidimensionalen Datensatzes werden unter Einbeziehung von Kartendaten Versuche zur automatischen Klassifizierung der Bildinhalte vorgestellt.

Die Arbeit schließt mit einer Diskussion der Anwendbarkeit der Satelliten-Fernerkundung zur Datenerhebung in der Naturraumpotentialkartierung als Beispiel einer von vielen umweltrelevanten Planungsgrundlagen. Abschnitt 8 ist ein Beitrag von G. Suetter und T. Untersweg vom Institut für Umweltgeologie der Forschungsgesellschaft Joanneum.

Es wird damit gezeigt, daß die Satellitenfernerkundung in Verbindung mit komplexen Verarbeitungstechniken zu wertvollen Ergebnissen führen kann.

ABSCHNITT 2

STAND DER DATENVERARBEITUNG IN DER SATELLITENFERNERKUNDUNG

2.1 ALLGEMEINES

In stetiger Wechselwirkung mit anderen Wissenschaftszweigen wurden in der Satellitenfernerkundung Rechenverfahren eingeführt und verfeinert. Die Reihe von Tagungen, Sammelbänden, Büchern, Forschungsberichten und Zeitschriftenveröffentlichungen ist groß. Als befruchtende Fachgebiete wirkten insbesondere die Künstliche Intelligenz mit ihren industriellen Automaten wie auch die Mustererkennung in Medizin, Biologie und industriellen Problemstellungen. In der Fernerkundung selbst sind zwei Wurzeln erkennbar: die landwirtschaftliche Bildanalyse mit Farbdaten (Multispektralanalyse; Hoffer, 1967) sowie die Bildvorverarbeitung in der planetaren Geologie aus früheren Planetenmissionen, beginnend mit Mariner 4 und Ranger 7 (Nathan, 1966).

Die heute relevanten Verfahren sind in einer grundlegenden Darstellung von Swain und Davis (1978) zusammengestellt. Mehrere Autoren des Laboratoriums für Anwendungen der Fernerkundung (engl. LARS) der Purdue-Universität geben eine Einführung in Radiometrie und Meßsysteme, digitale Verarbeitung von Daten, Klassifizierungsmethoden und Durchführung von Fernerkundungsprojekten anhand von Fallbeispielen. Im deutschen Sprachraum hat u.a. Kazmierczak (1978) eine grundlegende Einführung in die Problematik herausgegeben. Slater (1980) stellt die technischen Aspekte der Entwicklung von Meßsystemen dar und beschreibt die Eigenschaften der meisten Satellitenfernerkundungsgeräte. Eine umfassende Darstellung der Methoden der Bildverarbeitung mit Unterstützung von Rechenanlagen wurde von Moik (1980) vorgelegt.

Bisher wurde das Satellitenbild meist für sich alleine bearbeitet. Derzeit gewinnen jedoch Verfahren zur Kombination von Daten an Bedeutung. Die Verbindung von Bilddaten verschiedener Zeitpunkte (multitemporal), von verschiedenen Sensorsystemen (multispatial), oder in Kombination mit thematischer Information (Bildinformationssysteme) setzt einen hohen Grad an geometrischer Übereinstimmung voraus. Hiezu wurde der Begriff "Geokodierung" von Guertin und Shaw (1981) für ein Verfahren verwendet, bei dem die Bilddaten zusammen mit anderen räumlichen Informationen auf eine gemeinsame kartographische Projektion entzerrt werden und die Größe einer Rastereinheit ein Vielfaches oder ein Bruchteil eines Standardmaßes (etwa 50 x 50 m²) ist. Dadurch ist es möglich, Daten eines bestimmten Gebietes ungeachtet der Herkunft gemeinsam mit dem Einzelbild zu betrachten.

STAND DER DATENVERARBEITUNG IN DER SATELLITENFERNERKUNDUNG

Die Vielfalt von Verfahren wird von Goetz u.a. (1975) oder Pratt (1978) in folgende Gruppen gegliedert:

- (a) Bildaufbereitung und -restauration (geometrische und radiometrische Entzerrung);
- (b) Bildkosmetik und -verstärkung (Elimination von Störungen, Hervorheben spezieller Merkmale);
- (c) Bildanalyse (Automatische Interpretation und Klassifizierung);
- (d) Bildkodierung und -darstellung (Speicherung, Übertragung, Darstellung für die visuelle Analyse).

Andere Gliederungen betreffen nach z.B. Anuta (1977)

- (a) Vorverarbeitung für nachfolgende Interpretation;
- (b) Automatische Auswertung.

Schließlich ist zu unterscheiden, ob

- (a) Einfachbilder oder
- (b) Mehrfachbilder

zu bearbeiten sind. Unter den Analyseverfahren bestehen wiederum viele verschiedene Gruppen, z.B. Linienverfolgung, Objekterkennung, Texturanalyse usw. Dies wird im folgenden kurz diskutiert.

2.2 ZUM EINZELBILD

Die Betrachtung von Einzelbildern ist in verschiedenen Anwendungsbereichen der wesentliche Gegenstand von Untersuchungen und einer umfangreichen Literatur. Hierbei wird auch das Multispektralbild allgemein als "Einzelbild" betrachtet, obwohl es aus mehreren Farbkomponenten zusammengesetzt ist. Für den mitteleuropäischen Raum sei etwa auf die Arbeiten der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt fuer Luft- und Raumfahrt DFVLR (Haberäcker u.a. 1979), von Itten (1980) und von Götting (1982) verwiesen.

Haberäcker u.a. (1979) untersuchten die Eignung von LANDSAT-Satellitenaufnahmen für die Flächennutzungskartierung im Bereich Mannheim. Die Klassifizierung für acht Klassen erreichte eine Genauigkeit von bis zu 75 Prozent. In dieser Größenordnung liegen auch die meisten anderen Resultate für Einzelbildauswertung, die sich auf die vollständige Klassifizierung eines Bildes beziehen und nicht nur wenige Klassen untersuchen, die einen Teil des Bildinhaltes darstellen.

Dies wird im westeuropäischen Raum als unzureichend bezeichnet (ARL-Nachrichten, 1981). Erst bei Genauigkeiten von 95 Prozent wird die aus diesem Verfahren gewonnene Aussage für die Planung relevant.

STAND DER DATENVERARBEITUNG IN DER SATELLITENFERNERKUNDUNG

Baumgart und Quiel (1981) untersuchten, wie sich verschiedene Klassifizierungsverfahren auf die Güte des Ergebnisses auswirken und kamen zum Schluß, daß weniger das Verfahren, sondern die Schätzung der spektralen Eigenschaften der einzelnen Klassen die Resultate beeinflußt.

2.2.1 Behandlung von Kontext

Auf dem Gebiet der Mustererkennung werden Klassifizierungsmethoden durch die Einbeziehung von Kontext weiterentwickelt: statt jeden Bildpunkt für sich (lokal) zu bearbeiten, wird die Umgebung jedes Punktes in die Klassifizierung einbezogen.

2.2.1.1 Textur

"Kontextabhängige" Klassifizierungen sind Inhalt neuerer Untersuchungen, z.B. von Yettig und Landgrebe (1976), Swain u.a. (1980). Bei grobauflösenden Satellitendaten ist der Erfolg beschränkt, mit Genauigkeitssteigerungen zwischen 2 Prozent und 10 Prozent. Höherauflösende Flugzeugdaten geben zu größeren Leistungsverbesserungen bei Kontextbeachtung Anlaß (Dehn, 1981).

Die vorgeschlagenen Verfahren benutzen Texturparameter, also Aussagen über die den Grundstrukturen des Bildes überlagerten, mehr oder weniger periodischen Muster. Haralick (1979) gibt eine Übersicht über Texturparameter, die durch statistische oder strukturelle Betrachtung von Mustern extrahiert werden können. Fiedler (1979) untersucht natürliche und synthetische Texturen und demonstriert eine Vielzahl der anwendbaren Maße. Gurney und Townshend (1983) geben Beispiele für Kontext auch zur Verbesserung von Klassifizierungsergebnissen, die vorerst nur rein spektrale Informationen auswerten. Dabei werden Bildpunkte nach einem ersten Schritt umklassifiziert, indem die Klassenzugehörigkeit ihrer Nachbarschaft betrachtet wird. Thomas (1980) benutzt ein Verfahren zur Gewichtung der Nachbarn, das auf einem Gravitationsmodell aufbaut, Itten (1980) benutzt heuristische Gewichtsmasken. Für die Segmentierung von Texturen mittels Kanten bestehen interessante Ansätze von Granlund (1980): Er beschreibt eine Transformation, bei der Kantenrichtung und Kantenhöhe berechnet werden; nach mehrmaliger rekursiver Anwendung ergeben sich deutliche Grenzen zwischen Bereichen verschiedener Textur.

2.2.1.2 Relaxation

Kontext wird auch in sogenannten Relaxationsverfahren benutzt (Hummel und Zucker, 1980). Hier werden a-priori-Beschränkungen für die zu klassifizierenden Objekte eingeführt, etwa Lage- Form- oder Größenvorgaben. Bildpunkte werden sequentiell betrachtet und nach Vergleich mit schon errechneten Parametern Klassen zugeordnet. Die Werte der Parameter ändern sich dynamisch, sodaß Änderungen der Zuordnung bis zur Erreichung eines konsistenten Zustandes möglich sind.

STAND DER DATENVERARBEITUNG IN DER SATELLITENFERNERKUNDUNG

Die Verfahren sind extrem rechenaufwendig und derzeit auf große Datenmengen noch nicht anwendbar. Sie werden zumeist bei der Analyse kleiner Bilder aus Biologie und Medizin eingesetzt.

2.3 ZU MEHRFACHBILDERN

2.3.1 Multi-Temporal

Die Genauigkeit der Klassifizierung läßt sich durch Verwendung von Daten mehrerer Zeitpunkte erheblich steigern, auch läßt sich die Klasseneinteilung verfeinern, wie z.B. Lichtenegger und Seidel (1980) zeigen: Durch die Verwendung von Bildern von fünf verschiedenen Zeitpunkten, also von 20 Einzelbildern, konnte die Klassifizierungsgenauigkeit auf über 90 Prozent gesteigert werden. Einzelne Feldfrüchte lassen sich voneinander trennen, sofern die geometrische Auflösung geeignet ist. Ähnliche Resultate erzielen auch Saint u.a. (1983) für ein landwirtschaftlich genutztes Gebiet, wobei höherauflösende Daten aus dem LANDSAT-4 und SPOT-Simulationsprojekt verwendet werden.

2.3.2 LANDSAT-MSS und RBV

LANDSAT RBV und MSS-Bilder wurden von Lauer und Todd (1981) überlagert, um die höhere geometrische Auflösung der RBV-Daten und die radiometrisch besseren MSS-Daten synergetisch zur Kartierung zu verwenden. Die Kombination ermöglichte eine schnellere visuelle Interpretation des Bildinhaltes, jedoch erscheint die Genauigkeit für kleinmaßstäbige Karten nach wie vor zu gering. Zum selben Schluß kommen auch Konecny u.a. (1982) und Leberl (1982).

2.3.3 Radar

Weitere Versuche zur Verwendung von Daten verschiedener Sensorsysteme unterschiedlicher Auflösung werden z.B. von Daily u.a. (1979) für Flugzeug-Radar beschrieben, wobei in der Tradition geologischer Arbeiten das Ziel der Verarbeitung nur in der Überlagerung der Bilder lag, die Interpretation jedoch visuell durchgeführt wurde. Rebillard und Evans (1982) überlagerten LANDSAT- und SEASAT-Radar-Bilddaten und benutzten sodann eine automatische lineare Diskriminanzanalyse zur Merkmalsauswahl für die nachfolgende visuelle geologische Interpretation. Auch Wu (1980) berichtet von einer geringfügigen Verbesserung der automatisch erzielten Klassifizierungsergebnisse, wenn LANDSAT-MSS mit SEASAT-Radar-Bildern überlagert werden.

STAND DER DATENVERARBEITUNG IN DER SATELLITENFERNERKUNDUNG

2.4 EINBRINGUNG EXTERNER DATEN

Kombinationen von LANDSAT-Daten mit thematischen Daten sind für die kennntnisgestützte Interpretation und Erkennung von Bildmerkmalen wichtig. Die Überlagerung mit digitalen Geländemodellen erlaubt die Korrektur von Meßdaten, die durch topographische Einflüsse verzerrt sind.

2.4.1 Thematische Information

Kartendaten werden meist nur zur Darstellung der Szenen überlagert. Die Arbeit von Götting (1982) führte die klassifizierte Szene der Umgebung von Tübingen mit einer Karte im Rasterformat zusammen, um auf diese Weise digital Druckvorlagen für die Kartenherstellung zu erhalten. Ähnliche Versuche führte Gilgen (1981) durch, der die überlagerten Kartenraster benutzte, um dem Experten bei der Weiterführung bestehender Landnutzungskarten eine Interpretationshilfe zu geben. Die Umklassifizierung erfolgte interaktiv aufgrund von Bilddaten eines flugzeuggetragenen Meßgerätes (Bendix M2S).

Barrow u.a. (1977) und Tenenbaum u.a. (1979) stellen erste Versuche zur Bild-Karte-Entsprechung vor. Kropatsch und Leberl (1981) verwenden Kartendaten zur Unterstützung der automatischen Erkennung von flächen- und linienhaften Objekten zur Gewinnung von Passpunkten für die geometrische Entzerrung von Satellitenbildern. Ranzinger und Kropatsch (1983) wenden die Methoden auf digitalisierte Luftbilder an. Nagy (1982) regt an, vermehrt Datenbanksysteme für zweidimensionale Daten zu entwickeln, mit deren Hilfe umfassende geographische Informationssysteme aufgebaut werden sollen.

2.4.2 Digitale Geländemodelle

Seidel u.a. (1982) verwenden ein digitales Geländemodell zur Entzerrung eines Bildes mit starkem Relief und benützen Karten aus einem simulierten Beleuchtungsbild und aus den LANDSAT-Daten zur Korrelation sowie zur Schneebedeckungskartierung. Justice u.a. (1981) konnten experimentell die Variation der Meßdaten, die durch verschiedenen Lichteinfall entsteht, unter Verwendung von Höhendaten verringern. Henderson (1981) entzerrte eine ganze Szene radiometrisch, macht jedoch über Auswirkungen auf Klassifizierungsgenauigkeitsverbesserungen noch keine Aussagen. Zur Interpretationshilfe werden aus der Kombination Satellitenbild-Höhenmodell auch synthetische Stereobilder hergestellt (Batson u.a. 1976). Die Präsentation von Fernerkundungsdaten durch perspektive, errechnete Ansichten ist Gegenstand einer Arbeit von Tanaka und Suga (1979) am Beispiel des Fujijama-Vulkans.

STAND DER DATENVERARBEITUNG IN DER SATELLITENFERNERKUNDUNG

2.5 GEOMETRISCHE MANIPULATIONEN

Für die geometrische Entzerrung und Überlagerung sind in der Satellitenbildverarbeitung vor allem Verfahren im Einsatz, die Bilder einer definierten Kartenprojektion oder einander durch Vorgabe von meist manuell eingegebenen Entsprechungspunkten in den betrachteten Bezugssystemen angleichen. Das Problem zerfällt in 2 Schritte:

- (a) Deformationsrechnung
- (b) Resampling oder eigentliche Entzerrung.

Passpunkte werden zur Berechnung der Koeffizienten einer sogenannten parametrischen oder interpolativen Transformation verwendet, durch die die Lage der Punkte im Zielsystem angenähert wird. Danach folgt die Entzerrung. Eine einführende Darstellung stammt von Konecny (1976).

Korrelationsmethoden können Korrekturen für die endgültige Überlagerung liefern, wenn die Aufgabe besteht, zwei Bilder einander anzugleichen. Wiesel (1982) zeigt unter dem Begriff "relative Entzerrung", daß dabei für gleichartige Bilddaten eine Genauigkeit von 0.15 Pixel erreichbar ist.

Neuere Verfahren benutzen zur Deformationsrechnung eher parametrische Modelle über die Abbildungsgeometrie der Meßgeräte, insbesondere bei höherauflösenden Daten für die digitale Herstellung von Orthophotos (Göpfert, 1981) oder die Entzerrung von Bildern von flugzeuggetragenen Multispektralabtastern.

2.6 OPERATIONELLE VERFAHREN

Neben den rein experimentellen Untersuchungen zur Informationsgewinnung aus Satellitenbilddaten beschränkter Gebiete wird auch versucht, Erfahrungen mit semi-operationellem Einsatz von Fernerkundungsmethoden für großräumige Betrachtungen zu gewinnen. Das Large Area Crop Inventory Experiment LACIE (Baker 1982), begonnen im Jahre 1975, diente der Vorhersage von Ernteerträgen von Weizen in mehreren Bundesstaaten der USA. Die extensive, großflächige Agrarwirtschaft dieser Gegenden machte es möglich, für eine dominante Feldfrucht die Prognosegenauigkeit auf über 90 Prozent zu bringen.

Das Nachfolgeprojekt AgRISTARS (Mergerson u.a., 1982) in den Jahren 1980 und 1981 konzentrierte sich auf die Überwachung des Anbaues von Mais und Sojabohnen in vier Bundesstaaten und erzielte ähnliche Ergebnisse auf einer noch weitergehenden operationellen Basis. Die angewandten Methoden sind jedoch auf ein Landnutzungsmuster, wie es in Mittel- und Westeuropa vorherrscht, nicht direkt übertragbar.

STAND DER DATENVERARBEITUNG IN DER SATELLITENFERNERKUNDUNG

2.7 SOFTWARE

Die Entwicklung adäquater Programmsysteme kann der sprunghaften Entwicklung auf dem Gerätesektor nicht folgen. Preston (1980) und Fu (1983) vergleichen bekannte, operationell genutzte Datenbank- und Bilddatenverarbeitungssysteme. Für die Fernerkundung sind dies z.B. das auf dem Programmpaket VICAR aufgebaute IBIS des Jet Propulsion Laboratory (Bryant und Zobrist, 1976), IMALD und LARSYS von der Purdue-Universität (LARSYS, 1973) und KANDIDATS von der Universität von Kansas (Haralick u.a., 1976). Im deutschen Sprachraum besteht DIBIAS (Triendl u.a., 1982), entwickelt von der DFVLR; am Geographischen Institut der Universität Zürich wurde ZAR (Steiner, 1980) entwickelt; am Institut für Kommunikationswissenschaften der Universität Zürich existieren umfangreiche Programmbibliotheken (Besse u.a., 1981); die Universität Hannover verfügt über das Bildverarbeitungssystem MOBI-DIVAH (Dennert-Möller u.a., 1982), die Universität Karlsruhe über DIDAK (Wiesel, 1977); am Institut für Digitale Bildverarbeitung und Graphik des Forschungszentrums Graz besteht DIBAG (Ranzinger, 1981).

2.8 HARDWARE

Zur effizienten Anwendung der Algorithmen auf Bilddaten werden, unterstützt von der Miniaturisierung elektronischer Bauteile, spezielle Systeme zur Beschleunigung der Abarbeitung der Daten entwickelt. Danielsson und Levialdi (1981) unterscheiden Rechnerarchitekturen, die Operationsschritte, die Nachbarschaftsbetrachtung oder die Bildmatrixbearbeitung parallelisieren. Die Entwicklung führt hier zur Vielprozessorsystemen, die als Zellularmatrizen bezeichnet werden. Rosenfeld (1983) beschreibt einige Algorithmen, die durch Verwendung solcher Rechner von mit der Dimension der Bildmatrix quadratisch steigendem Aufwand auf linearen Zeitbedarf beschleunigt werden können. Ein fortgeschrittenes System ist der sogenannte Massive Parallelprozessor MPP, der mit 128 x 128 miteinander verbundenen Recheneinheiten arbeitet (Potter, 1983). Dieses Gerät wird im Rahmen der Bilddatenverarbeitung des LANDSAT-4 Thematic Mapper eingesetzt.

2.9 SCHLUSSFOLGERUNG

Die maschinelle Bearbeitung von Digitalbildern ist eine eigene technische Disziplin, welche schon heute vielfältige Anwendungen besitzt; für andere etablierte bildverarbeitende Fachgebiete, wie etwa die Photogrammetrie, ist dies noch nicht selbstverständlich. Industrielle Produkte sind zur Serienreife entwickelt und erhältlich.

In Verbindung mit der Fernerkundung als einem von vielen Einsatzgebieten wird bisher die Bildvorverarbeitung betont; der Schwerpunkt der methodischen Entwicklungen verlagert sich nunmehr von der Nutzung von Einzelbildern zur synergetischen Verwendung von Mehrfachbilddatensätzen. Einige Aspekte dieser Entwicklung wurden in diesem Abschnitt beleuchtet.

ABSCHNITT 3

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

3.1 EINTEILUNG DER VERFAHREN

Im folgenden wird mittels Daten eines österreichischen Gebietes eine Sequenz von Verfahren zur Verarbeitung digitaler Satellitenbilder illustriert. Hierzu wird der gesamte Methodenvorrat in folgende Gruppen gegliedert:

- (a) Bildverbesserung
- (b) Bildverstärkung
- (c) Bildüberlagerung
- (d) Bildanalyse
- (e) Bildbeschreibung

Diese Gliederung entspricht etwa jener im vorigen Abschnitt genannten von Goetz u.a. (1975) oder von Pratt (1978). Es wird jedoch als sinnvoll empfunden, die geometrischen Manipulationen zur Überlagerung von zwei Bildern und die Bildbeschreibung im Gegensatz zu Goetz und Pratt wegen ihrer Bedeutung gesondert hervorzuheben. Die Verarbeitungsstufen (a) bis (c) dienen der Vorbereitung der Bilder für die nachfolgende Informationsgewinnung und -darstellung in den Stufen (d) und (e).

Ziel der folgenden Darstellung ist es, einige typische Verfahren der heute gebräuchlichen Satellitenbildverarbeitung als Referenz für die nachfolgenden Arbeitsabschnitte darzustellen und zu diskutieren. Der Bezug auf lokale Daten kann den Zugang zur Argumentation erleichtern.

In Abschnitt 4 wird gesondert die im Rahmen der Arbeit durchgeführte Implementierung von Methoden mit Hilfe eines Bildverarbeitungsgerätes beschrieben, um die besondere Problematik und die erweiterten Möglichkeiten bei dessen Verwendung hervorzuheben.

Bevor auf konkrete Verfahren der Bilddatenverarbeitung eingegangen wird, seien einige bekannte Begriffe nochmals erläutert. Es handelt sich dabei um grundlegende Definitionen, auf die an vielen Stellen

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

dieser Arbeit bezuggenommen wird.

Daran schließt eine kurze Beschreibung des LANDSAT - Satellitensystems an, da einige der Methoden nur in Kenntnis der besonderen Eigenschaften der Meßsysteme verständlich werden.

3.2 GRUNDBEGRIFFE

3.2.1 Das digitale Bild

Unter dem Begriff Messung in weitestem Sinn versteht man die Aufzeichnung eines Sachverhaltes. Im vorliegenden Zusammenhang werden Messungen von Funktionswerten von Funktionen betrachtet, deren Definitionsbereich ein Bereich der Erdoberfläche ist. Zur Festlegung des Definitionsbereiches lassen sich Koordinatensysteme definieren, wobei rechtwinkelige Koordinatensysteme die größte Bedeutung haben (unter rechtwinkelig sei hier die relative Lage der Koordinatenachsen verstanden, nicht die Rechtwinkeligkeit eines Flächenelementes im geometrischen Sinn).

Zwei Arten der Aufzeichnung von Funktionswerten werden unterschieden, die analoge und die digitale Aufzeichnung.

Bei der analogen Aufzeichnung werden Funktionswerte durch physikalische oder chemische Veränderungen des Aufzeichnungsmediums repräsentiert. Beispiele dafür sind die Schwärzung von Filmmaterial aufgrund von Lichteinwirkung (Photographie) oder die Verformung von plastischem Material aufgrund von Krafteinwirkung.

Für die weitere Verarbeitung erweist sich in vielen Fällen die Aufzeichnung in Form von Zahlenwerten als notwendig. Der Vorgang der Umsetzung eines analog dargestellten Funktionswertes in eine Zahl (aus einer endlichen Zahlenmenge) wird Digitalisierung genannt. Diese (weite) Definition schließt beispielsweise das Ablesen eines Meßwertes von einer Skala (Analogdarstellung) und seine Aufzeichnung auf Papier mit ein. Im engeren Sinne wird von digitaler Erfassung überall dort gesprochen, wo die Umsetzung des gemessenen Funktionswertes in Zahlenform durch das Meßinstrument selbst erfolgt.

Diese Umsetzung wird von sogenannten Analog-Digital-Konvertern durchgeführt. Eingabe ist das stetige analoge Signal, das durch die Messung erzeugt wird und in einem funktionalen Zusammenhang mit der zu messenden Größe steht. Das Signal ist eine Funktion der Zeit. Soll über eine Fläche gemessen werden, dann muß das Meßgerät so konstruiert sein, daß zu verschiedenen Zeitpunkten verschiedene Teilflächen im "Sichtfeld" der Meßeinrichtung erscheinen, etwa durch die Bewegung der Meßeinrichtung über die Fläche hinweg. Im Konverter wird nun sowohl die Zeitachse als auch die Funktionswertachse in diskreten Intervallen betrachtet. Die Intervalle der Zeitachse werden als Abtastintervalle (sampling intervals) bezeichnet und durch die Frequenz eines Zeitgebers bestimmt. Die Einteilung der Funktionsachse erfolgt durch Vorgabe von Werten $f_0 < f_1 < \dots < f_n$.

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

Diesen Werten entsprechen Zahlen d_0, d_1, \dots, d_n . Zu jedem Abtast-Zeitpunkt t_i wird nun bestimmt, in welchem der Intervalle $[f_k, f_{k+1})$ der Wert des Signals $f(t_i)$ liegt. Der zu dem Intervall gehörende Wert d_k wird als digitales Meßergebnis festgehalten.

Wird bei der Messung von Funktionen auf Flächen das Meßgerät systematisch über die Flächen geführt und das Signal zu regelmäßigen Zeitpunkten digitalisiert, dann lassen sich die Meßergebnisse in Matrixform darstellen. Eine solche Matrix soll hier als digitales Bild bezeichnet werden.

Ein digitales Bild ist also eine Abbildung

$$\begin{array}{l} M \times N \quad \text{-->} \quad G \\ (i,j) \quad \text{-->} \quad g(i,j) \end{array} \quad (3.1)$$

mit M, N (ganzzahlige) Indexmengen und G als endliche Teilmenge einer Zahlenmenge. Ein Wert g aus G wird als Digitale Zahl (Digital Number, DN) oder Grauwert (gray value) bezeichnet. Das Matricelement selbst heißt Bildpunkt oder Pixel (von engl. picture element).

Abweichend von der in der Mathematik gebräuchlichen Indizierung wird zuerst der Spaltenindex, dann der Zeilenindex angegeben. Damit wird der zeitlichen Folge der Meßwerte Rechnung getragen. Unter einem Fenster versteht man eine Teilmatrix des digitalen Bildes. Es ist üblich, diese durch Angabe des Index des linken oberen Elementes sowie durch die Spalten- und Zeilenanzahl zu definieren. Schließlich ist zu beachten, daß abweichend vom kartesischen Koordinatensystem die y - (Zeilen-) achse nach unten gerichtet ist. Diese Tatsachen sind von Bedeutung, wenn Bilddaten mit Daten anderer Herkunft (beispielsweise Kartendaten) verknüpft werden sollen.

Besondere Bedeutung für die Verarbeitung der Meßdaten haben Grauwertmengen, die Teilmengen der natürlichen Zahlen sind, und hier wieder Mengen der Form $\{0 \dots 2^q\}$ mit den Spezialfällen $q = 8$ (Byte) und $q = 1$, die sich für die Darstellung auf Datenverarbeitungsanlagen besonders eignen. Letztere Bilder (mit nur zwei möglichen Grauwerten 0 und 1) werden als Binärbilder bezeichnet.

Für gewisse Berechnungen auf Bildern ist es jedoch notwendig, G als Menge aller maschinell darstellbaren Zahlen zu definieren, um reell- oder komplexwertige Verarbeitungen durchführen zu können.

Besonders hingewiesen sei auf die Bedeutung von Binärbildern, die als Darstellung zweiwertiger Funktionen die elementaren Bausteine in der Bildverarbeitung sind. Sie entstehen durch die Abtastung eines Signals mit nur 2 Diskretisierungsintervallen $(-\infty, t]$ und (t, ∞) , wobei t Schwellwert (threshold) genannt wird. Binäre Darstellungen sind auch durch logische Operationen auf Bildern herstellbar.

Entsprechen den (ganzzahligen) Grauwerten des Bildes thematische Informationen, dann soll im vorliegenden Zusammenhang das Bild als thematisches Bild bezeichnet werden. Ein Beispiel dafür ist die Darstellung von vorherrschenden Landnutzungen (Siedlung, Grünfläche, Wald, ...) in einem Hektarraster.

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

3.2.2 Operationen auf Bildern

Für den nun eingeführten Operanden "Bild" sind die mathematischen Operationen zu definieren oder zu erweitern. Auch hier ist es notwendig, von den aus der Algebra bekannten Festlegungen abzuweichen.

Eine große Anzahl von Operationen bezieht sich auf einzelne Pixel oder eine lokale Umgebung. Da eine Kenntnis globaler Zusammenhänge nicht gefordert wird, können sie "parallel", also theoretisch gleichzeitig auf allen Punkten durchgeführt werden. Additive und multiplikative Verknüpfungen von Bildern, aber auch die Addition und Multiplikation mit Skalaren sowie Funktionen wie Quadratwurzel, Logarithmus und andere werden punktweise ausgeführt. Im Gegensatz dazu stehen "sequentielle" Verfahren, bei denen jede Berechnung von der Kenntnis des Resultates der vorhergegangenen Berechnung auf einem anderen Bildpunkt abhängt.

Die Unterscheidung der Bildoperationen in parallele und sequentielle Operationen ist für die Implementierung durch spezielle Gerätetypen bedeutsam. Parallel arbeitende Verfahren sind dabei effizienter unterstützbar als sequentielle, jedoch beruhen tiefergehende Analysen von Bildinhalten meist auf sequentiellen Operationen. Für diese befindet sich die Entwicklung entsprechender Geräte jedoch noch in einem Anfangsstadium.

3.2.3 Transformationstabelle

Allgemein kann eine einargumentige Funktion $f(x)$ auf einer endlichen Definitionsmenge, etwa einem ganzzahligen Intervall $[0, K]$ dargestellt werden, indem für jeden Wert x aus $[0, K]$ der Wert $f(x)$ angegeben wird. In der Bildverarbeitung gilt meist die Einschränkung, daß auch $f(x)$ im Intervall $[0, K]$ liegen muß. Die Funktion läßt sich also aufzählen und in Tabellenform darstellen.

In dieser Tabelle (engl. Lookup-Table, LUT) wird für jeden Eingangswert x der entsprechende Ausgangswert $f(x)$ festgehalten. Die Bilddaten durchlaufen diese Tabelle, sobald sie mit Werten beschickt und aktiviert wird, bei der Verarbeitung und werden entsprechend transformiert. Dies geschieht entweder programmgesteuert oder, bei Verwendung von speziellen Geräten, durch eingebaute Schaltungen.

Abbildung 3.1 zeigt die Darstellung einer Funktion $f(x)$ und deren Repräsentation durch Aufzählung.

3.2.4 Histogramm

Wird ein digitales Bild als Folge von Ereignissen im Sinne der Wahrscheinlichkeitstheorie, also als Repräsentation der Werte einer Zufallsvariablen, interpretiert, dann lassen sich Eigenschaften des Bildes durch statistische Verfahren beschreiben.

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

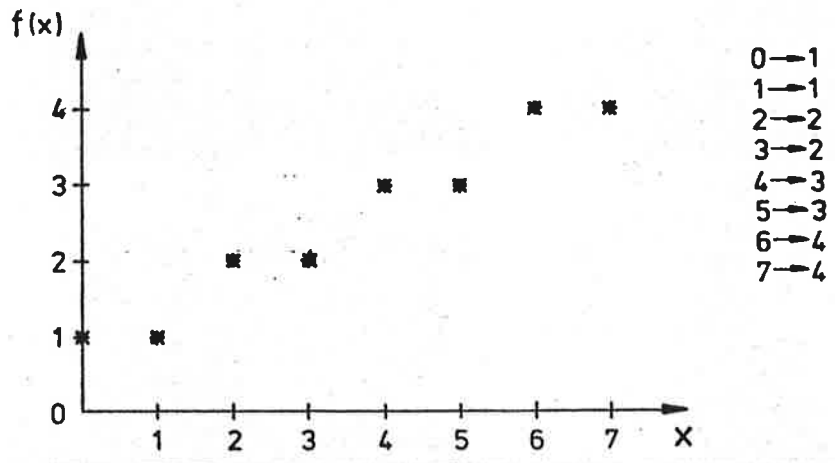


Abbildung 3.1: Beispiel einer Lookup-Tabelle zur Transformation des Intervalles (0,7) in das Intervall (1,4).

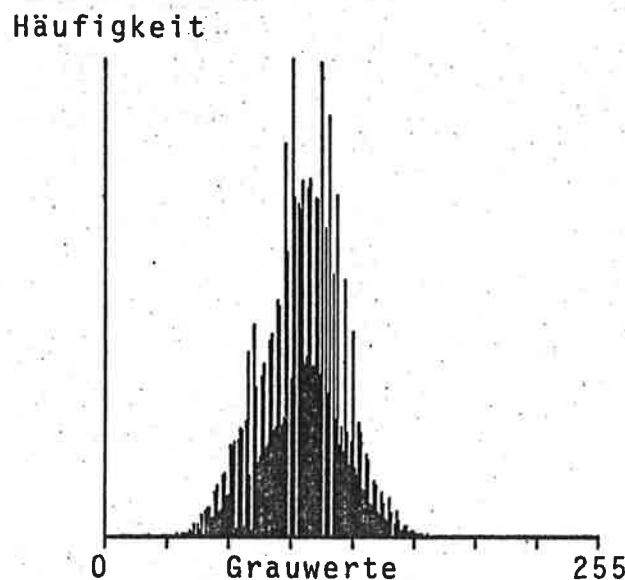


Abbildung 3.2: Beispiel eines Histogrammes.
(LANDSAT-MSS Ausschnitt GRAZ, Kanal 7; unentzerrt)

Eine wichtige Charakterisierung stellt die Dichtefunktion der Pixelwerte, das sogenannte Histogramm, dar. Zu jedem Grauwert wird dabei die Häufigkeit seines Auftretens im Bild oder in Teilbereichen des Bildes festgestellt und tabelliert:

$$h_i = \text{Anzahl der Pixel mit Wert } i, \quad i = 0, \dots, K$$

(3.2)

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

Mittelwert und Standardabweichung einer Menge von n Bildpunkten sind durch

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^K i h_i \quad (3.3)$$

und

$$s^2 = \left(\sum_{i=0}^K i^2 h_i - m^2 / n \right) / (n - 1) \quad (3.4)$$

gegeben.

Abbildung 3.2 zeigt die graphische Darstellung eines Histogramms. Liegen mehrere Einzelbilder mit übereinstimmender Geometrie vor, dann läßt sich die Histogrammbildung verallgemeinern: Seien i_1, i_2, \dots, i_n die Grauwerte eines Pixels in den n Einzelbildern, dann wird durch

$$h(i_1, i_2, \dots, i_n) \quad (3.5)$$

die Anzahl der Pixel bezeichnet, die im Bild 1 den Wert i_1 , im Bild 2 den Wert i_2 usw. haben. Die Tabellierung von (3.5) wird als n -dimensionales Histogramm bezeichnet.

Für größere Dimensionen als $n = 2$ ergibt sich das Problem, daß die Darstellung mit konventionellen Speichermethoden nicht mehr möglich ist. Schon für $n = 3$ würden für 256 Grauwerte über 16 Millionen Speicherplätze gebraucht, wovon die meisten den Wert 0 enthalten würden. Es bietet sich an, entweder die Quantisierung der Bilddaten in weniger Stufen durchzuführen oder Algorithmen zu verwenden, die die Speicherstruktur so aufbauen, daß nur Bereiche mit Werten ungleich 0 evident gehalten werden.

Auch die graphische Darstellung mehrdimensionaler Histogramme ist für $n > 3$ nicht mehr anschaulich. Abbildung 3.3 zeigt ein zweidimensionales Histogramm für LANDSAT-MSS-Kanäle.

3.2.5 Schwellwert

Durch sogenannte Schwellwertbildung (engl. thresholding) werden Bildpunkte eines Bildes G markiert, deren Grauwerte in einem Grauwertintervall liegen. Das Resultat ist ein binäres Bild B mit Bildpunkten b , in dem

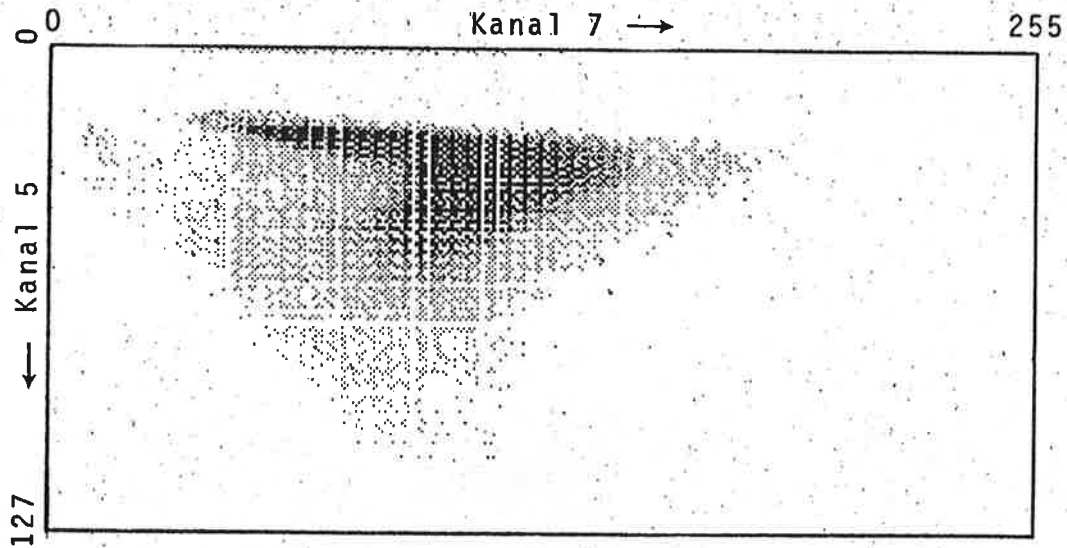


Abbildung 3.3: Zweidimensionales Histogramm. Die Schwärzung ist proportional zur Häufigkeit der Grauwerte. (LANDSAT-MSS Ausschnitt GRAZ, Kanäle 5 und 7; unentzerrt)

$$\begin{aligned}
 b &= 1 && \text{für } t \leq g \leq t' && (3.6) \\
 b &= 0 && \text{sonst}
 \end{aligned}$$

mit t, t' als Schwellwerten. Für mehrere Bilder führt das Verfahren auf

$$\begin{aligned}
 b &= 1 && \text{für } t_i \leq g_i \leq t_i' && \text{für alle } i && (3.7) \\
 b &= 0 && \text{sonst}
 \end{aligned}$$

das einfach durch logische Durchschnittsbildung über die einzelnen Binärbilder durchgeführt werden kann; in der Klassifizierung ist dies als Parallelepipedmethode bekannt (Haberäcker, 1977).

Die Schwellwertfunktion ist in Abbildung 3.4 dargestellt.

3.2.6 Filter

Auf digitale Daten werden Filter im Frequenzbereich oder Filter im Ortsbereich angewandt, um die Bilddaten zu verbessern oder Merkmale hervorzuheben.

Für die Anwendung von Filtern im Frequenzbereich ist die Umbildung mit Hilfe der schnellen Fouriertransformation (Gonzalez und Wintz, 1977 oder Moik, 1980) Voraussetzung. Die Filter lassen sich auf die

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

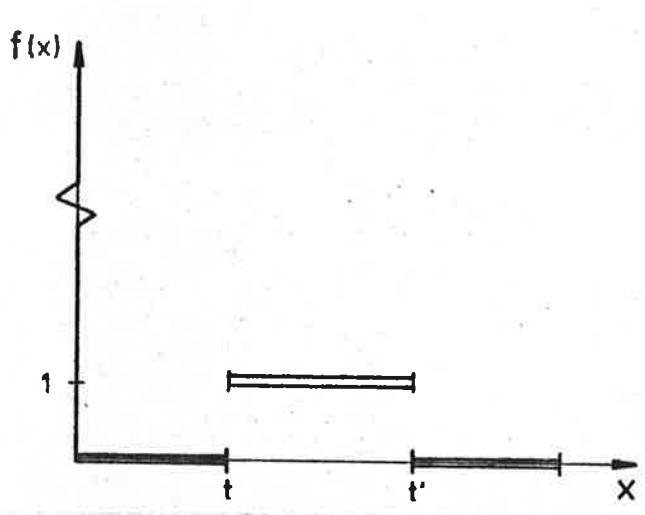


Abbildung 3.4: Lookup-Tabelle zur Ausführung der Schwellwertoperation.

konkreten Daten zuschneiden, sodaß gut auf die Eigenarten von Störungen eingegangen werden kann. Nach der Filterung erfolgt die Rücktransformation der Daten in den Ortsbereich. Diese Vorgangsweise ist sehr flexibel und effizient, verursacht jedoch einen hohen Rechenaufwand. Daher wurde in dieser Arbeit von ihrem Einsatz Abstand genommen.

Filter im Ortsbereich arbeiten auf den Bilddaten selbst und werden folgendermaßen definiert:

Sei F eine $m' \times n'$ -Matrix, meist mit m', n' ungerade, also $m' = 2m + 1$ und $n' = 2n + 1$; f seien ihre Elemente. G sei die Bildmatrix, ihre Elemente (Bildpunkte, Pixel) werden mit g bezeichnet. i, j, k und l sind Indizes. Dann heißt die Operation

$$G' = G * F \quad (3.8)$$

$$g'(i, j) = \sum_{k=-m}^m \sum_{l=-n}^n g(i+k, j+l) f(k, l)$$

Filterung des Bildes G im Ortsbereich mittels des Filters F . Die Werte i und j durchlaufen die Spalten- bzw. Zeilen-indexmengen. Am Rand der Bildmatrix kann die Berechnung nicht oder nicht vollständig erfolgen. Je nach Anwendung werden hier die Filter entsprechend verkleinert oder die Berechnung überhaupt nicht durchgeführt, sodaß ein um $2m$ Spalten und $2n$ Zeilen kleineres Ergebnisbild entsteht.

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

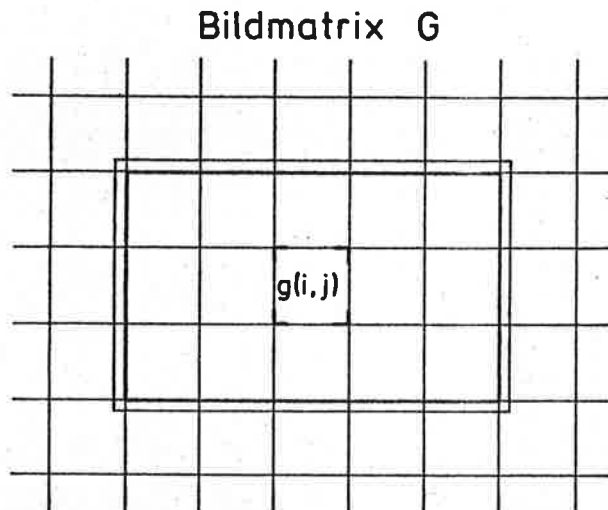


Abbildung 3.5: Schema eines Filters im Ortsbereich. Der Wert des Pixels $g(i,j)$ wird durch die Summe der Produkte der in der Bildmatrix und im Filter übereinanderliegenden Werte ersetzt.

Abbildung 3.5 zeigt die Lage des Filters an einem beliebigen Pixel $g(i,j)$. Der Wert dieses Pixels wird durch die Summe der Produkte der im Filter und im Bild übereinanderliegenden Werte ersetzt.

3.3 DAS LANDSAT-SATELLITENSYSTEM

3.3.1 Allgemeines

Der erste LANDSAT-Satellit wurde 1972 gestartet. Ihm folgten 1975, 1978 und 1982 drei weitere Satelliten. Der nächste Start ist für Februar 1984 vorgesehen (LANDSAT Data User's Notes, 1983).

LANDSAT 1, 2 und 3 bedeckten mit der Aufnahme innerhalb von 18 Tagen einmal die Erdoberfläche zwischen etwa 81 Grad südlicher und nördlicher Breite und umkreisen dabei die Erde 251 mal. Die Bahnen sind sonnensynchron, sodaß Österreich immer zur selben Ortszeit um etwa 10 Uhr vormittags überflogen wird.

Der Datenstrom wird von den Bodenstationen empfangen und auf Magnetbändern mit hoher Schreibdichte (20.000 Werte pro Zoll) aufgezeichnet. Die Aufbereitung erfolgt in sogenannten Szenen, die nach nominellen Szenenmittelpunkten (geographische Länge und Breite) bzw. Pfadnummer und Reihenummer referenziert werden.

Für das Gebiet Mittel- und Südeuropa sowie Nordafrika befindet sich die Empfangsstation in Fucino bei Rom und wird von der Firma Telespazio betrieben. Daten werden hier seit 1975 aufgezeichnet, ältere Daten wurden an Bord des Satelliten gespeichert und in Bodenstationen in den USA empfangen. Die meisten Bodenstationen verfügen über eigene

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

Programmsysteme zur Datenaufbereitung, sodaß die Bilder weltweit gesehen Unterschiede in ihren Werten aufweisen können. Fusco (1982) beschreibt die bei der Europäischen Raumfahrtbehörde (European Space Agency, ESA) eingesetzten Verfahren.

Die in der Bodenstation durchgeführte Vorverarbeitung umfaßt die Auswahl der Ausschnitte aus den hochdichten Magnetbanddaten, die Korrektur geometrischer und radiometrischer Aufzeichnungsfehler und die Herstellung von computer-kompatiblen Magnetbändern. Weitere Produkte sind Bildkopien in schwarz-weiß für einzelne Bildkanäle oder in Farbe in einer Standard-Falschfarbendarstellung.

Die Verteilung der Produkte erfolgt über Kontaktzentren (National Point of Contact, NPOC). In Österreich ist dies die Gesellschaft für Sonnenenergie und Weltraumfragen (Austrian Solar and Space Agency, ASSA).

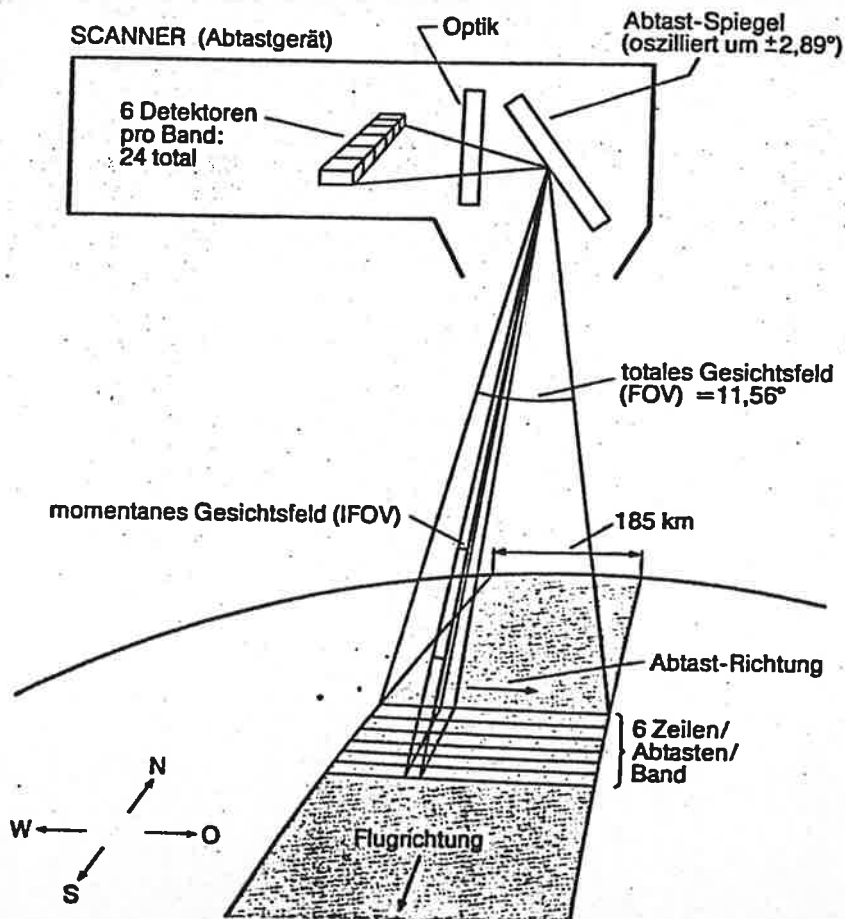


Abbildung 3.6: Schema des LANDSAT-Multispektralabtasters. Während eines Abtastzyklus werden 6 Bildzeilen erzeugt. (aus: Dierke, "Weltraumbild - Atlas")

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

3.3.2 Der Multi-Spektral-Abtaster MSS

Der Multi-Spektral-Scanner besitzt einen oszillierenden Spiegel, der das von der Erde reflektierte Sonnenlicht über Filter auf Sensoren leitet, die Meßwerte für vier verschiedene Wellenlängenbereiche im sichtbaren und nahen Infrarot des elektromagnetischen Spektrums liefern. Für jeden Bereich (physikalisch: Band; Datenübertragung: Kanal) gibt es sechs Sensoren, sodaß während einer Schwingung des Spiegels sechs Zeilen des Bildes erzeugt werden. Die technischen Daten sind in Tabelle 3.1 angegeben, Abbildung 3.6 zeigt das Schema des Aufnahmevorganges. Die Einzelheiten zur Aufnahme, den Datenformaten usw. sind vielfältig beschrieben. In der deutschsprachigen Literatur ist z.B. auf Haberäcker (1977) zu verweisen.

Im MSS-System bedeckt jede Szene ein Gebiet von etwa $185 \times 185 \text{ km}^2$ und enthält 2286 Zeilen zu 3240 Werten in jedem der vier Kanäle, benötigt also einen Speicherplatz von etwa 30 Mbyte, wenn jeder Meßwert mit 8 Bit quantisiert wird.

Geometrisch entspricht einem Sensor am Boden ein momentanes Gesichtsfeld von $76 \times 76 \text{ m}^2$. Innerhalb einer Zeile wird das Signal jedoch mit einer größeren Frequenz digitalisiert, sodaß sich benachbarte Pixel um etwa 19 m überlappen. Zwischen den Zeilen beträgt die auf den Boden projizierte Distanz zwischen den Sensoren 5 m, in benachbarten Abtastreihen überlappen einander die Flächen, die von Sensor 1 und 6 betrachtet werden, um etwa 10 m. Gordon (1983) gibt weitere Einzelheiten über geometrische Eigenschaften des Systems an, die sich durch die zeitliche Verschiebung zwischen der Digitalisierung der Meßdaten der einzelnen Sensoren ergeben.

Durch die optischen Bestandteile wird die Rückstrahlung aus einem Kreis mit 30 m Durchmesser mit in die Messung einbezogen (Slater, 1979). Die Auflösung des MSS wird daher meist mit 80 m angegeben. Durch die Abtastrate in Zeilenrichtung und die Abstände zwischen den Sensoren wird eine geometrische Größe des einzelnen Bildpunktes von 57 m in Abtast- und 79 m in Flugrichtung erreicht.

3.3.3 Das Return-Beam-Vidikon System RBV

3.3.3.1 Systembeschreibung

In LANDSAT 1 UND 2 befanden sich drei Return-Beam-Vidikon (RBV) Kameras mit Rot, Grün und Blau-Filtern. Ursprünglich bestand die Erwartung, daß die RBV-Daten die wesentlichen Ergebnisse der LANDSAT-Missionen sein würden. Vor 1972 waren die Erwartungen in die MSS-Daten nicht hochgestellt. Die RBV-Ergebnisse waren jedoch enttäuschend, die Kameras funktionierten kaum.

In LANDSAT-3 wurde nun neben dem bereits beschriebenen Multi-Spektralscanner ein Paar von höherauflösenden panchromatischen RBV-Kameras mitgeführt. Die Bilderzeugung erfolgt durch die Belichtung einer Vidikon-Platte, deren elektrische Aufladungen durch eine Abtastelektronik ausgelesen und als Signal zur Erde übertragen werden.

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

Die Geometrie der Bilder entspricht der zentralperspektiven Abbildung. Diese nunmehr besser auflösenden RBV-Bilder waren erstmals zumindest beschränkt anwendbar. Daher werden sie im folgenden diskutiert.

Jede der beiden RBV-Kameras ist einem Halbstreifen des Abtastfeldes des MSS-Systems zugeordnet und mißt während der Abtastung einer MSS-Szene zweimal, sodaß einer MSS-Szene vier RBV-Bilder zugeordnet sind. Diese Zuordnung ist jedoch nicht exakt, da die MSS-Szenen ja aus der kontinuierlichen Übertragung der Daten aufgrund des Referenzsystems entnommen werden und die Belichtung der RBV-Kameras nicht synchron dazu erfolgen kann. Neben den unvermeidlichen zufälligen Unterschieden zeigt sich auch ein systematischer Effekt: RBV-Bilder liegen demnach nördlicher als die zugehörige MSS-Szene mit derselben Referenznummer. Die Numerierung der RBV-Bilder erfolgt nach Subszenen, wobei die östliche Kamera die Subszenen 1 und 3, die westliche Kamera die Subszenen 2 und 4 erzeugt (Abbildung 3.7).

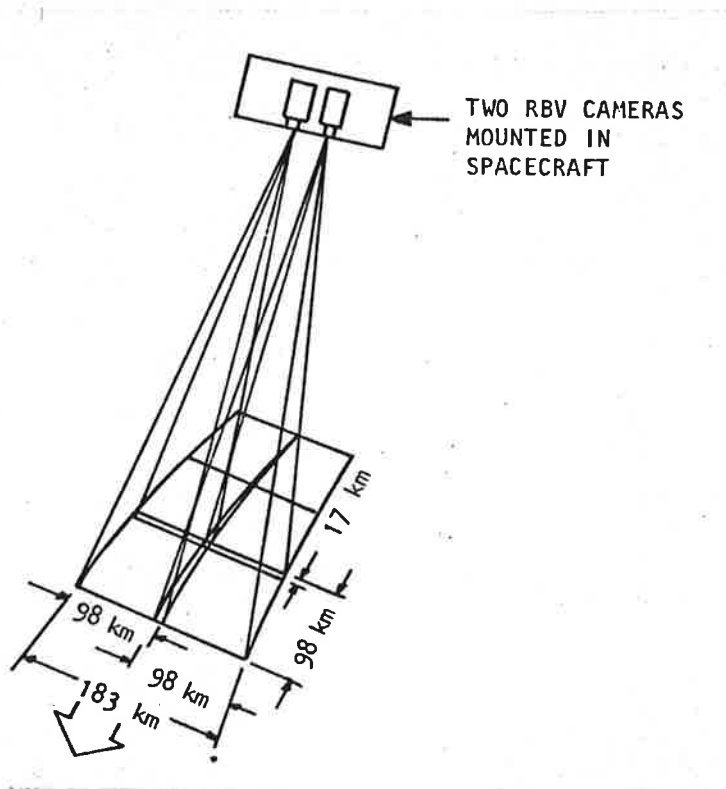


Abbildung 3.7: Bildanordnung bei der LANDSAT RBV-Abbildung.
(aus: Slater, 1980)

Die Kamerasysteme arbeiteten in einem panchromatischen Bereich zwischen 505 nm (grün-gelb) und 750 nm (rotnahes Infrarot). Die Digitalumwandlung des Signals erfolgte durch die Bodenstation selbst, sodaß weltweit verschiedene Bildgrößen (in Spaltenrichtung) erzeugt wurden. Bei Telespazio beträgt die Abtastrate 5400 Pixel pro Zeile, die Zeilenanzahl ist durch die Kamera fest mit 4125 vorgegeben.

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

Die nominell abgebildete Bodenfläche beträgt 98.1 x 98.1 km², gleichbedeutend mit einer Pixelgröße von 18 x 24 m². Die Quantisierung des Signals erfolgt auf 6 bit, entsprechend 64 Graustufen; der Dynamikbereich wird mit 57 Stufen zwischen Schwarzpegel und Sensorsättigung angegeben. Telespazio führt eine Kontraststreckung auf 8 bit durch, wobei die digitalisierten Werte mit 4 multipliziert werden.

Zur Erleichterung der geometrischen Handhabung weisen RBV-Bilder ein Gitter von kreuzförmigen Reseau-Marken auf, die einen Abstand von 600 in Zeilen- und 500 Pixel in Spaltenrichtung haben und mehrere Pixel breit sind.

3.3.3.2 Geometrische und radiometrische Eigenschaften

Die folgende Darstellung des geometrischen und radiometrischen Auflösungsvermögens beruht auf einer Arbeit von Dosiere und Justice (1983).

Das geometrische Auflösungsvermögen der verwendeten optischen Linse liegt bei 90 Linienpaaren pro Millimeter, entsprechend einer Bodendistanz pro Linie von 21.5 m. Das effektive momentane Gesichtsfeld (effective instantaneous field of view) beträgt 45.4 m. An der

Trägersystem:

Nominelle Flughöhe	915	km
Geschwindigkeit über Grund	6.47	km/s
Umlaufzeit	103.1	min
Inklination	99°	
Bedeckungszyklusdauer	18	Tage

MSS-System:

Wellenlängenbänder		
Kanal 4	500- 600	nm
Kanal 5	600- 700	nm
Kanal 6	700- 800	nm
Kanal 7	800-1100	nm
Gesichtsfeld	11.56°	
Frequenz der Spiegelschwingung	13.65	Hz
Detektoren pro Kanal	6	
Aufzeichnungszeit pro Szene	ca. 28	s
Szenengröße	185x185	km ²
Pixelgröße	57x 79	m ²

RBV-System:

Empfindlichkeitsbereich	505- 750	nm
Brennweite der Optik	236	mm
Szenengröße	98.1x98.1	km ²
Pixelgröße	18x 24	m ²

Tabelle 3.1: Technische Daten der LANDSAT-Systeme 1, 2 und 3

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

Auflösungsgrenze der Linse haben maximal kontrastierende (schwarze und weiße) Linien von je 21.5 μ m Breite einen Unterschied von höchstens drei Grauwertstufen im digitalen Bild. Das Signal-Rauschverhältnis beträgt 32 dB, das Rauschen selbst liegt in der Größenordnung von zwei Grauwertstufen. Das bedeutet, daß Objekte, deren Größe sich an der Auflösungsgrenze befindet, sich nicht mehr unterscheiden lassen, da ihre Grauwertdifferenz im Bereich des Rauschens liegt. Aus der durch die Abtastrate festgelegten Pixelgröße von 18 μ m in Zeilenrichtung folgt weiters, daß sich benachbarte Pixel um höchstens drei Graustufen unterscheiden. Die Wahrscheinlichkeit, daß einem Pixel der ihm physikalisch entsprechende Grauwert zugeordnet wird, beträgt etwa 21 Prozent. Mit 98 Prozent Wahrscheinlichkeit liegt der Wert bis zu vier Stufen zu hoch oder zu tief. Eine deutliche Unterscheidung verschiedener benachbarter Flächen ist daher nur dann möglich, wenn sie einen Grauwertunterschied von mindestens acht (!) Stufen aufweisen.

Schließlich ist zu bedenken, daß in einer Szene (von Wolken und Schnee abgesehen) im allgemeinen die Objekte nicht in den gesamten Dynamikbereich abgebildet werden, sondern nur etwa 20 - 30 Graustufen einnehmen.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich eine Einschränkung der Nutzbarkeit von RBV-Daten in einem automatisierten Verarbeitungsprozeß. Beispielsweise lassen sich Kantenoperatoren (Hochpaßfilter) nicht einsetzen, da durch die maximale Kantendifferenz von drei Graustufen die hochfrequenten Anteile über die gesamte Bildfläche verteilt sind. Experimente an den vorliegenden Daten haben dies bestätigt.

Dosiere und Justice (1983) kommen zum Schluß, daß trotz einer höheren geometrischen Auflösung als das MSS-System die RBV-Kamera eine schlechtere radiometrische Auflösung hat und an der Grenze der vorhandenen Möglichkeiten arbeitet. Die Bilder sind daher eher für visuelle als für automatische Interpretation geeignet.

Clark (1982) gibt weitere Fehler des Systems an, etwa Schattenbildungen, Unschärfen in den Ecken, Fehler durch Verschmutzung der Meßflächen und Artefakte bei der Vorverarbeitung.

3.4 BILDVERBESSERUNG

Die Korrektur der gemessenen Bilddaten ist notwendig, um zufällige oder systematische Fehler in der Aufzeichnungskette zu beseitigen oder zu verringern. Die Fehlerquellen liegen einerseits in geometrischen, andererseits in radiometrischen Eigenschaften des Meßsystems.

3.4.1 Rauschen

Im Übertragungsvorgang der Daten vom Meßgerät zur Empfangstation treten Störungen auf, die allgemein als Rauschen bezeichnet werden. Zur Rauschunterdrückung bzw. -verringern sind vielfältige Verfahren aus der Signalverarbeitung bekannt. Dabei werden Filter im Frequenzbereich

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

entworfen, die auf die Eigenarten der Störung abgestimmt sind und zumeist schon in Sende- bzw. Empfangsanlagen integriert werden. Moik (1980) gibt dazu eine Reihe von Beispielen verschiedener Fehler in LANDSAT-Bildern und Filtermethoden zu ihrer Korrektur an.

Für die österreichischen Testdaten kann in MSS-Bildern Spikerauschen beobachtet werden, also hohe Differenz zwischen Bildwerten und ihrer Umgebung. Diese Fehler können durch Filterung im Ortsbereich korrigiert werden. Das Bild wird selektiv durch Mittelwertbildung geglättet, und zwar nur dort, wo ein Grauwert gegenüber dem Mittelwert seiner Nachbarn stark abweicht (Abbildung 3.8).

Der Mittelwert über eine Umgebung eines Bildpunktes wird (im Fall $m = n = 1$) durch die Ortsfilter

$$F = \frac{1}{8} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{oder} \quad F = \frac{1}{9} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.9)$$

gebildet. Bei der Korrektur von Ausfällen ganzer Zeilen wird

$$F = \frac{1}{6} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.10)$$

auf das Bild angewandt. Für

$$|g' - g| \leq t \quad (3.11)$$

mit einer geeigneten Schranke t wird g durch g' ersetzt. Die Schranke t wird heuristisch bestimmt, also etwa geschätzt oder durch die Bedingung festgelegt, daß p Prozent der Bildpunkte ersetzt werden sollen.

3.4.2 Geometrische Bildfehler

Geometrische Fehler entstehen durch die sich laufend ändernde äußere Orientierung des Sensors im Raum, durch den Abtastprozeß, oder die sogenannte "innere Orientierung" oder Geometrie des Systems, sowie durch die Bewegung der Erde und das von einer Idealfigur abweichende tatsächliche Relief des abzubildenden Geländes. Die Orientierung des Sensors wird durch die Ortskoordinaten im Zeitpunkt der Aufnahme sowie durch drei Winkel beschrieben, die die Abweichung der Aufnahme-richtung von der Nadirrichtung angeben. Durch die Verschiebungen der Satellitenumlaufbahn, die nicht ganz kreisförmig, sondern elliptisch ist, ändert sich der Bildmaßstab und damit die Pixelgröße sowie die relative Lage der von einem Gebiet aufgenommenen Daten. Eine Bild-Rotation und perspektive Verzerrung entstehen durch Instabilität des Satelliten. Für das Beispiel der LANDSAT-Satelliten 1, 2 und 3 sind Parameter der Satellitenpositionen, Orientierungswinkel und auch die innere Orientierung schlecht bestimmt; es stehen dem Nutzer nur Angaben

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

zur Flughöhe und zur Lage des Mittelpunktes einer sogenannten "Szene" zur Verfügung. Es ist jedoch zu erwarten, daß neuere Systeme mit höherauflösenden Bildern auch besser korrigierte Orientierungen erfahren und dem Nutzer genaue Daten zugänglich sein werden.

Durch die Drehung der Erde während der Aufnahme entsteht eine Scherung des Bildes, die von der geographischen Breite abhängig ist. Der Effekt ist wohl dokumentiert, z.B. bei Kratky (1972). Die Korrektur erfolgt meist schon in der empfangenden Bodenstation durch das Einsetzen von Bildpunkten am Zeilenanfang. Die Verschiebung der Meßdaten für verschiedene Wellenlängenbereiche, bedingt durch die Lage der Einzelsensoren auf der Brennebene, wird ebenfalls auf diese Weise korrigiert.

Innerhalb einer Abtastzeile folgt bei LANDSAT-MSS bisher die Abbildung im wesentlichen den Gesetzen der optisch-mechanischen Abtastung, wobei jedoch differentielle Variationen der Abtastdauer und Abweichungen des Spiegels von einer linearen Bewegung auftreten können.

Die optisch-mechanische Abtastung erzeugt eine Panoramaverzerrung, sodaß die Bodenentsprechung eines Bildpunktes am Bildrand größer ist als im Nadir. Geländereief erzeugt Reliefverschiebungen, wie sie wohlbekannt sind; Bergspitzen werden entfernter vom Zeilenmittelpunkt abgebildet als ein entsprechender Punkt im Tal. Für die Verhältnisse in den Daten von LANDSAT 1,2 und 3 ergeben sich am Bildrand Verschiebungen von etwa zwei Pixel für eine Höhendifferenz von 1000m (Abbildung 3.9). Für höher auflösende und tiefer fliegende Systeme sind die Verzerrungen beträchtlich größer. Hier werden genauere geometrische Korrekturverfahren mit digitalen Höhenmodellen größere Bedeutung erlangen (Konecny 1976).

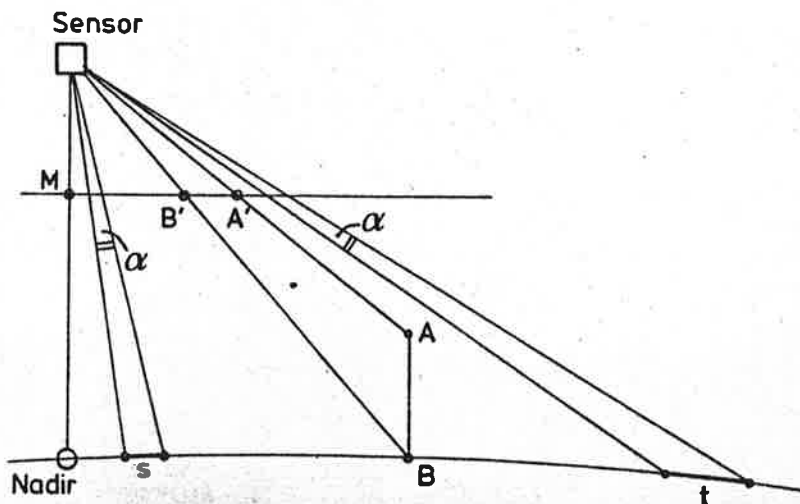


Abbildung 3.9: Ursachen von geometrischen Verzerrungen. Panoramaverzerrung: Die Strecke t erscheint im Bild größer als die Strecke s. Reliefverzerrung: B' liegt näher bei M als A'.

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

Die Abbildungsgeometrie von LANDSAT-RBV-Bildern entspricht völlig dem Modell der Zentralperspektive; daher sind hier die traditionellen Verfahren der Photogrammetrie anwendbar.

3.4.3 Radiometrische Bildfehler

Radiometrische Fehler entstehen durch die unterschiedliche Empfindlichkeit der Einzelsensoren, durch atmosphärische Einflüsse und durch die unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnisse.

3.4.3.1 Angleichung der Sensormeßwerte

Die Einzelsensoren werden im LANDSAT-MSS-Programm laufend überwacht, indem in den Pausen zwischen den Abtastvorgängen Kalibrierungslampen in das Sensor-Gesichtsfeld gebracht und die dabei gemessenen Werte zum Boden übertragen werden. Durch den Vergleich mit Sollwerten lassen sich Transformationen zur Verbesserung der Meßwerte aufstellen. Trotz dieser Korrektur verbleiben meist Fehler, die sich in einem periodischen Streifenmuster nach Abbildung 3.10 äußern. Diese Muster lassen sich durch Filterung im Frequenzbereich oder durch den Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der Einzelsensoren verringern. Sie können nicht ganz ausgeschaltet werden, da ihre Ausprägung auch von den spektralen Eigenschaften des Materials am Boden abhängt.

Die Kalibrierung der Sensoren erfolgt durch die Bodenstation. Die ursprünglichen 64 Quantisierungsstufen des Rohbildes werden über Tabellen in den Bereich 0...255 abgebildet. Die Tabellen werden dem Benutzer der Daten zur Verfügung gestellt, sodaß die ursprünglichen Meßwerte rekonstruiert werden können, wenn es für eine Untersuchung erforderlich ist. Die weitere Verarbeitung zur radiometrischen Korrektur bleibt den individuellen Möglichkeiten des Nutzers des Bildverarbeitungssystems überlassen. Sie sollen daher im folgenden ausführlicher behandelt werden.

Zur Angleichung der Sensorwerte eines Bildkanals werden üblicherweise die Häufigkeitsverteilungen (Histogramme) des gesamten betrachteten Bildbereiches und der einzelnen Sensoren gebildet. Für jede Verteilung werden Mittelwert und Standardabweichung berechnet. Die Werte des Sensors i werden danach wie folgt ersetzt:

$$g_i' = g_i \frac{s_i^2}{s^2} + (m - m_i \frac{s_i^2}{s^2}) \quad (3.12)$$

g_i durch den Sensor i gemessener Wert

g_i' modifizierter Wert

s Standardabweichung aller Bildwerte

m Mittelwert aller Bildwerte

s_i Standardabweichung der durch Sensor i gemessenen Werte

m_i Mittelwert der durch Sensor i gemessenen Werte

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

Zwar verbleiben Streifen in Einzelbildern, sie sind visuell jedoch nicht feststellbar. Nur in gewissen abgeleiteten Bildern können Restfehler sichtbar werden (Abbildung 3.11). In der LANDSAT-Literatur ist eine Streifenbildung mit einer Periode von etwa 20 Bildpunkten schräg zur Abtastrichtung nicht dokumentiert. Sie manifestiert sich erst bei komplexeren arithmetischen Operationen und entsteht vermutlich bei der Bildvorverarbeitung in der Empfangsstation (Abbildung 3.12).

3.4.3.2 Atmosphäre

Atmosphärische Einflüsse auf die Meßwerte entstehen am Weg des Lichtes von der Sonne auf die Erdoberfläche und von der Erdoberfläche zum Sensor. Die Streuung des Lichtes stellt den wichtigsten Anteil dar. Luftfeuchtigkeit und Partikel in der Atmosphäre ändern die am Sensor ankommende Strahlung in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Ein allgemeines Modell kann als Funktion in einem zweidimensionalen Raum definiert werden. Der vom Sensor gemessene Wert $B(x,y,\lambda)$ für eine Position (x,y) und einen Wellenbereich λ ist demnach durch die Beziehung (Eliason u.a. 1981) bestimmt (vgl. Abbildung 3.13):

$$B(x,y,\lambda) = R(x,y,\lambda) \cdot M_T(T(x,y), \psi(\phi,i,e) + H(\lambda)) \quad (3.13)$$

$R(x,y,\lambda)$ idealer Wert ohne Einfluß von Topographie, Beleuchtung und Atmosphäre;

M_T Modulation der Helligkeit durch die Lage und Beleuchtung, abhängig von der Topographie T und der photometrischen Funktion $\psi(\phi,i,e)$ mit Phasenwinkel ϕ , Einfallswinkel i und Ausfallswinkel e (bezogen auf den lokalen Normalvektor \underline{n})

$H(\lambda)$ additive atmosphärische Einflüsse

Eine grobe Abschätzung der additiven Verfälschung $H(\lambda)$ ist dadurch möglich, daß etwa Schattenpartien oder - für die Bereiche im nahen Infrarot - Wasserflächen auf ihren Wertebereich hin untersucht werden. Ohne atmosphärische Einflüsse sollte hier keine Rückstrahlung beobachtet werden. Die Subtraktion der Minimalwerte in diesen Bereichen verbessert dann die Bilddaten. Kowalik u.a. (1983) weisen auf die Bedeutung der Berücksichtigung solcher additiver Faktoren bei multiplikativen Verknüpfungen von Bilddaten hin. Stänz (1978) erarbeitet weitere Modelle für die Betrachtung atmosphärischer Einflüsse.

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

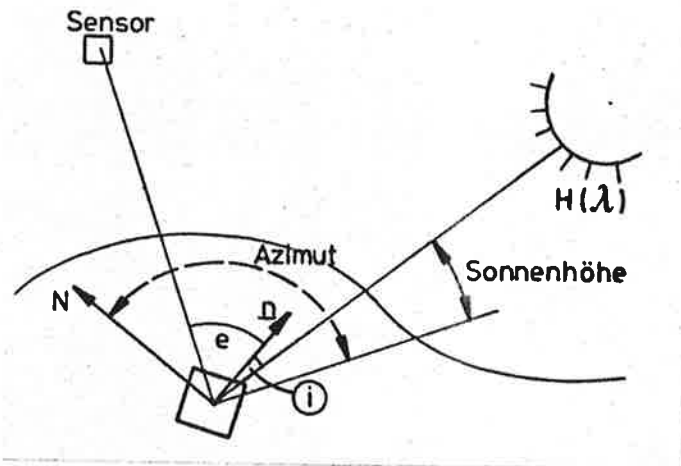


Abbildung 3.13: Schematische Darstellung der Aufnahmeverhältnisse. Das Sonnenlicht trifft einen Bereich des Erdbodens unter einem Winkel i zum Normalvektor n , wird unter einem Winkel e reflektiert und vom Sensor empfangen. $H(\lambda)$ stellt den Einfluß der Atmosphäre dar. Der Sonnenstand ist durch Azimut und Sonnenhöhe gegeben.

3.4.3.3 Sonnenstand

Die Beleuchtungsunterschiede während der Aufnahme sind auf dem Einzelbild bei gegebenem Sonnenstand nur durch das Relief in Bildern verschiedener Zeitpunkte zusätzlich durch den variablen Sonnenstand bedingt (Abbildung 3.14). Dies führt zu einer zusätzlichen Varianz der Meßwerte einer einheitlichen Bodenbedeckung und damit zur Erschwerung der Charakterisierung einzelner Objektklassen. Eine Normierung der Daten kann diesen Effekt abschwächen und zu besseren Ergebnissen bei der Datenanalyse führen.

Eine einfache Methode beruht auf der Überlegung, daß sich die Beleuchtung in einem Bildpunkt in seinen verschiedenen Wellenlängenbereichen gleichartig auswirkt. Durch das Verhältnis der Meßwerte (Ratio) in verschiedenen Spektralbändern läßt sich eine Verringerung der topographischen Einflüsse erzielen. Holben und Justice (1981) berichten über Verbesserungen von über 83 Prozent, verglichen mit den am Boden gemessenen Daten. Wegen der atmosphärischen Einflüsse ist vor dieser Operation eine Korrektur um additive Komponenten angezeigt.

Die allgemeine Transformation zur Berechnung eines Ratiobildes lautet:

$$R = a \frac{G}{H} + b \quad (3.14)$$

mit G, H als Spektral-Komponenten des Multispektralbildes, a, b als Koeffizienten und R als Ratiobild (Abbildung 3.15). Bei Berücksichtigung von atmosphärischen Einflüssen wird

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

(3.15)

$$R = a \frac{G - g_0}{H - h_0} + b$$

angewandt, wobei g_0 und h_0 die minimalen Werte in Schattenbereichen sind (Schätzungen von $H(\)$ im Sinne von Gleichung 3.13).

Zur Beschränkung des Wertebereiches und zur einfacheren Skalierung wird oft auch die Berechnung

(3.16)

$$R = a \frac{G - H}{G + H} + b$$

vorgeschlagen, die für $a = b = 127.5$ wieder die maximale Auflösung für den Wertebereich 0...255 ermöglicht. g_0 und h_0 können analog (3.15) eingesetzt werden. Abbildungen 3.16 und 3.17 zeigen die Ergebnisse.

3.4.3.4 Exposition

Genauere Analysen des Reflexionsverhaltens der Objekte erfordern die Einbeziehung der Exposition der Bildpunkte (vgl. Abbildung 3.13). Aus einem digitalen Höhenmodell, das dem Bild überlagert wird, kann der lokale Normalvektor für den Ort jedes Pixels berechnet werden. Dazu werden finite partielle Ableitungen P und Q etwa mittels

(3.17)

$$P = G * \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}, \quad Q = G * \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{pmatrix}$$

gebildet. Dies gilt für quadratische Bildpunktdimension. Bei rechteckigen Pixeln ist eine entsprechende Gewichtung durchzuführen.

Der Sonnenstand zum Zeitpunkt der Aufnahme ist bei LANDSAT-Aufnahmen durch Azimut und Sonnenhöhe gegeben. Daraus läßt sich der Lichteinfallswinkel i berechnen. Aus der Lage des Punktes im Bild ist der Winkel zum Sensor e bekannt. Smith u.a. (1980) schlagen nun die Verwendung eines von Minnaert (1961) entwickelten Korrekturmodells der Form

(3.18)

$$g = g_0 \cdot \cos^k i \cdot \cos^{k-1} e$$

vor, wobei g_0 der optimale Wert für $i = e = 0$ und k eine datenabhängige Konstante ist. Der Wert g_0 kann dann durch eine günstige Wahl von k angenähert werden.

Experimentelle Resultate werden von Justice u.a. (1980) dargestellt; dabei wurden verschiedene Reflexionsmodelle miteinander verglichen. Mittels des Modells (3.18) konnte die Varianz der Meßwerte bis zu 86 Prozent entlang von Profilen mit einheitlicher Waldbedeckung verringert werden. Da die Aufwendungen an Rechenzeit für die Korrektur hoch sind,

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

wird sie derzeit kaum im Zuge einer Standard-Vorverarbeitung angewandt. In Experimenten mit kontrollierten Beleuchtungseinflüssen empfiehlt sich daher die Betrachtung ebenen Geländes bei hohem Sonnenstand.

3.5 BILDVERSTÄRKUNG

Zur Darstellung von Bildern für die visuelle Interpretation und zur Heraushebung von bestimmten Strukturen ist es sinnvoll, gewisse Operationen als Hilfeleistung für den Interpreten auszuführen. Es lassen sich dabei Verfahren unterscheiden, die den Kontrast verstärken, die Farbe als zusätzlichen Informationsträger benutzen, Kanten betonen oder Mehrfachbilddaten für die Analyse komprimieren.

3.5.1 Kontrastverstärkung

Die digitalen Werte eines Bildes nutzen im allgemeinen nicht den gesamten darstellbaren Dynamikbereich des Mediums aus, auf dem sie sichtbar gemacht werden.

Eine einfache Transformation der Form

$$g' = (g - g_{\min}) \cdot K / (g_{\max} - g_{\min}) \quad (3.19)$$

führt den Bildwertebereich $g_{\min} \dots g_{\max}$ in den Wertebereich $0 \dots K$ über. Die Rechenoperation wird zum Zweck der Darstellung nicht direkt auf den Daten, sondern mittels der Lookup-Tabelle ausgeführt. Erst bei der digitalen Übertragung auf Hardcopy-Geräte sind die Bilddaten tatsächlich zu verändern, wenn solche Geräte die Angabe einer Transformationsstelle nicht zulassen. Weitere, häufig verwendete Funktionen zur Kontrastverstärkung sind stückweise lineare Transformationen, mit denen sich etwa Polynome der Form

$$f(x) = K \cdot (x / K)^r \quad (3.20)$$

annähern lassen.

Statt in (3.19) g_{\min} und g_{\max} zu benutzen, werden oft lineare Übergangsfunktionen zwischen neuen Grenzen g_{\min}' und g_{\max}' berechnet, wobei g_{\min}' und g_{\max}' so gewählt werden, daß p Prozent aller Bildwerte unterhalb bzw. oberhalb dieser Werte liegen. In der Statistik werden solche Werte als Perzentile bezeichnet. Dadurch ist die Wahl robust gegenüber einzelnen Ausreißern, wie sie etwa durch Bildfehler entstehen. Werte unter g_{\min}' werden auf 0, größere Werte als g_{\max}' werden auf K gesetzt. Abbildung 3.18 gibt ein Beispiel für eine Kontrastverstärkung mit Perzentilberechnung.

Zur Bestimmung der Bereiche $g_{\min} \dots g_{\max}$ bzw. $g_{\min}' \dots g_{\max}'$ ist die Kenntnis der Häufigkeitsverteilung der Bildwerte, also des Histogrammes, notwendig. Aus diesem lassen sich nichtlineare Transformationen ableiten, etwa durch Vorgabe von angestrebten

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

Verteilungen, an die das Histogramm des transformierten Bildes angeglichen werden soll (Pavlidis, 1982).

Beim visuellen Vergleich von multitemporalen Bilddaten geben unabhängig voneinander kontrastverstärkte Einzelbilder nicht mehr die ursprünglichen Verteilungen wieder. Somit können Fehlinterpretationen resultieren. Daher ist die Anwendung einer einzigen (heuristisch gefundenen) Transformation auf alle Daten sinnvoll, um verschiedene Beleuchtungs- und Vegetationsverhältnisse unverfälscht in das Analyseverfahren einzubringen. In Abbildung 3.19 (a) wurden die vier multitemporalen Bilder individuell behandelt, sodaß für jedes Einzelbild der Kontrast optimiert ist. Die Kontrastanhebung in Abbildung 3.19 (b) erfolgt für alle Bilder mit der gleichen Transformation. Dadurch werden die unterschiedlichen Aufnahmeverhältnisse deutlich.

3.5.2 Farbsysteme

3.5.2.1 Farbdarstellung

Die Darstellung eines Bildes auf einem Farbrasterschirm oder durch Belichtung von Filmmaterial auf einem Filmschreiber erfolgt so, daß den Grauwerten des Bildes im jeweiligen Farbauszug (Rotsignal, Grünsignal und Blausignal) entsprechende Intensitäten zugeordnet werden, wobei in der Regel 0 kein Signal und 255 volles Signal bedeuten. Farbmischungen entstehen durch additive Kombination von Einzelsignalen, reines Gelb beispielsweise durch das R-G-B (Rot-Grün-Blau) Signal (255,255,0), also einer Mischung von Rot und Grün. Abbildung 3.20 zeigt den derart gebildeten Farbraum. Neben dem RGB-System ist eine Reihe weiterer Farbsysteme in Verwendung, die vor allem in der Fernsehtechnik eingesetzt werden (Pratt 1978). Hier sollen im folgenden Farbbeschreibungsverfahren dargestellt werden, die für Fernerkundungsdaten größere Bedeutung haben.

3.5.2.2 Intensität, Farbton, Sättigung (IHS)

Die Beschreibung einer Farbe durch Angabe der Intensität der Einzelsignale ist für den Menschen schwierig, da das Ergebnis aus den drei anzugebenden Komponenten nur mit großer Erfahrung abschätzbar ist. Hier bietet sich ein System an, das von den Variablen Intensität (intensity), Farbton (hue) und Sättigung (saturation) ausgeht. Intensität ist dabei die Stärke des Gesamtsignals (dunkel bis hell), mit dem Farbton werden "ideale" Farben beschrieben, etwa rot, gelb, blaugrün usw., die Sättigung bedeutet Farbigkeit und wird durch Bezeichnungen wie blaß, pastellartig, kräftig angegeben. Abbildung 3.21 zeigt eine mögliche Auffassung des IHS-Farbsystems. Berk u.a. (1982) haben dieses Benennungssystem formalisiert und können mit ihrem Vorschlag mit 627 Namen 340 Farben beschreiben.

Die bildhafte Darstellung von verschiedenartigen Datensätzen läßt sich nach Haydn u.a. (1982) nun dadurch für die Interpretation verbessern, daß die Einzelbilder nicht mehr direkt durch RGB-Signale

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

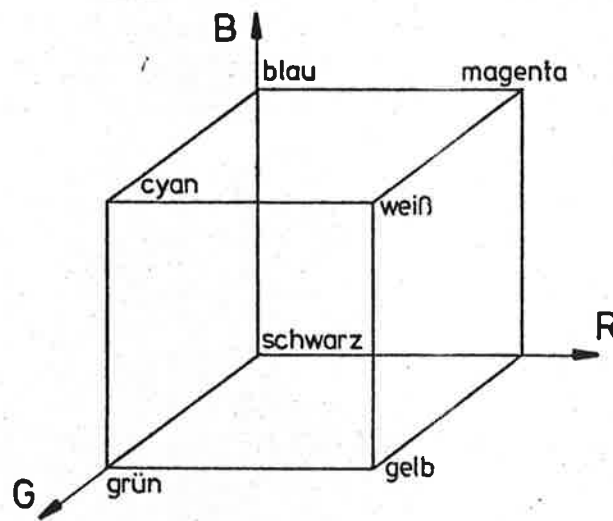


Abbildung 3.20: Darstellung des Rot- Grün- Blausystems (RGB) in kartesischen Koordinaten.

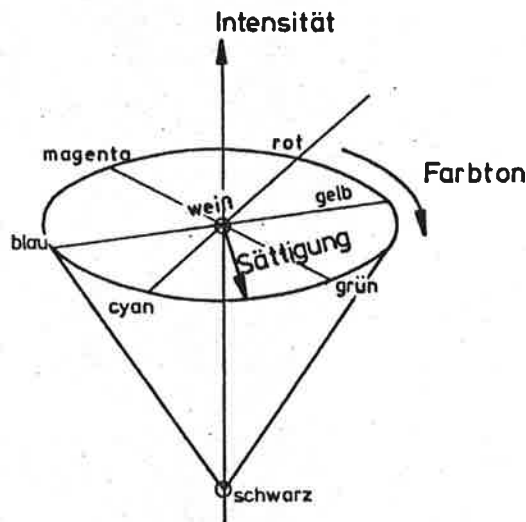


Abbildung 3.21: Modell für das Intensität-Farbton-Sättigungs (IHS)-System. Der Ursprung (rot) und die Richtung (über grün nach blau) der Farbtöne sind willkürlich definiert.

wiedergegeben, sondern als Intensität, Farbton und Sättigung gedeutet werden. Zur Umsetzung in Bilder ist es dabei notwendig, die IHS-Werte in RGB-Werte umzurechnen. Die erforderliche Transformation ist nun nicht eindeutig bestimmt, sodaß Anpassungen an Gerätegegebenheiten möglich sind. Spezielle Prozessoren wurden bereits entwickelt (Buchanan und Prendergrass, 1980). Eine spezielle, schnelle IHS - RGB - Transformation für ein Bildverarbeitungsgerät wird in Abschnitt 4.4

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

behandelt.

3.5.2.3 Pseudofarbdarstellung

Das menschliche Auge kann in einem chaotischen Bild in der Regel nur wenige Grautöne unterscheiden. Es ist aber für die Wahrnehmung von Farben stärker sensitiv. Daher wird oft die Grauskala in den Farbraum durch eine Abbildung übergeführt:

$$f(x) = (r(x), g(x), b(x)) \quad (3.21)$$

wo r , g und b die Intensitäten der additiven Farbmischung in den Basiskomponenten Rot, Grün und Blau darstellen. Diese Transformation wird als Pseudofarbdarstellung bezeichnet und läßt eine praktisch unbeschränkte Vielzahl von Präsentationen zu. Die Abbildung wird, in Anlehnung an die LUT-Methode, in vielen graphischen Geräten über drei Farbtransformationstabellen realisiert, in denen die Werte für die Ausgangsintensitäten gespeichert werden. Durch die Kombination von Kontrastverstärkung und Pseudofarbdarstellung ist eine Verkettung der Transformationen möglich. Eine flexible Methode zur Beschreibung von Farbskalen wird in Abschnitt 4.4.4 vorgestellt.

3.5.3 Kantenverstärkung

Die Form von Objekten ist ein bevorzugt wahrgenommenes Merkmal. Das betonte Absetzen verschiedener Objekte voneinander durch Verstärkung der Grenzen erleichtert oft die Interpretation. Durch die Integration beim Aufnahme-prozeß erscheinen am Rand von homogenen Flächen Bildwerte, in denen die Reflexionseigenschaften benachbarter Flächen mit einbezogen sind (sogenannte Misch-Pixel oder Mixel). Kanten werden im allgemeinen dadurch gefunden, daß Hochpaßfilter auf das Bild angewandt werden, welche die Grauwertunterschiede hervorheben. Mathematisch entsprechen sie der Differentiation und werden auch aus numerischen Betrachtungen abgeleitet. Bekannte Operatoren sind der Gradient und der Laplace-Operator. In der Matrixschreibweise werden sie durch

$$G' = \sqrt{G * \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}^2 + G * \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}^2} \quad (3.22)$$

wobei Quadrierung und Quadratwurzel pixelweise angewandt werden, oder

$$G' = G * \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (3.23)$$

dargestellt.

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

Durch die Subtraktion $G - G'$ treten Kanten im Bild nun verstärkt hervor (Abbildung 3.22). Es ist sinnvoll, Bildwerte nur dann zu verändern, wenn die Kantenwerte groß sind, um die durch ein Rauschen entstandenen hohen Frequenzen nicht unnötig zu betonen. Wie bei allen Filtermethoden kann auch eine Filterung im Frequenzraum erfolgen. Diese ist wegen des großen Rechenaufwandes bei der Bildtransformation erst für größere Filterdimensionen sinnvoll.

3.5.4 Behandlung von Mehrfachbildern

3.5.4.1 Multispektrale Einzelbilder

Der Normalfall einer Darstellung von LANDSAT-Bildern ist die gemeinsame Wiedergabe der LANDSAT-Spektralkanäle 7,5 und 4 (Abbildung 3.23). Dabei wird das Infrarot in rot, der Rotkanal in grün und der Orange-Grünkanal in blau kodiert. Damit ergibt sich die vertraute Infrarot-Falschfarbendarstellung. Jedes Teilbild kann einzeln mit den oben beschriebenen Methoden zur Kontrastverstärkung bearbeitet werden, bis ein befriedigendes Ergebnis vorliegt.

Es ist zu beachten, daß bei individueller Behandlung jedes Teilbildes die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Bildern leidet, vor allem bei vollkommen unterschiedlicher Bodenbedeckung oder starker Variation der Objektarten im Bild. Signaturen derselben Objekte werden im allgemeinen verschieden sein. Der Interpret beachtet diese Tatsache, um nicht zu falschen Schlußfolgerungen zu kommen.

Neben der Infrarot-Falschfarbendarstellung lassen sich mit den vier LANDSAT-Einzelbildern einer Szene noch weitere Kombinationen bilden, etwa durch andere Auswahl und Permutation. Eine als "Infragrün" bezeichnete Kombination kodiert Kanal 5 mit rot, die Summe der Kanäle 4 und 7 mit grün und Kanal 4 mit blau; damit nähert man die natürlichen Farben an (Abbildung 3.24). Auch (7, 6+5, 4) wird manchmal als Farbüberlagerung verwendet. Die Entscheidung für ein Verfahren hängt vornehmlich von der Fragestellung und den Erfahrungen des Interpreten ab.

Die Farbwiedergabe von MSS-Bildern kann neben der Kontrastverstärkung auch auf die Kantenverstärkung folgen, welche auf die Einzelbilder vor der Überlagerung angewandt werden kann. Hunt und Kübler (1983) weisen darauf hin, daß eine Filterung im Ortsbereich auf korrelierten Einzelbildern, wie etwa Multispektralbildern oder Farbauszügen von Farbbildern, streng genommen nicht zulässig ist. Die Autoren schlagen ein Verfahren vor, in dem zuerst die Bilddaten auf unkorrelierte Hauptkomponenten transformiert, dann gefiltert und schließlich rücktransformiert werden. Das mit "Hauptkomponenten-" oder "Karhunen-Loeve-Transformation" bezeichnete Verfahren wird im Abschnitt 3.9.2 beschrieben.

Falschfarbendarstellungen lassen sich auch durch Kombination von Ratiobildern gewinnen (Abbildung 3.25). Sie finden vor allem in der Geologie verbreitete Anwendung, da die manchmal geringfügigen Reflexionseigenschaften von Materialien der Erdoberfläche verstärkt werden (Goetz u.a., 1975; ASP, 1983, S.1749).

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

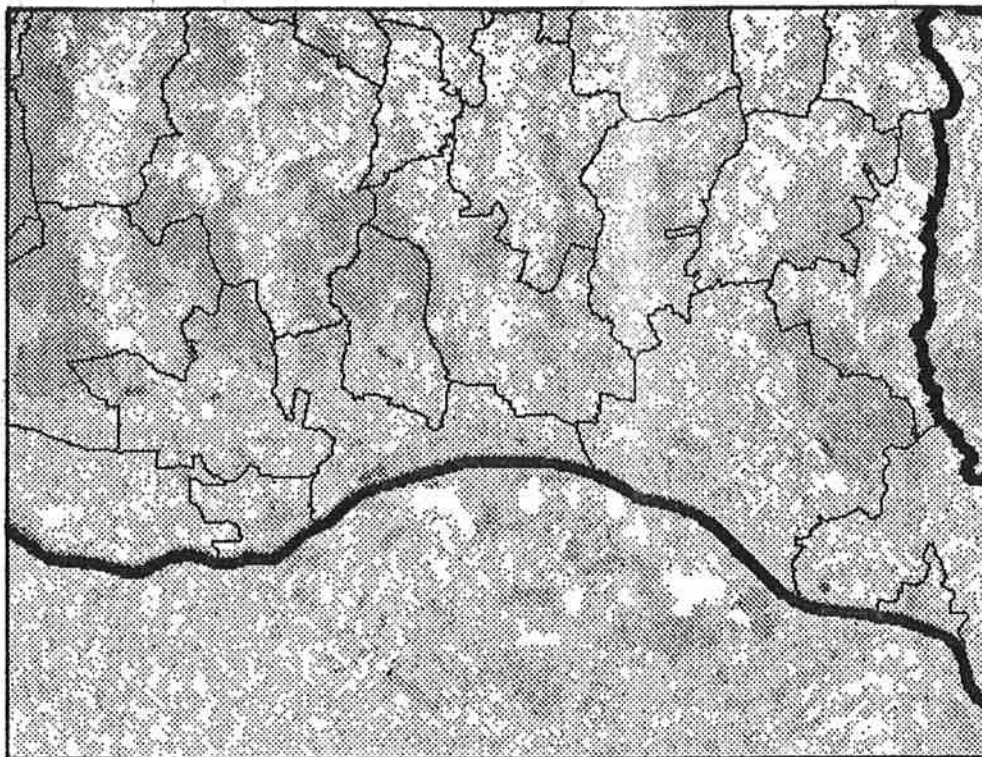


Abbildung 3.28: Überlagerung von Bild- und Kartendaten.
Bezirk BAD RADKERSBURG mit Gemeinde- und Staatsgrenzen

3.5.4.2 Multi-Temporale Bilder

Multitemporale Bilder erweitern die Kombinationsmöglichkeiten zur Farbdarstellung beträchtlich. Voraussetzung für die gemeinsame Betrachtung ist eine genaue Überlagerung der Einzelszenen. Je nach Bedarf lassen sich dann etwa Bilder des gleichen Kanals zu verschiedenen Zeitpunkten in den Grundfarben darstellen, wodurch temporale Veränderungen der Vegetation während des Jahres hervortreten (Abbildung 3.26). Eine Angleichung der statistischen Eigenschaften der Bilder kann analog zu Gleichung (3.12) erfolgen, um die Beleuchtungseinflüsse zu verringern.

Differenzen D zwischen Bildern lassen sich durch Subtraktion und Schwellwertbildung zur Ausschaltung zufälliger Variationen betonen:

$$D = a (G - H) + b \quad (3.24)$$

Die Werte $a = 0.5$ und $b = 127.5$ skalieren das Ergebnis wieder auf den gewohnten Wertebereich. Selbstverständlich kann auch der Absolutbetrag der Differenz verwendet werden (Abbildung 3.27).

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

3.5.5 Gemeinsame Darstellung von Bild und Karte

Zur Erleichterung der Lesbarkeit eines Bildes können Kartendaten dem Bild graphisch überlagert werden. Dazu muß eine geometrische Beziehung zwischen Bild- und Kartensystem bekannt sein oder über Entsprechungspunkte berechnet werden (Abbildung 3.28).

Neben graphischen werden auch bildhafte Daten anderen Ursprungs zusammen mit den Bilddaten betrachtet. Ein Beispiel sind digitale Höhenmodelle oder Temperaturbilder. Die gemeinsame Darstellung dieser Datensätze läßt sich durch die Anwendung der IHS-RGB-Transformation (Abschnitt 3.5.2.2 und Abbildung 3.29) ermöglichen.

3.6 BILDÜBERLAGERUNG UND ENTZERRUNG

3.6.1 Allgemeine Definition

Ein wesentlicher Schritt zur Vorbereitung multispatialer oder multitemporaler Daten für die Analyse ist die Herstellung einer geometrischen Beziehung zwischen den Datensätzen. In der Praxis ist zwischen

- (a) relativer Entzerrung oder Bildüberlagerung und
- (b) absoluter Entzerrung

zu unterscheiden.

Für die relative Entzerrung ist ein Bild des Datensatzes als Bezugsbild zu wählen, weitere Bilder werden auf diese Bezugsgeometrie hin umgewandelt. Wiesel (1981) hat dieses geeignete Verfahren im einzelnen untersucht. Der Begriff der absoluten Entzerrung bezeichnet die Anpassung aller Daten an ein geeignetes übergeordnetes Koordinatensystem, etwa das einer gebräuchlichen kartographischen Projektion. Es entstehen sogenannte "Orthophotos" oder "Orthobilder". Daten in einem solchen Bezugssystem können auch als "geokodierte" Daten bezeichnet werden (Guertin und Shaw, 1981). Auf Grund einer absoluten Entzerrung entsteht die Möglichkeit, thematische Daten aus bestehendem Kartenmaterial zur Unterstützung der Bildanalyse heranzuziehen. In dieser Form können die Bilddaten sinnvoll in einem umfassenden Informationssystem Eingang finden.

Der wesentliche Unterschied zwischen der relativen und absoluten Entzerrung liegt in der Art der Entsprechungsgrößen: es sind dies im ersteren Fall homologe Bildregionen, im zweiten identifizierbare Punkte.

Die gebräuchliche Methode zur geometrischen Entzerrung von Bilddaten läuft, wie schon im Abschnitt 2.5 erwähnt, in zwei Teilen ab:

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

- (i) Die Ermittlung der Bilddeformation aus Paßpunkten;
- (ii) Die Herstellung des entzerrten Bildes.

Bei den derzeitigen LANDSAT-MSS-Bildern erfolgt die Deformationsberechnung meist durch die Bestimmung der Parameter von Polynomfunktionen. Die Parameter werden mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate aus einem Überbestimmten Gleichungssystem gewonnen; die Deformationen resultieren aus Paßpunkten, welche die Koordinaten homologer Punkte in den Bezugssystemen festlegen. Typische Entzerrungssysteme stammen von van Wie und Stein (1977), Schuhr (1976) und Jansa (1982).

3.6.2 Das Korrespondenzproblem

Die Deformationsermittlung setzt die Bestimmung homologer Paßmerkmale voraus. Dies kann in der Terminologie der Mustererkennung mit "Korrespondenzproblem" bezeichnet werden (Neumann, 1981).

Paßpunkte werden zumeist visuell bestimmt, wobei die Qualität der Daten stark von den Fähigkeiten des Bearbeiters abhängig ist. Die aus der Photogrammetrie bekannte Methode des Markierens von Punkten im Gelände während der Messung ist auch für Satellitendaten möglich. Beispiele stammen von Evans (1974) und Lichtenegger (1978), wobei Spiegel auf den Sensor gerichtet wurden. Es konnte gezeigt werden, daß genau auf den Sensor ausgerichtete Spiegel einer Größe von nur $50 \times 50 \text{ cm}^2$ mit ihrer Reflexion zur Sättigung des Meßwertes für eine weit größere Bodenfläche genügen. Das Verfahren führt auf befriedigende Ergebnisse, ist aber im allgemeinen aufwendig.

Das automatische Aufsuchen von Entsprechungsmerkmalen beruht auf Korrelationsverfahren und eignet sich insbesondere für die relative Entzerrung. Dabei wird eine Vorlage, also ein Ausschnitt der Bezugsbildmatrix, in einem Suchgebiet über die Bildmatrix des zu überlagernden Bildes verschoben. In jeder Lage wird ein Maß für die Ähnlichkeit zwischen den Bildern im Ausschnitt der Vorlage berechnet. Am Punkt mit dem maximalen Wert des Maßes wird dann der Entsprechungspunkt vermutet. Eine Schätzung über die Lage des Suchgebietes läßt sich aus den Bahndaten des Satelliten ableiten. Wurde das Bezugsbild schon mit anderen Verfahren geokodiert, dann führt diese Vorgangsweise zu Paßpunkten für die absolute Entzerrung. In der Verarbeitungskette für den LANDSAT-4 Thematic Mapper ist die Verwendung einer Datei mit ausgewählten Bildausschnitten zur Herstellung geometrisch standardisierter Bildprodukte vorgesehen (Niblack 1981). Auch für LANDSAT-MSS Bilder bestehen, z.B. in der Bundesrepublik Deutschland, Merkmalsdateien mit Bildausschnitten (Göpfert, 1983).

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

3.6.3 Bild-Karte-Entzerrung

Auch die Karte ist eine Quelle für Vorlagen zur (automatischen) Auffindung von Entsprechungsmerkmalen. Kropatsch und Leberl (1981) wählen aus einer Kartendatenbank Objekte mit linien- oder flächenhafter Struktur aus und transformieren diese in das Bildsystem. Anschließend werden die vektoriiellen Daten in einen Raster übergeführt und die so entstandenen binären Masken zur Lokalisierung des Merkmals im Bild verwendet. Little (1980) benutzt die linienhaften Strukturen von Licht-Schatten-Grenzen zum Vergleich mit jenen Grenzen, die aus einem simulierten Beleuchtungsbild entnommen werden, welches aus einem digitalen Höhenmodell erzeugt wurde. Ähnlich gehen auch Seidel u.a. (1983) vor.

Allgemeine Verfahren der Mustererkennung, die statt der Bildwerte symbolische Beschreibungen von analysierten Bildern verwenden, sind für die Gewinnung von Verzerrungsinformationen noch kaum verwendet worden.

3.6.4 Zur digitalen Bildkorrelation

Die digitale Bildkorrelation kann auf den Bildausschnitten selbst vorgenommen werden, wobei das Ähnlichkeitsmaß durch den aus der Statistik bekannten Produktmomenten-Korrelationskoeffizienten gegeben ist: Aus diesem läßt sich für den Fall, daß ein Bild mit einer Maske überlagert werden soll, ein Maß ableiten, das den Kontrast im betrachteten Bildausschnitt wiedergibt.

Rechnerisch unaufwendig ist der Vergleich von aus den Bilddaten abgeleiteten Binärbildern. Hier bieten sich Schwellwertbilder von Kantenbildern an, da Kanten als hochfrequente Bildbestandteile relativ invariant gegenüber Beleuchtungsverhältnissen sind. Von Reeves und Rostampour (1982) wird ein adaptiver Schwellwert angewendet, wobei zunächst aus dem Bild mit den Rangoperationen

$$g' = \max_U (g) \quad g'' = \min_U (g) \quad (3.25)$$

aus einer Umgebung U jedes Bildpunktes die Maximal- und Minimalwerte bestimmt werden und anschließend ein Binärbild B mit Pixeln b

$$b = 1 \quad \text{für} \quad g \geq (g' - g'') / 2 \quad (3.26)$$
$$b = 0 \quad \text{sonst}$$

gebildet wird (Abbildung 3.30).

Als Ähnlichkeitsmaß werden die Flächen aus Durchschnitts- oder Äquivalenzoperatoren errechneten Maskenkombinationen verwendet und auf die Suchgebietsgröße normiert (Ranzinger 1982). Weitere Maße gibt Ehlers (1982) an, insbesondere auch für Bildverarbeitung im Frequenzbereich. Die in der Photogrammetrie oder für spezielle

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

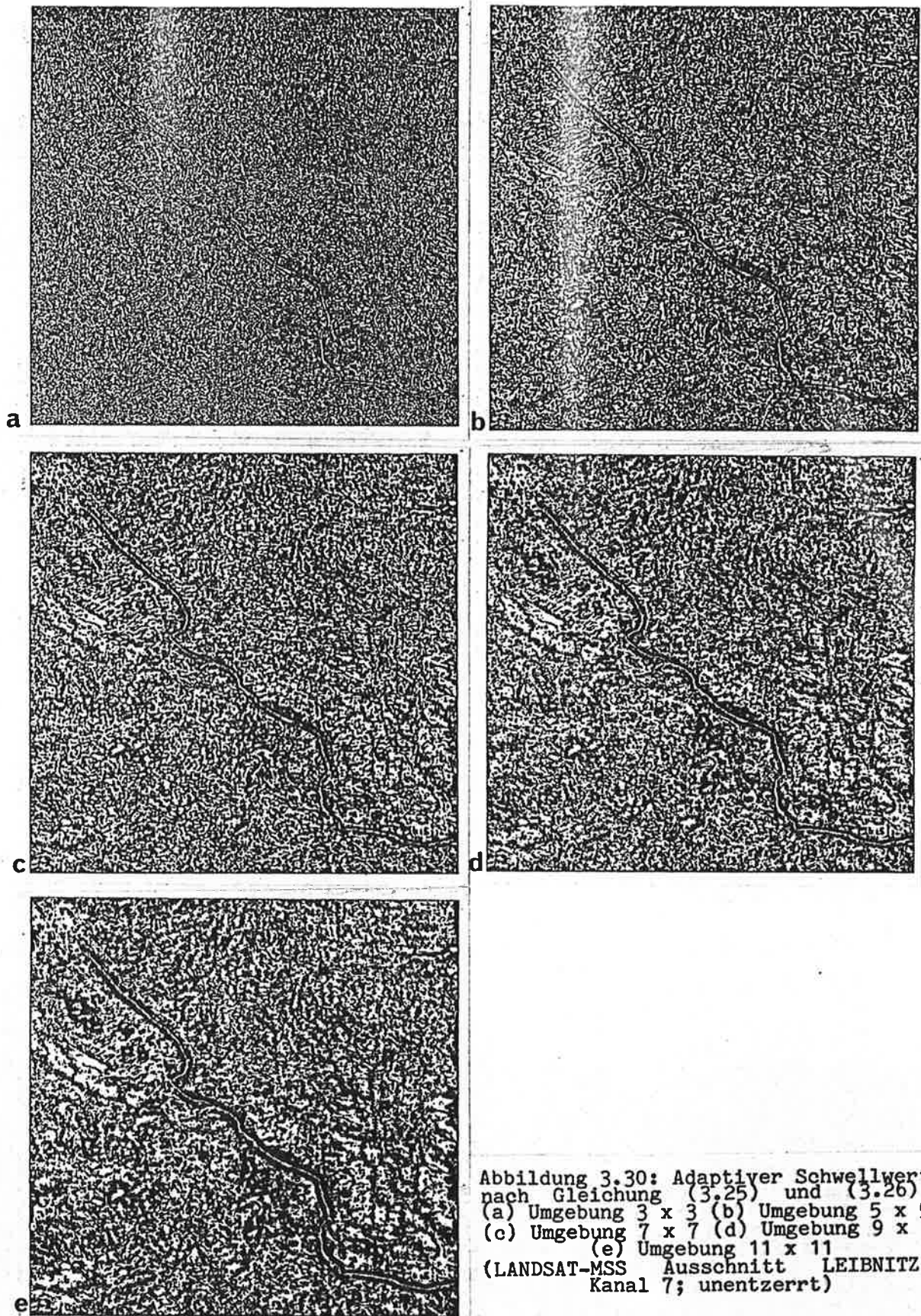


Abbildung 3.30: Adaptiver Schwellwert nach Gleichung (3.25) und (3.26).
(a) Umgebung 3 x 3 (b) Umgebung 5 x 5
(c) Umgebung 7 x 7 (d) Umgebung 9 x 9
(e) Umgebung 11 x 11
(LANDSAT-MSS Ausschnitt LEIBNITZ, Kanal 7; unentzerrt)

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

photogrammetrische Satelliten zu nutzende Kernstrahlenkorrelation (Helava und Chapelle, 1982) ist im LANDSAT-MSS-Fall nicht anwendbar, da keine sinnvolle Einschränkung der Suchgebiete möglich ist.

3.6.5 Ergebnis der Deformationsrechnung

Die Beschreibung der Beziehung zwischen den betrachteten Koordinaten-Systemen erfolgt durch ein Netz, in dem die impliziten Gitterpunktkoordinaten die Sollposition und die expliziten, am Gitterpunkt gespeicherten Koordinaten die Istpositionen von Bildpunkten des Referenz- und des zu transformierenden Bildes bedeuten (Abbildung 3.31). Nach einer Polynomtransformation ist es meist sinnvoll, die Werte in den Gitterpunkten durch Korrekturen aus den gewichteten Restklaffen in den ursprünglichen Paßpunkten zu verfeinern, um lokale Deformationen berücksichtigen zu können.

Die Identifizierung von Paßpunkten ist ein relativ langwieriges Verfahren, doch sollte ihr große Aufmerksamkeit geschenkt werden. Die Lage und Verteilung der Paßpunkte und ihre Genauigkeit sind entscheidende Voraussetzungen für eine zufriedenstellende Entzerrung.

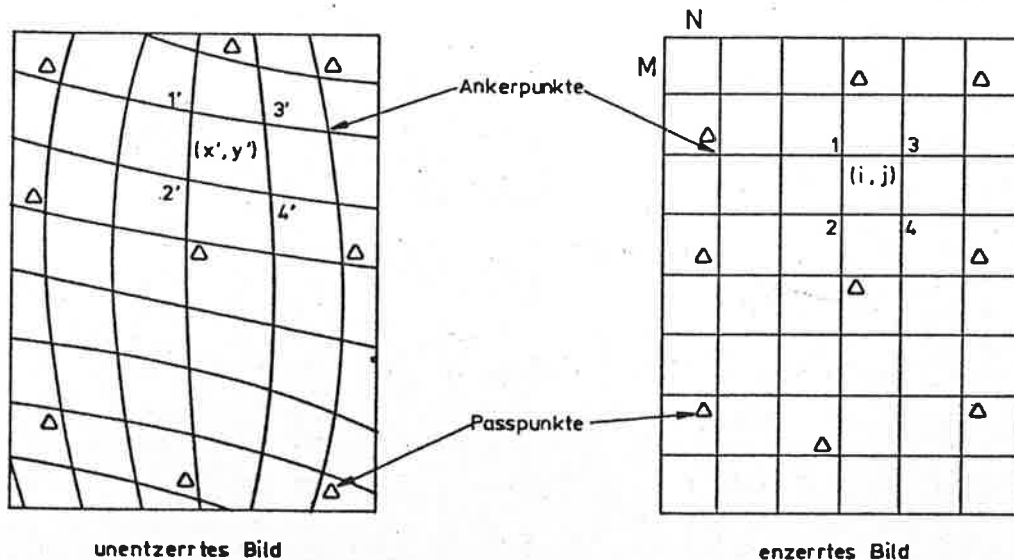


Abbildung 3.31: Beschreibung der Bilddeformationen durch ein Netz von Gitterpunkten.

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

3.6.6 Die Herstellung des entzerrten Bildes

Das errechnete Netz ist die Grundlage für den Umbildungsprozeß. In das Resultatbild werden die Punkte des Ausgangsbildes an die Stelle übernommen, die durch eine im allgemeinen bilineare Interpolation zwischen den benachbarten Gitterpunktskoordinaten gegeben ist. Diese sogenannte "indirekte" Methode hat gegenüber der "direkten" den Vorteil, daß keine Lücken entstehen können. Bei der direkten Methode werden die Grauwerte vom Ausgangsbild in die neue Lage im Resultatbild übertragen (vgl. etwa Konecny, 1976)

Die Grauwerte des Resultatbildes werden aus den Grauwerten des Ausgangsbildes bestimmt. Gebräuchliche Verfahren die Methoden des Nächsten Nachbarn (Abbildung 3.32), die bilineare (Abbildung 3.33) oder die bikubische Interpolation (Abbildung 3.34). Die letzten beiden Verfahren sind rechenaufwendiger und ändern die Originalgrauwerte. Dies wird besonders an Objekts Grenzen spürbar (Abbildung 3.35). Genaue radiometrische Untersuchungen sind dann nicht mehr möglich (Verdin, 1983). Auch bei thematischen Bilder kann es sinnvoll sein, die Methode des Nächsten Nachbarn zu benutzen, sofern die Bilder nicht Repräsentationen von stetigen Funktionen sind.

Nach der Umbildung ist die Genauigkeit der Überlagerung durch Korrelationsmethoden zu prüfen: Bildausschnitte des entzerrten Bildes werden mit den korrespondierenden Ausschnitten eines Referenzbildes verglichen. Dieses Vorgehen kann nach einer Paßpunktmethode zur Feinentzerrung genutzt werden: letzte Unterschiede zwischen den Geometrien werden aufgezeigt. Wiesel (1982) erzielte durch Interpolation in der Ähnlichkeitsfunktion reellwertige Korrekturvektoren und nach Korrektur des Netzes und abermaliger Umbildung eine Genauigkeit von etwa ± 0.15 Bildpunkten.

3.6.6.1 Multi-Sensor Bilder

Für Daten verschiedenartiger Bildgeber sind Resultate hoher Genauigkeit aufgrund der unterschiedlichen Aufnahmegeometrien und thematischen Unterschiede der Bildinhalte kaum erzielbar. Das Problem der Definition von Merkmalen und Bildausschnitten für die Korrelation ist kaum untersucht. Für LANDSAT-MSS oder RBV und SEASAT-Radar besteht eine Studie von McCandless (1982). Ähnliche Ergebnisse wurden von Rebillard und Evans (1982) erhalten.

3.6.6.2 Herstellung von Bildmosaiken.

Die Möglichkeit, aus mehreren einander überlappenden Szenen ein Bildmosaik zu bilden, dient zur Bedeckung größerer Gebiete und der Herstellung von vorgegebenen Kartenblattabschnitten. Neben der geometrischen Entzerrung besteht hier die Aufgabe der Angleichung der radiometrischen Werte der Einzelbilder entlang der Bildstöße. Hierzu sind die Überlappungsbereiche zu untersuchen. Für Österreich besteht derzeit ein von Jansa und Zierhuth (1981) beschriebenes

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

LANDSAT-MSS-Bildmosaik, in dem jedoch diese Angleichung kein wesentliches Element darstellte. Satellitenbildatlanten sind moderne Ergänzungen herkömmlicher Kartenwerke (Dierke, 1981).

3.7 BILDANALYSE

3.7.1 Definition

Die vorverarbeiteten Daten sind Grundlage der Bildanalyse von Informationen. Dabei wird versucht, den Bildinhalt zu verstehen (engl. Image Understanding, Brady, 1983). Die Beschreibung erfolgt nicht mehr durch die Bildmatrix mit ihren Grauwerten, sondern durch die im Bild enthaltenen Objekte und ihre Zusammenhänge. Multitemporale Daten ermöglichen die Betrachtung dynamischer Prozesse. Objekte werden durch ihre geometrischen und spektralen Eigenschaften, ihre Lage und ihre Beziehung zu anderen Objekten charakterisiert, Veränderungen durch die Beschreibung des zeitlichen Verhaltens dieser Kennzeichnung. Als erster Schritt ist das Bild zu segmentieren (Fu und Mui, 1981); damit wird die Aufteilung des Bildes in Bereiche gemeinsamer Eigenschaften bezeichnet. Hierzu dienen Grauwertbereiche, Farbe, Textur, Objektkonturen und die Objektlage.

3.7.2 Grauwertbereiche und Farbe

Die Abgrenzung der Grauwertbereiche kann durch die Schwellwertbildung (siehe Abschnitt 3.2.5) erfolgen. Für das Einzelbild ist dies dann zielführend, wenn Objekte zueinander guten Kontrast aufweisen. Im Falle der Multispektralbilder kann Farbe durch die Kombination der entsprechenden Grauwerte in den einzelnen Spektralkomponenten beschrieben werden. Die Segmentierung erfolgt dann mit Hilfe der mehrdimensionalen Schwellwertbildung.

Gurney und Townshend (1983) zeigen eine interessante Anwendung der Schwellwertbildung und verwenden kontextuelle Betrachtungen zur Auffindung von Schattenpartien, die durch Wolkenbedeckung verursacht sind. Die Kenntnis des Sonnenstandes ermöglicht es, die Richtung abzuschätzen, in die die Wolken (durch Schwellwertbildung für hohe Reflexionswerte erkennbar) verschoben werden müssen, um zu einer maximalen Überdeckung mit sehr niedrigen Grauwertbereichen zu kommen. Aus der Distanz läßt sich dann auch die Wolkenhöhe ableiten.

3.7.3 Textur

Textur ist eine Flächeneigenschaft und benennt die Muster, welche den spektralen Eigenschaften von Flächen überlagert sind, also die Variabilität im Grauwertbereich. Textur ist als Komposition von Primitivelementen vorstellbar, die mehr oder weniger periodisch über dem Objekt liegen. Erst im Zusammenhang mit anderen Eigenschaften des Objektes haben sie Bedeutung. So etwa ist das Objekt "Stadt" aus den

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

Primitiva "Häuserblock" zusammengesetzt. Ein Häuserblock kann andererseits die Textur Dächer haben, Dächer wieder aus "Dachziegeln" bestehen. Es ist daher nicht möglich, jedes Objekt durch eine einheitliche Textur zu beschreiben. Haralick (1978) stellt statistische und strukturelle Methoden zur Charakterisierung von Textur zusammen.

Textureigenschaften kommen nicht dem Bildpunkt selbst zu, sondern es werden bei der Berechnung von Texturmaßen Teilflächen des Bildes betrachtet; in der Regel sind dies regelmäßige, rechteckige oder quadratische Bildausschnitte. Dadurch tritt eine meist erwünschte Reduktion der Datenmenge ein, die jedoch schließlich wieder ausgeglichen werden muß.

Einfache Maße werden durch statistische Größen für Bildteile gewonnen. Hiefür sind etwa Kantenbilder heranzuziehen: Mittelwerte und andere Momente sind dann Maße für das Auftreten hoher Frequenzen. Auch diese Methoden sind auf die durch Schwellwertbildung gewonnenen Binärbilder anwendbar, in denen Kantenwerte aufsummiert und auch die Umgebungsstrukturen herangezogen werden können.

Abbildung 3.36 gibt ein Beispiel für einen Texturparameter, der den Kantengehalt in den einzelnen Bildausschnitten ausdrückt: Ein Kantenbild (vgl. Abschnitt 3.7.4) wird in 8 x 8 Pixel großen Ausschnitten durch Mittelwert und Standardabweichung der Kantenwerte repräsentiert.

Periodische Erscheinungen im Bild werden oft durch Autokorrelationsfunktionen oder durch Betrachtungen im Frequenzraum beschrieben. Bei Binärbildern lassen sich Informationen aus Erosionsoperatoren gewinnen. Dabei werden ausgewählte Muster über das Bild verschoben und etwa die Flächen der logischen Durchschnitte berechnet. Für Grautonbilder werden sogenannte Abhängigkeitsmatrizen als die zweidimensionalen Histogramme zwischen dem Bild und seiner relativen Verschiebung gebildet. Aus der Abhängigkeitsmatrix lassen sich Texturmaße ableiten. Diese Verfahren sind rechenzeit- und speicherplatzaufwendig und befinden sich in ihrer Anwendung auf Fernerkundungsdaten noch in einem Experimentalstadium.

3.7.4 Kanten

Kanten werden durch Paare benachbarter Pixel definiert und sind an Stellen starker Schwankung der Bildfunktion besonders ausgeprägt. Solche Schwankungen findet man am Rand von Flächen mit einheitlichem Grauwertbereich oder einheitlicher Textur. Kantenbilder werden durch Kantenoperatoren, eine Klasse von Filtern, erzeugt. Zwei dieser Operatoren, der Roberts- und der Laplace-Operator, wurden bereits in Abschnitt 3.5.3 beschrieben. Eine große Zahl weiterer Operatoren besteht und wird für verschiedene Anwendungen eingesetzt (Kugler und Wahl, 1979). Hierzu zählen Operatoren, die Kanten in bestimmten Richtungen finden (Compass-Gradient, Robinson 1976). Signifikante Kanten werden durch Schwellwertbildung definiert. Abbildung 3.37 zeigt ein Kantenbild nach Laplace und ein daraus abgeleitetes Binärbild, das 10 Prozent der höchsten Kantenwerte berücksichtigt.

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

Linienverfolgungsverfahren arbeiten auf der Basis von Kantenbildern und suchen Wege entlang des größten lokalen Gradienten im Bild; Anfangs- und Endbedingungen sind vorzugeben.

Die Ergebnisse der Liniensuche lassen sich durch Einbringung von Kenntnissen über die Struktur der linienhaften Elemente verbessern, etwa durch Karteninformation oder Formparameter (Fischler u.a., 1981; Kropatsch und Leberl, 1981; Pessl, 1983). Geschlossene Linien sind Begrenzungen von Flächen. Durch die Liniensuche lassen sich daher auch flächenhafte Strukturen erkennen. Kantenoperationen sind typischerweise parallele Vorgänge, die Linienverfolgung hingegen ist ein sequentieller Prozeß, da für die Weiterführung der Linie die Kenntnis des bisher erreichten Resultats nötig ist. Bei der Realisierung der Verfahren kommen daher auch verschiedenartige Datenstrukturen zur Anwendung, etwa Quadrees oder Bildpyramiden (Samet, 1981; Antonisse, 1981). Abbildung 3.38 gibt ein Beispiel fuer eine Linienverfolgung. Da gute Ergebnisse nur bei gutem Kontrast (hohen Kantenwerten) zu erwarten sind, wird die Verwendung der Methoden bei grob auflösenden Satellitendaten eingeschränkt.

3.7.5 Parallele und Sequentielle Flächensuche

Die Segmentierung von Bildern in Flächen ist ebenfalls mit parallelen und sequentiellen Verfahren möglich. Schwellwertoperationen und Suchverfahren nach Begrenzungslinien wurden bereits erwähnt. Bei der Klassifizierung wird jedem Bildpunkt ein Merkmalsvektor zugeordnet, mit dessen Hilfe er in einem Merkmalsraum einer Klasse zugeordnet wird. Diese Verfahren werden wegen ihrer Bedeutung in Abschnitt 6 gesondert diskutiert und sind zumeist parallel anwendbar. Sequentielle Verfahren beruhen auf Relaxationsmethoden, etwa dem simultanen Regionenwachstum: ausgehend von einer Menge von "Kernen" werden Objekte schrittweise durch Hinzunahme von Bildpunkten vergrößert, wobei Nebenbedingungen erfüllt werden müssen. Ein konkretes Verfahren wird etwa von Kropatsch (1982) vorgestellt. Sequentielle Verfahren werden derzeit nur vereinzelt auf Fernerkundungsdaten angewandt.

3.8 DARSTELLUNG DER ANALYSEERGEBNISSE

3.8.1 Bildhafte und tabellarische Darstellung

Die Resultate der Analyse von Fernerkundungsdaten werden graphisch dargestellt oder als Statistiken tabelliert. Die graphische Darstellung erfolgt entweder direkt aus dem Datenraster mit Hilfe entsprechender Geräte oder durch Umwandlung der Rasterdaten in Vektorformate zur Weiterbearbeitung in einem (vektororientierten) geographischen Informationssystem.

Die vektorielle Darstellung führt zu einer Datenkomprimierung. Es sind jedoch auch geometrische Transformationen einfacher durchzuführen. Vektororientierte Systeme verfügen über viele Möglichkeiten der Ausgestaltung des graphischen Endproduktes und können relationelle

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

Beschreibungen der Bildstrukturen enthalten, wodurch die Analyseresultate in verschiedener Weise auswertbar werden. Das in Abschnitt 5 beschriebene Informationssystem DESBOD wurde für derartige Verarbeitungen konzipiert.

Die Überführung von Segmentierungsergebnissen in eine Tabellenform ist für die statistische Auswertung notwendig. Im wesentlichen werden hierfür Histogramme über Teilflächen der Bilder genommen, die durch die Überlagerung mit thematischer Information definiert werden. Die Weiterbearbeitung der Tabellen wird von der Anwendung bestimmt.

3.8.2 Darstellungsgeräte

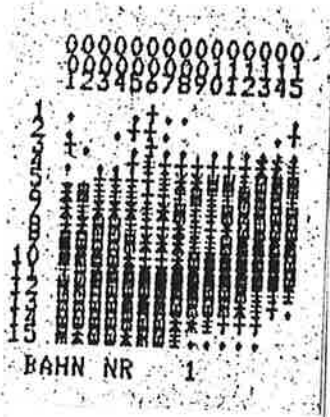
Für die Verarbeitung und Darstellung digitaler Bilder und graphischer Daten besteht eine rasch wachsende Geräteindustrie, die zum einen der reinen Darstellung, zum anderen der algorithmischen Bearbeitung dienen.

Die Bilddarstellung auf einem Monitor beinhaltet meist eine interaktive Eingabemöglichkeit über analog bedienbare Geräte, etwa Joystick, Rollkugel oder Lichtgriffel. Für die Arbeit mit Bildern und die Kontrolle der Resultate ist diese Form ein wesentliches Hilfsmittel.

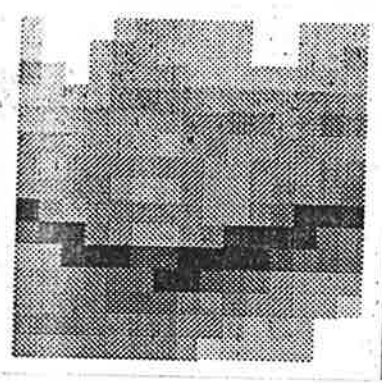
Für die Darstellung von Bildern auf dauerhaftem Trägermaterial werden Kameras, Filmschreiber und Druckgeräte verwendet. Normale Fotoapparate können zur Abbildung des Monitorbildes verwendet werden, doch treten dabei Verzerrungen durch die Bildschirmwölbung und Artefakte durch die Lochmaske der Röhre auf. Mangelnde Justierung der Konvergenz führt meist zu unscharfen Photographien. Integrierte Kamerasysteme mit flachem, verzerrungsfreiem Bildschirm und Einzelbelichtung der Grundfarben über Filter vermeiden diese Nachteile. Eine Einschränkung bei beiden Methoden ist, daß die maximale Bildgröße vom Bildverarbeitungsgerät festgelegt ist. Die Übertragung großer digitaler Bilder auf Film kann nur mit Hilfe von Filmschreibern erfolgen, die mit der Umkehrung des Abtasterprinzips arbeiten.

Die einfachste Darstellung auf Papier erfolgt auf gewöhnlichen Schnelldruckern, die mit einem normalen Typensatz durch mehrfaches Bedrucken einer Position verschiedene Schwärzungsgrade erreichen. Für kleine Bildausschnitte und geringe Ansprüche an die Auflösung der Bildwerte bzw. für thematische Bilder ist diese Methode billig und akzeptabel (Abbildung 3.39 (a)). Drucker mit Nadelkopf und Einzelansteuerung der Nadeln lassen eine Verbesserung der räumlichen Auflösung und durch Verwendung mehrfarbiger Farbbänder den Einsatz von Farbe zu. Die Ausgabegeschwindigkeit wird durch Ink-Jet-Drucker erhöht, die anstelle der Drucknadeln einen Kopf besitzen, der Farbpartikel direkt auf das Papier sprüht. Elektrostatische Druckgeräte setzen Farbe an aufgeladenen Stellen des Papiere ab und erreichen eine noch geringere Größe des einzelnen Rasterpunktes (Abbildung 3.39 (b)). Die Aufbereitung der Bilder für die Darstellung auf Druckern erfordert eigene Algorithmen, die geeigneten Grauwert- und Farbskalenabstufungen berücksichtigen.

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG



a



b

ANZDEZ-ON-10/ 1/84 AT 13:43:13
 CHANNEL 0 WINDOW 80 325 15 15

	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
325	207	249	238	238	200	168	179	207	228	218	249	254	218	218	200
326	192	244	233	202	153	174	202	213	223	213	233	233	213	192	143
327	158	210	231	220	179	168	189	210	220	210	210	200	189	189	189
328	197	215	205	197	156	135	145	145	166	145	145	156	106	106	135
329	179	179	168	158	148	148	137	119	109	88	98	127	78	47	88
330	111	101	122	132	132	143	163	122	101	122	122	101	80	101	132
331	109	130	119	109	109	130	109	101	130	130	101	101	101	70	91
332	104	111	93	93	132	163	143	111	132	143	104	73	83	62	52
333	1	67	98	88	88	119	119	109	140	140	88	39	1	1	8
334	36	1	1	67	106	145	156	106	67	5	1	1	1	47	67
335	127	98	1	1	1	26	16	1	1	1	1	16	47	36	57
336	101	80	80	60	49	49	1	1	29	49	60	101	122	122	132
337	91	80	70	60	41	31	41	70	80	70	101	119	140	158	207
338	73	52	52	73	93	62	62	104	111	132	174	153	174	244	244
339	88	119	78	78	119	88	78	140	200	179	189	189	189	249	241

c

Abbildung 3.39: Vergleich verschiedener Bilddarstellungen.
 (a) Ausgabe auf den Schnelldrucker in 8 Graustufen
 (b) Drucktechnische Aufrasterung mit Ausgabe auf einem elektrostatischen Drucker
 (c) Dezimalausdruck der Bildwerte

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

3.9 BILDDATENVERDICHTUNG

3.9.1 Allgemeines

Digitale Bilder und andere Rasterdarstellungen erfordern bei entsprechender geometrischer und radiometrischer Auflösung hohe Kapazitäten in der Übertragung und Speicherung. Die Verdichtung der Daten ist daher ein wertvolles Mittel zur effizienten Verarbeitung. Hierzu wird von der den Daten innenwohnenden Redundanz Gebrauch gemacht. Eine Vielzahl von Verfahren beruht auf der Extraktion von stochastischen Abhängigkeiten zwischen Datenverteilungen.

Rosenfeld und Kak (1982) geben Verfahren zur Transformation von Bilddaten an, die auf statistischen Maßen oder Darstellungen im Frequenzraum beruhen. Im allgemeinen geht bei der Rücktransformation ein Teil der Information verloren oder wird durch Artefakte verfälscht. Da die Bildarchivierung hohe Kosten verursacht, sind Informationsverdichtungsverfahren unumgänglich, vor allem bei der laufenden Erhebung von Fernerkundungsdaten auf operationeller Basis.

Intelligente Satelliten führen schon an Bord gewisse Auswertungen der Meßdaten durch, so daß bei der Übertragung zur Erde komprimiertes Material vorliegt. Eine Variante wird von Schowengerdt (1980) überlegt: Schon ein hochauflösendes Bild reicht für die Darstellung der hochfrequenten Bildstrukturen aus; spektrale (Farb-) Information kann daher mit geringerer Auflösung gemessen werden. Durch Kombination der Frequenzkomponenten lassen sich Mehrfachbilder mit hoher Auflösung rekonstruieren. Diese Überlegung kann mit LANDSAT-MSS und RBV Daten geprüft werden. Das französische SPOT-System wird prinzipiell ein einziges Spektralband höher auflösen (10 m) oder Farbinformation in drei Spektralbändern mit einer Auflösung von 20 m bereitstellen.

Verdichtete Information ist auch für die Bildanalyse wesentlich, da der Zeitbedarf von Algorithmen mit der Datenmenge meist nichtlinear steigt. Hier werden Überlegungen wertvoll, welche hierarchische Strukturen mit sinkender räumlicher Auflösung, etwa Bildpyramiden (Antonisse, 1981) betreffen. Die Interpretation von Details in einer höher auflösenden Datenebene baut auf der schnelleren, aber nicht so detaillierten Interpretation gröber auflösender Schichten auf, wobei jedoch nur mehr lokale Bereiche betrachtet werden müssen.

3.9.2 Hauptkomponententransformation

Eine häufig angewandte Verdichtungs-Transformation der Bilddaten ist die Hauptkomponenten- oder Karhunen-Loeve Transformation. Sie beruht auf der Tatsache, daß die Komponenten eines Mehrfachbildes nicht statistisch unabhängig sind, sondern einen gewissen Grad von Korrelation aufweisen. Der betrachtete Datensatz von Bildern G_n (mit Bildpunktvektoren g , deren Komponenten sich aus den Pixelwerten der Bilder ergeben; Abbildung 3.40) wird mittels einer Matrix T in einen neuen Datensatz G_n' (mit Bildpunktvektoren g') übergeführt:

(3.27)

$$\underline{g}' = T \underline{g}$$

T wird dabei als spezielle Rotationsmatrix bestimmt, die eine Drehung im n-dimensionalen Raum so durchführt, daß die neuen Einzelbilder statistisch unabhängig sind. Diese Bedingung ergibt, daß die Matrix T die Matrix der Eigenvektoren der Kovarianzmatrix des Datensatzes G_n sein muß (vgl. etwa Moik, 1980). Die Varianzen der Hauptkomponenten lassen sich der Größe nach ordnen, wobei zu beobachten ist, daß im allgemeinen in wenigen Hauptkomponenten ein Großteil der Gesamtvarianz der Ausgangsdaten repräsentiert ist. Die restlichen Hauptkomponenten sind zumeist verrauscht (vgl. Abbildung 4.4).

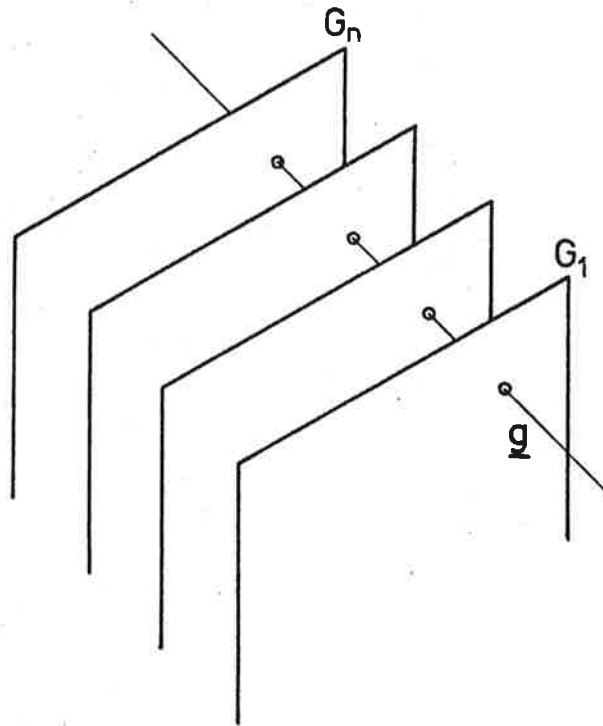


Abbildung 3.40: Bildungsschema der Bildpunktvektoren \underline{g} .

LANDSAT-MSS-Bilder weisen typischerweise nach der Transformation in den ersten beiden Hauptkomponenten mehr als 90 Prozent der totalen Varianz auf. Bei Vernachlässigung der beiden übrigen Komponenten ergibt sich so eine Datenreduktion von 50 Prozent. Landgrebe (in Swain und Davis, 1978) bezeichnet dies als "intrinsische Dimensionalität".

TYPISCHE VERFAHREN DER BILDDATENVERARBEITUNG

3.10 SCHLUSSFOLGERUNG

Der Methodenvorrat für die maschinelle Verarbeitung von Fernerkundungsbildern ist groß. Eine Reihe von Verfahren bildet den Kern eines bereitzustellenden Systems, das jederzeit modular erweiterbar sein muß. Daher wurde in diesem Abschnitt eine Übersicht über die verbreitetsten Methoden gegeben und auf weiterführende Literatur verwiesen. Die Illustration erfolgte durch Satellitenbildbeispiele aus der Steiermark. Aspekte der Implementierung einiger der beschriebenen Verfahren mit Hilfe eines speziell zur Verarbeitung von Bildern entworfenen Gerätes sind im folgenden zu beschreiben und zu diskutieren.

ABSCHNITT 4

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

4.1 GRUNDLAGEN

Für die Arbeiten mit Digitalbildern, insbesondere aus der Fernerkundung, wurde im Rahmen des Projekts ein flexibles System von Rechenprogrammen entwickelt, das zur Bildvorverarbeitung und Bildanalyse auf einem speziellen Bildverarbeitungsprozessor eingesetzt werden kann. Aus der Vielfalt möglicher Einzelverfahren der Bildverarbeitung ist eine Grundmenge von einfachen, universell einsetzbaren Operationen zu definieren, mit deren Hilfe komplexe Verarbeitungen aufgebaut und überprüft werden können. Der Datentyp "Bild" stellt dabei eine Operandenart dar, wofür sinnvolle Erweiterungen bekannter Operationen festzulegen sind.

Bildverarbeitungssprachen stellen Formulierungshilfen für Algorithmen der Bildanalyse dar und sind als Weiterentwicklung höherer Programmiersprachen auf einer problemorientierten Ebene zu sehen. Ihre Interpretation erfolgt durch die bekannten Werkzeuge der Datenverarbeitung.

4.1.1 Klassen von Parallelprozessoren

Die Verarbeitung von großen Datenmengen kann durch die parallele Abwicklung unabhängiger Operationen beschleunigt werden. Diese erfordert den Entwurf verschiedener Rechnerarchitekturen. Nach einer Einteilung von Karplus und Cohen (1981) kann Parallelität auf Instruktions- oder Datenebene erreicht werden.

Einzelinstruktionen auf einzelnen Daten (single instruction, single data stream, SISD) werden von den bekannten Mehrzweckrechenanlagen ausgeführt und enthalten Parallelität nur insofern, als alle Bits eines Datenwortes in einem Takt abgearbeitet werden. Derzeit stellen 32 Bit-Rechner den Stand der Technik dar.

Mehrere Operationen auf einem einzelnen Datenstrom (multiple instruction, single data stream, MISD) sind mit Hilfe des "pipeline"-Verfahrens möglich. Der Datenstrom durchläuft verschiedene Prozessorstufen, in einer Stufe wird jeweils ein Operationstyp ausgeführt, während in der vorhergehenden Stufe gleichzeitig eine andere

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

Operation auf den folgenden Daten erfolgt. Solche Entwürfe sind auch als Vektorprozessoren bekannt.

Rechnerarchitekturen mit mehrfachem Datenstrom (single or multiple instruction, multiple data stream, SIMD, MIMD) enthalten mehrere gleiche Recheneinheiten, die je nach Komplexität eine oder mehrere Operationen, letztere wieder nach dem "pipeline"-Verfahren, durchführen.

Ihre Struktur ist auf die Zweidimensionalität von Bilddaten abgestimmt, wodurch die Verarbeitungsgeschwindigkeit um einige Größenordnungen gesteigert werden kann. Der bereits in Abschnitt 2.8 erwähnte Massive Parallelprozessor MPP führt mehrere Milliarden Additionen pro Sekunde aus, verglichen mit Millionen Additionen auf Mehrzweckrechnern.

4.2 DAS BILDVERARBEITUNGSGERÄT

Das für die hier beschriebenen Aufgaben gewählte Gerät ist das Modell IP 6400 der US-Firma DeAnza 1)

Es zählt zum Typ der Display-Systeme, die mit MISD - Parallelprozessoren arbeiten, also nach dem pipeline-Verfahren; die Abarbeitung der Bilddaten erfolgt in Videozeittakten.

4.2.1 Ausstattung

In der eingesetzten Ausbaustufe verfügt das Gerät über drei Bildspeicher einer Kapazität von je 512 x 512 Bildpunkten mit einer Tiefe von 8 Bit, die einem Bildwertebereich von 0 bis 255 entspricht. Ein zusätzlicher Speicher derselben Größe und einer Tiefe von 4 Bit dient der Arbeit mit Graphik (Graphic Overlay). Innerhalb jedes Speichers können die Bits mit demselben Stellenwert gemeinsam als sogenannte Bitebene betrachtet und zur Ablage von Binärbildern benutzt werden.

Die Darstellung der Bilder erfolgt auf einem Fernsehmonitor mit einem Wiederholungszyklus von 30-Bildern pro Sekunde. Die Einzelbilder werden dabei in den Grundfarben Rot, Grün und Blau angezeigt. Über Transformationstabellen werden Kontrastverstärkungs- und Farbzufordnungs-funktionen bereitgestellt. Durch das Setzen von logischen Ursprungskoordinaten lassen sich die Bildebenen relativ zueinander verschieben und dadurch am Monitor bewegen ("scroll"). Ein analoges Eingabemedium, der Joystick, dient der Manipulation zweier verschieden gestaltbarer Sichtmarken (Cursors) und der interaktiven Steuerung von Abläufen. Über einen Speicher für alphanumerische Zeichen kann dem Bild

1) Dieses Gerät wurde aus Mitteln eines anderen am Institut durchgeführten Projektes des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung erworben (Projekt Verarbeitung medizinischer Daten der Computertomographie, P4299).

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

Textinformation überlagert werden.

Die Datenübertragung zum und vom Gerät erfolgt über einen virtuellen Adreßbereich des Zentralrechners 1). Vom Kontrollprogramm können die Steuerregister und Bilddaten geschrieben und gelesen werden, der Dialog mit dem Benutzer erfolgt über ein Datensichtgerät. Die Berechnungen erfolgen am Zentralrechner selbst oder in der Regel durch den speziellen "Digital Video Prozessor" des IP 6400 Systems.

4.2.2 Der Prozessorteil

Der Digital Video Prozessor (DVP) besteht aus zwei Arithmetisch-Logischen Einheiten (ALUs), einem Verschieberegister für die Modifikation der Resultate und einem Zählwerk. Je zwei Eingabepfade zu je 8 Bit führen zu jeder der ALUs, die selbst 8-Bit Resultate liefern. Die Verarbeitung erfolgt synchron zum Bildwiederholungszyklus. Der Zeitbedarf für die Ausführung einer Operation beträgt daher 1/30 Sekunde. Bei optimaler Auslastung werden pro Sekunde 15,7 Millionen Einzelverknüpfungen durchgeführt; dies entspricht etwa 65 ns pro Pixel.

Die Verarbeitung erfolgt zuerst im "Test-ALU", dessen Ausgabe als Eingabe in den "Operational ALU" geschaltet werden kann. Eingaben können Daten aus den Bildspeichern, Konstanten, Ergebnisse des Test-ALU oder Daten von einer Digitalkamera sein. Im Test-ALU wird ein Befehlscode gesetzt und ein Status des Resultates geliefert (carry-bit bzw. Überlauf bei Befehlsausführung). Im Op-ALU wird aufgrund dieses Status einer von zwei möglichen Befehlen ausgewählt und durchgeführt. Die verwendbaren Befehlscodes sind vom Typ arithmetisch (Operationsergebnisse konstant, gleich der Eingabe, Summe oder Differenz) oder logisch ('und', 'oder', 'nicht' und Kombinationen dieser Operationen) und bieten erst in ihrem Zusammenspiel die gewünschten Ergebnisse. So läßt sich beispielsweise die Multiplikation mit voller Genauigkeit (Resultat 16 Bit) durch eine Folge von Verschiebe- und Additionsoperationen durchführen.

Die Resultate gehen an das Verschieberegister weiter und können dort als 16 Bit-Wort oder zwei 8-Bit-Bytes verschoben werden. Die zwei 8-Bit Endergebnisse werden in die Bildspeicher zurückgeschrieben (Abbildung 4.1).

Beim Schreiben in die Speicher kann ein Schreibschutz auf eine von vier Arten definiert werden:

- (a) der Speicher wird zur Gänze geschützt;
- (b) ein Bereich, der durch eine Maske im Graphic Overlay definiert wird, wird zum Schreiben freigegeben;
- (c) ein Rechteck, das durch die Stellung der beiden Cursors definiert ist, bezeichnet den modifizierbaren

1) Digital VAX-11/750

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

Speicherbereich;

- (d) das Zurückschreiben erfolgt nur in durch eine Bitmaske freigegebene Bitebenen.

Schließlich kann eine Bedingung vorgegeben werden, nach der das Zählwerk bei der Ausführung der Operation auf einem einzelnen Bildpunkt weiterzählt. Damit kann festgestellt werden, wie oft eine Operation ein bestimmtes Resultat erbracht hat.

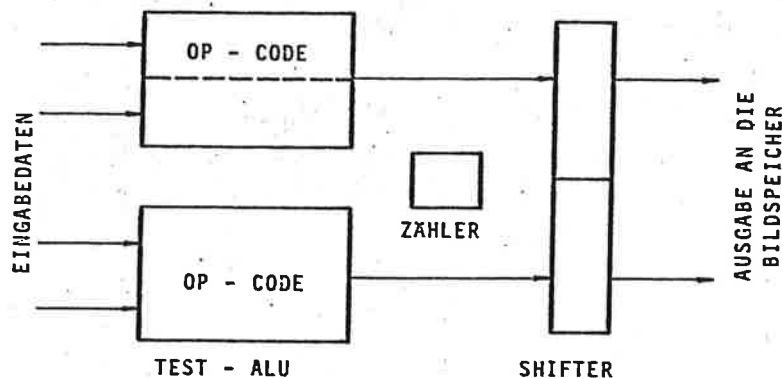


Abbildung 4.1: Schematische Darstellung der Teile des Digital-Video-Prozessors (DVP) von DeAnza.

Die Eingabedaten können vor ihrer Verarbeitung dadurch modifiziert werden, daß sie über eine Lookup-Tabelle transformiert werden. Die Verknüpfung von Bildpunkten mit Punkten aus ihrer Nachbarschaft erfolgt so, daß das Bild in zwei Bildspeicher geschrieben wird und einer der Bildspeicher dann logisch gegenüber dem anderen verschoben wird. Diese Verschiebung wird durch die Werte der "Scroll-Register" bestimmt. Sie geben an, von welcher Stelle in den Daten mit der Datenübertragung an den Prozessor begonnen wird. Enthält beispielsweise das Register für den Bildspeicher 0 den Wert (0,0) und das Register für den Bildspeicher 1 den Wert (k,1), so werden die Bildpunkte P0 (i,j) und P1 (i+k,j+1) gleichzeitig im Prozessor bearbeitet und verknüpft. Abbildung 4.2 zeigt schematisch den Ablauf einer Operation.

Alle benötigten Register werden vor Beginn der Operation gesetzt, indem die gewünschten Inhalte im Programm explizit (etwa als Oktalzahlen) angegeben und auf absolute Programmadressen transferiert werden. Je nach Komplexität der gewünschten Operation sind so bis zu sechzehn Register zu setzen und mehrere Tabellen zu definieren. Eine solche Schnittstelle, die bereits Kenntnisse auf der Ebene der Maschinensprache voraussetzt, ist für eine effiziente Handhabung ungeeignet. Um die Nutzung des Prozessors auf einer anwendernahen Ebene zu ermöglichen, wurde eine Befehlsbibliothek aus Unterprogrammen entwickelt, die für jeden Befehl die entsprechenden Register setzen und die Operationen initialisieren. Die in der Bibliothek enthaltenen Operationen sind in Tabelle 4.1 zusammengestellt.

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

ABS	Absolutbetrag (Daten 7 bit mit Vorzeichen)
ADC	Addition einer Konstanten zu einem Bild
ADD	Addition zweier Bilder
AVG	Addition mit Skalierung auf 8 bit $(P_x+P_y+1)/2$
A16	Addition mit 9 bit Resultat
CLB	Löschen einer Bitebene
CLR	Löschen eines Bildspeichers
CME	Vergleich auf =, Resultat als Binärbild
CMP	Vergleich auf =, Resultat als Binärbild
CPL	Kopieren nach Modifikation durch Lookuptabelle
CPY	Kopieren zwischen Bildspeichern
DIV	Division zweier Bilder mit Resultat Quotient und Rest
DVC	Division eines Bildes durch eine Konstante
EXP	Exponentiation
LOG	Logarithmus $\log(P_x^{**46})$
MAX	Maximum $\max(P_x, P_y)$
MIN	Minimum $\min(P_x, P_y)$
MCY	Kopieren zwischen Bitebenen (von Masken)
MAR	Fläche einer Maske
MCP	Komplementierung einer Maske
MEO	Exklusives Oder zwischen Masken
MEQ	Äquivalenz zwischen Masken
MND	Und zwischen Masken
MOR	Oder zwischen Masken
MLC	Multiplikation eines Bildes mit einer Konstanten
MUL	Multiplikation zweier Bilder, Resultat hat 16 bit
SBC	Subtraktion einer Konstanten von einem Bild
SUB	Subtraktion zweier Bilder
SET	Setzen eines Bildes auf einen konstanten Wert
SHB	Verschiebung byteweise
SHF	Verschiebung eines 16 bit Bildes (Skalierung)
SQR	Quadratwurzel aus einem 16 bit Bild
SUM	Summe aller Bildpunkte
THR	Schwellwertoperator
XCH	Vertauschen zweier Bilder in den Speichern

Tabelle 4.1: Befehle der Bildverarbeitungssprache

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

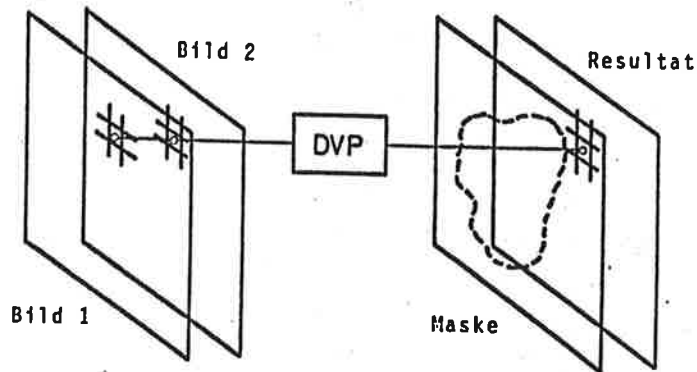


Abbildung 4.2: Schematische Darstellung des Ablaufs einer Operation.

4.3 KONKRETE ANWENDUNGSBEISPIELE

Die bestehende Gerätekonfiguration ist in ihren Möglichkeiten der Zahlendarstellung und des Befehlsvorrats beschränkt; dies erfordert numerische Überlegungen bei der Realisierung komplexerer Operationen. Dabei wird in manchen Fällen eine Näherung des mathematisch korrekten Resultats in Kauf genommen, um die Verarbeitung durch den Einsatz des Prozessors beschleunigen zu können.

4.3.1 Ratiobildung

Die Berechnung von Ratiobildern (Abschnitt 3.4.3.3) erfordert prinzipiell eine Division. Durch die Bildung des Logarithmus läßt sich die Division durch eine Subtraktion ersetzen. Da $\ln 255 = 5.54$ ist, würde der Dynamikbereich jedoch nicht mehr gut ausgenutzt und durch die Rundung auf ganze Zahlen ein großer Fehler eingeführt. Durch Multiplikation mit $c = 255/\ln 255$ ist eine Kompensation dieses Effekts möglich. Mit $b = 0$ wird Gleichung (3.14) zu

$$\begin{aligned}
 a^{G/H} &= a^{(G/H)^{1/c}} = \exp(\ln a + \ln(G/H)/c) \\
 &= \exp((c \ln a + c \ln G - c \ln H)/c)
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

Aus dieser Beziehung läßt sich die Berechnung in folgender Weise ableiten:

1. logarithmiere Bild G und H über eine Transformationstabelle (LOG);
2. berechne die Konstante $c \log a$;
3. subtrahiere die Bilder voneinander und addiere die Konstante (SUB, ADD);
4. exponentiere Resultatbild über eine Transformationstabelle und kompensiere dabei den Effekt von c (EXP).

Der Algorithmus benötigt in dieser Form 4 Zeittakte des Prozessors. Die Tabellen werden vom Steuerprogramm bereitgestellt. Die Genauigkeit ist für Daten gleicher Größenordnung hoch, wie dies bei MSS-Bildern zutrifft. Für sehr kleine oder sehr große Werte von g/h erhöht sich der Fehler. Dieses Problem wird bei Verwendung der Gleichung (3.16) in der Form

$$R = \frac{2 \cdot G}{G + H} \cdot 127 \quad (4.2)$$

vermieden. In diesem Fall sind vor der Ratiobildung noch zwei Additionen durchzuführen, womit der totale Zeitbedarf 6 Takte = 0.2 sec beträgt.

4.3.2 Kantenoperatoren

Als Beispiel für die Berechnung eines Filters im Ortsbereich sei der Kantenoperator nach Sobel mit einer Dimension von 3×3 dargestellt. Zuerst werden die partiellen Ableitungen

$$S = G * \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \quad T = G * \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (4.3)$$

gebildet und daraus der Kantenwert E nach einer der folgenden Variationen bestimmt:

$$E = S + T \quad (4.4)$$

$$E = \max (S , T) \quad (4.5)$$

$$E = (S^2 + T^2)^{1/2} \quad (4.6)$$

In einer anderen Schreibweise mit der Bezeichnung der 3×3 Umgebung des Bildpunktes

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

(4.7)

$$\begin{bmatrix} a & b & c \\ d & g & e \\ f & h & i \end{bmatrix}$$

wird

$$\begin{aligned} s_1 &= a + 2b + c \\ s_2 &= f + 2h + i \\ t_1 &= a + 2d + f \\ t_2 &= c + 2e + i \end{aligned} \quad \begin{aligned} s &= s_1 - s_2 \\ t &= t_1 - t_2 \end{aligned} \quad (4.8)$$

und

$$E = s + t \quad \text{oder} \quad (4.9)$$

$$E = \max(s, t) \quad \text{oder} \quad (4.10)$$

$$E = (s^2 + t^2)^{1/2} \quad (4.11)$$

als Wert der Kante bestimmt. Im ungünstigsten Fall sind die Werte E sechsmal so groß wie der größte darstellbare Wert. Während der Berechnung muß daher eine Skalierung durchgeführt werden. Für s_1 etwa ergibt sich

$$s_1' = s_1/4 = a/4 + b/2 + c/4 = ((a + c)/2 + b)/2 \quad (4.12)$$

Die Approximation für $(x+y)/2$ wird durch $(x+y+1):2$ erreicht, wobei : für die Division ganzer Zahlen mit Abrundung steht. Die Operation wird mit den Befehl AVG durchgeführt und benötigt einen Zeittakt.

Die vollständige Berechnung erfolgt durch zweimalige Verschiebung einer Kopie des Originals gegenüber dem Original, wobei jedesmal AVG angewandt wird. SUB bildet die Differenz S. Diese Folge wird sinngemäß auf die Spalten angewandt und ergibt T; schließlich werden die Resultate durch ADD addiert, wobei Werte größer als 255 auf 255 gesetzt werden. Dies wird als abgeschnittene Addition bezeichnet. Mit der Operation MAX erhält man Kantenwerte der Form (4.5). Insgesamt werden 12 Zeittakte = 0.4 s benötigt. Der Fehler ist kleiner als 1 für den Fall, daß kein Abschneiden notwendig ist.

4.3.3 Berechnung des Median

In der Statistik ist es manchmal üblich, anstelle des Mittelwertes den Median als Schätzung für den Erwartungswert der Verteilung einer stochastischen Größe heranzuziehen. Der Median ist jener Wert, der eine endliche Zahlenmenge so in zwei gleichmächtige Teilmengen zerlegt, daß die eine kleinere oder gleiche, die andere größere oder gleiche Werte erhält. Der Median ist in einer sortierten Folge von Zahlen der Wert an der Stelle $n/2$, wenn n die Länge der Zahlenfolge ist.

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

Es ist möglich, den Median aus dem Histogramm bzw. der kumulativen Verteilungsfunktion zu entnehmen, deren Berechnung auf dem DVP jedoch 256 Zeittakte in Anspruch nimmt 1). Eine schnellere Methode beruht auf dem Prinzip der binären Suche.

Betrachten wir zunächst die Schwellwertoperation THR. Mittels Angabe der unteren und oberen Grenze (L,U) wird eine Transformationstabelle erzeugt, in der

$$\begin{aligned} LUT_i &= 1 \text{ für } L \leq i \leq U & (4.13) \\ LUT_i &= 0 \text{ sonst} \end{aligned}$$

gesetzt wird. Das Bild wird über diese Tabelle transformiert, das Ergebnis mittels des Verschieberegisters in die gewünschte Bitebene gehoben und dort gespeichert. Gleichzeitig bestimmt der Zähler die Fläche des entstehenden Binärbildes.

Die Suche nach dem Median benützt diese Fläche wie folgt:

1. Setze $L = 0$, $U = 127$, $D = 128$ und N_p auf 50 Prozent der betrachteten Bildfläche
2. Ersetze D durch $D/2$
3. Bestimme die Anzahl der Bildpunkte N im Intervall (U,L) mittels THR
4. Wenn $N < N_p$, ersetze U durch $U + D$
 $N = N_p$, dann ist U der Median
 $N > N_p$, ersetze U durch $U - D$
5. Führe die Schritte 2 - 4 durch, bis $D = 0$ ist
6. U ist der Median

In der Verallgemeinerung des Verfahrens lassen sich bei geeigneter Wahl von N_p beliebige Perzentile berechnen. Anwendung findet die Methode für die Bestimmung des Minimums und Maximums eines Bildes oder die Berechnung eines Schwellwertes für die Markierung signifikanter Kanten nach Hochpaßfilterungen.

Das Verfahren bricht spätestens nach 8 Schritten ab und erfordert somit auch maximal 8 Zeittakte (0.27 s).

1) In jedem Takt wird eine der Zahlen des Intervalls (0,255) mit allen Bildwerten verglichen. Die Häufigkeit ihres Auftretens wird durch den Zähler bestimmt. Diese Vorgangsweise ist ein wesentlicher Nachteil des Gerätes, da weitaus schnellere Schaltungen zur Histogrammbildung bekannt sind (Peled, 1979).

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

4.3.4 Medianfilterung

Der Medianfilter ist ein Spezialfall der sogenannten Rangordnungsoperatoren. In einer 3 x 3-Umgebung wird der Wert des zentralen Pixels durch den fünftgrößten seiner Nachbarn ersetzt. Eine Approximation (Reeves und Rostampour, 1982) benützt den Wert

(4.14)

$$\text{med}' = \text{med} (\text{med} (a,b,c), \text{med} (d,g,e), \text{med} (f,h,i))$$

mit der Bezeichnung der Umgebung wie in (4.7). Es werden also zunächst die Mediane von je 3 Werten zeilenweise, dann der Median in den Spalten gebildet, wobei der Median von 3 Werten als zweitgrößter Wert bestimmt ist. Zu seiner Berechnung müssen Vergleiche zwischen den 3 Werten durchgeführt werden. Seien x, y, z drei Zahlen, dann ergibt sich folgende Kombination für die Vergleiche:

(4.15)

Folge	$x \leq y$	$x \leq z$	$y \leq z$	Median
x y z	1	1	1	y
x z y	1	1	0	z
y x z	0	1	1	x
y z x	0	0	1	z
z x y	1	0	0	x
z y x	0	0	0	y

0 bedeutet falsch, 1 richtig.

Der Befehl CMP vergleicht zwei Bilder und erzeugt ein Binärbild, in dem 1 überall dort steht, wo ein Pixel des ersten Operanden größer oder gleich dem entsprechenden Pixel des zweiten Operanden ist. Wird nun das Ergebnis jedes der drei Vergleiche in eine andere Bitebene des Graphikspeichers geschrieben, etwa für $x \leq y$ in Ebene 0 (Stellenwert 1), für $x \leq z$ in Ebene 1 (Stellenwert 2) und für $y \leq z$ in Ebene 2 (Stellenwert 4), so ergibt sich als Inhalt, pixelweise betrachtet, 0 oder 7 dort, wo y der Median ist; z ist der Median für 3 oder 4, x ist der Median für 1 oder 6. Die Werte 2 und 5 entsprechen keiner möglichen Kombination von Vergleichsergebnissen.

Entsprechend dem Inhalt des Graphikspeichers werden nun die Mittelpixel auf die Medianwerte gesetzt. Dies erfolgt durch das Setzen der Schreibkontrolle, das Verschieben des Ursprungbildes und das selektive Kopieren in das Ergebnisbild an den markierten Stellen. Für die Spalten wird sinngemäß vorgegangen.

Für die Berechnung werden 18 Zeittakte benötigt. Die Approximation liefert in 57 Prozent dieser Fälle das korrekte Ergebnis, in 43 Prozent der Fälle wird als Median fälschlich der viert- oder sechstgrößte Wert der sortierten Reihenfolge gesetzt.

Andere Sonderfälle von Rangordnungsoperatoren sind Minimums- und Maximumoperatoren, die den Wert des Mittelpixels auf das Minimum bzw. Maximum über alle Nachbarn einer Umgebung setzen. Sie können durch Verschiebung des Bildes in alle Nachbarschaftspositionen und Anwendung

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

des Befehls MIN bzw. MAX bestimmt werden. Ihr Zeitbedarf ist proportional zur Größe der Umgebung.

Abbildung 4.3 vergleicht die Dezimalwerte des Originalbildes mit dem daraus errechneten Mittelwert bzw. Median über eine 3 x 3-Umgebung.

4.3.5 Karhunen-Loeve-Transformation

Die Transformation auf Hauptkomponenten (siehe Abschnitt 3.9.2) besteht aus zwei Schritten:

1. Berechnung der Kovarianzmatrix und ihrer Eigenvektoren zur Bestimmung der Transformationsmatrix
2. Linearkombination der Bilder

4.3.5.1 Berechnung der Transformationsmatrix

Aus der Beziehung

(4.16)

$$s_{ij}^2 = \left(\sum_{k=1}^n g_{ik} g_{jk} - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n g_{ik} \sum_{k=1}^n g_{jk} \right) / (n-1)$$

für die Kovarianz zweier Zahlenfolgen G_i und G_j mit n als Anzahl der Elemente in jeder Zahlenfolge ergibt sich, daß Summen der Bildgrauwerte und Summen von Produkten einander entsprechender Bildpunkte berechnet werden müssen.

Die Summe aller Grauwerte eines Bildes wird durch den Befehl SUM geliefert. SUM bestimmt für jede der acht Bitebenen die Anzahl der auf 1 stehenden (Binär-) Bildpunkte, multipliziert mit dem entsprechenden Stellenwert 2^b , $b = 0, \dots, 7$ und summiert die Ergebnisse auf. Dafür werden acht Zeittakte benötigt. Die Multiplikation zweier Bilder (punktweise) erfolgt ähnlich der manuellen Berechnung im Dualsystem. Ein Faktor wird jeweils um eine Stelle versetzt und für das Resultat addiert, wenn die entsprechende Stelle im zweiten Faktor 1 ist. Der Befehl MUL liefert ein 16 Bit langes Ergebnis aus zwei 8 Bit langen Faktoren und legt es in zwei Bildspeichern ab. In dieser Darstellung ist das Produkt exakt richtig. Die Summenbildung erfolgt durch zweimalige Anwendung von SUM, wobei der erhaltene Wert für den Bildspeicher, der die höherwertigen Stellen des Resultates enthält, mit dessen Stellenwert 256 zu multiplizieren ist.

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

ANZDEZ ON 10/ 1/84 AT 14:24:14
CHANNEL 0 WINDOW 81 124 15 15

	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
124	102	60	64	64	79	95	76	76	95	106	129	141	129	126	149
125	111	96	88	76	80	111	92	99	115	127	139	123	123	123	139
126	146	154	154	154	142	130	109	113	134	142	130	117	130	146	142
127	108	123	119	134	142	146	138	127	127	127	119	127	142	150	111
128	113	113	109	109	120	128	132	124	124	117	113	132	144	109	70
129	127	131	143	139	115	115	131	135	123	123	123	123	135	108	65
130	126	110	126	152	133	118	129	129	126	114	114	106	87	68	60
131	123	147	135	123	135	127	119	119	115	107	76	56	60	68	68
132	101	138	150	130	142	146	117	77	61	57	57	61	85	77	61
133	66	70	85	85	89	70	62	73	70	62	62	54	66	70	66
134	70	70	70	70	59	59	63	66	66	63	66	63	63	66	70
135	65	69	69	65	57	53	61	69	69	69	65	61	57	65	65
136	60	60	64	56	56	52	52	64	76	72	60	64	64	60	60
137	64	60	60	60	60	56	56	56	64	68	64	56	56	60	56
a 138	101	65	61	69	65	77	69	57	65	73	73	57	57	57	57

ANZDEZ ON 10/ 1/84 AT 14:24:47
CHANNEL 2 WINDOW 81 124 15 15

	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
124	98	87	75	73	77	82	87	92	104	119	127	129	126	128	133
125	119	108	101	101	103	101	99	101	113	124	129	128	129	133	136
126	125	122	122	121	123	121	117	117	124	128	128	127	133	134	124
127	128	127	130	131	133	131	127	126	127	126	125	128	133	127	107
128	120	122	125	125	127	130	131	130	126	123	124	130	131	115	89
129	123	123	126	128	125	125	127	129	125	122	121	122	114	95	75
130	123	130	134	134	129	125	124	125	122	115	106	99	92	82	71
131	116	129	134	137	134	129	119	110	101	92	84	78	76	73	67
132	98	112	117	120	116	112	101	91	83	74	65	63	68	70	66
133	82	91	97	99	95	91	82	73	66	62	60	63	67	69	64
134	69	71	73	72	68	65	65	67	68	66	63	61	62	64	63
135	66	68	67	63	59	58	61	65	68	67	65	62	62	63	62
136	66	65	64	61	57	56	58	63	69	68	65	60	60	60	60
137	73	67	63	62	62	61	60	61	65	68	65	60	58	58	57
b 138	83	72	65	66	70	71	67	62	62	65	63	58	55	55	55

ANZDEZ ON 10/ 1/84 AT 14:24:35
CHANNEL 1 WINDOW 81 124 15 15

	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
124	102	88	84	65	79	79	76	88	104	115	127	127	123	123	135
125	111	96	88	80	80	92	99	99	115	127	129	129	129	129	142
126	119	119	123	134	142	130	113	113	127	127	127	127	130	142	135
127	119	119	123	134	142	130	128	124	127	127	127	130	132	142	111
128	119	119	123	134	120	128	131	127	124	123	123	127	132	109	70
129	126	126	126	133	120	128	129	129	124	117	117	123	123	108	65
130	126	131	135	135	127	127	129	129	123	114	114	106	87	68	65
131	123	135	135	135	133	129	119	119	115	107	76	61	77	68	61
132	101	135	135	135	127	127	117	77	70	62	62	61	66	68	66
133	70	70	65	85	85	70	70	70	66	62	62	62	66	66	66
134	70	70	70	70	59	59	63	69	69	66	63	62	63	66	66
135	65	69	69	65	57	57	61	66	69	69	64	63	63	65	65
136	64	60	60	60	57	56	56	64	69	69	64	61	61	60	60
137	64	60	60	60	60	56	56	64	65	72	64	57	57	57	57
c 138	100	65	65	65	69	69	69	65	64	64	64	57	57	57	56

Abbildung 4.3: Vergleich verschiedener Bildoperatoren (Dezimalwerte).
(a) Originalbild (b) Mittelwert in einer 3 x 3 Umgebung
(c) Median in einer 3 x 3 Umgebung

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

Da nur drei Bildspeicher zur Verfügung stehen, müssen die Einzelbilder vom Massenspeicher (Magnetplatte) in die Bildspeicher geladen werden, was etwa 2 Sekunden pro Transfer in Anspruch nimmt. Für N Bilder werden $N(N+1)/2$ Ladevorgänge notwendig, da die Kovarianzmatrix symmetrisch ist.

Alle Berechnungen auf Bildern erfolgen mit dem Bildverarbeitungsprozessor. Die Berechnungen mit Skalarwerten und die Bestimmung der Eigenwerte und Eigenvektoren sowie der Korrelationen

(4.17)

$$r_{ij} = \frac{s_{ij}^2}{s_i s_j}$$

auf konventionelle Weise. Der Zeitbedarf hierfür ist gering im Vergleich zum Aufwand beim Laden und der Multiplikation der Bildmatrizen und daher zu vernachlässigen.

Die Eigenvektoren

$$\underline{e}_k, \quad k=1, \dots, N, \quad (4.18)$$

sortiert nach der Größe der zugehörigen Eigenwerte, ergeben die Koeffizienten für die Linearkombination der Ausgangsbilder zur Berechnung der Hauptkomponenten:

(4.19)

$$p_k = \sum_{l=1}^N e_{kl} g_l$$

Die Summanden werden durch eine sogenannte synthetische Multiplikation errechnet: Für jede Originalbildkomponente G_l wird pro Eigenvektorkomponente e_{kl} eine Transformationstabelle erstellt, die für jeden Grauwert das Produkt mit der Konstanten e angibt, also

(4.20)

$$LUT_i = \text{int}(i \cdot e_{kl} + 0.5), \quad i=0, \dots, 255$$

Der Summand 0.5 dient der Verringerung der Rundungsfehler; $\text{int}(x)$ ist die Funktion "größte ganze Zahl kleiner oder gleich x ". Jedes Bild wird mit der entsprechenden Tabelle transformiert, die Einzelergebnisse werden aufsummiert und das Resultat auf Massenspeicher transferiert. Pro Hauptkomponente werden daher $N + 1$ Datentransfers und $2 N$ Zeittakte des Prozessors benötigt.

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

Die gesamte Hauptkomponententransformation nimmt für eine LANDSAT-Szene mit ihren vier Einzelbildern im Bildausschnitt von 512 x 512 Pixel etwas über eine Minute in Anspruch, wobei die Transferzeiten mehr als 80 Prozent der Gesamtzeit ausmachen. Ohne Bildtransfer benötigt diese Hauptkomponententransformation etwa 300 Zeittakte, also ca. 10 s.

Die Ergebnisse einer solchen Transformation sind in Abbildung 4.4 dargestellt, Abbildung 4.5 zeigt die durch das Programm errechneten statistischen Werte und Transformationsparameter. Die Eigenvektoren sind dabei bereits umsortiert.

```

PRINCIPAL COMPONENT TRANSFORMATION
  4 COMPONENTS 262144. PIXELS PROCESSED

MEAN VALUES AND STANDARD DEVIATIONS
  31.11      33.87      88.18      100.7
  6.021      10.54      14.72      20.73

VARIANCE-COVARIANCE
  36.25      60.60      42.07      27.67
  60.60      111.2      64.05      33.12
  42.07      64.05      216.6      285.7
  27.67      33.12      285.7      429.8

CORRELATIONS
  1.0000      0.9546      0.4748      0.2216
  0.9546      1.0000      0.4127      0.1515
  0.4748      0.4127      1.0000      0.9362
  0.2216      0.1515      0.9362      1.0000

EIGENVALUES
  2.277      144.1      6.718      640.8

EIGENVECTORS
  0.8852      0.4508      -0.7267E-01      0.8962E-01
 -0.4596      0.8303      -0.2873      0.1297
 -0.6869E-01      0.1510      0.8039      0.5711
  0.2422E-01      -0.2909      -0.5156      0.8056

INFORMATION PER IMAGE
  NAME          EIGENVAL      PERCENT      PERCENT CUM
[DEANZA.IMAGES]LJUNC7.PIC
  640.7542114      80.7129211      80.7129211
[DEANZA.IMAGES]LJUNC5.PIC
  144.1188733      18.1540051      98.8669281
[DEANZA.IMAGES]LJUNC6.PIC
  6.7175930      0.8461850      99.7131119
[DEANZA.IMAGES]LJUNC4.PIC
  2.2774897      0.2868851      100.0000000

EIGENVECTOR
  0.8896196      0.1297071      0.5711163      0.8055871
  0.4507582      0.8303228      0.1509516      -0.2908518
 -0.0726710      -0.2873144      0.8039411      -0.5156046
  0.8851578      -0.4595548      -0.0686914      0.0242193
    
```

Abbildung 4.5: Bei der Hauptkomponententransformation für Abbildung 4.4 errechnete statistische Werte.

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

4.3.6 Operationen auf Binärbildern

Binärbilder haben in der digitalen Bildverarbeitung große Bedeutung. Sie sind, wie die bisher angeführten Beispiele zeigen, Resultate oder Zwischenergebnisse wesentlicher allgemeiner Operationen auf digitalen Bildern. Die in Rechenanlagen verwendete zweiwertige Logik ist zu ihrer Bearbeitung optimal geeignet. Eine große Anzahl von Algorithmen wurde entwickelt, um Informationen aus Binärbildern zu extrahieren, speziell auf ihre Struktur abgestimmte Prozessoren vorgeschlagen und konstruiert. Eine Übersicht über den Stand der Wissenschaft geben Rosenfeld und Kak (1982) oder Rosenfeld (1983).

Zur Implementierung der Algorithmen ist eine Reihe von Basisoperationen notwendig, aus denen schrittweise höhere Funktionen abgeleitet werden können. Im folgenden wird eine Reihe solcher Operationen vorgestellt, die von den Möglichkeiten des Parallelprozessors eingehend Gebrauch macht.

Grundlegend ist das Bereitstellen der bekannten logischen Verknüpfungen Durchschnitt, Vereinigung, Differenz, Äquivalenz, Komplement. Kopieren und Löschen von Binärbildern sind selbstverständliche Funktionen. All diese Operationen arbeiten pixelweise.

Umgebungsabhängige Operationen lassen sich durch eine flexible Darstellungsweise realisieren. Betrachtet man die 3 x 3-Umgebung eines Bildpunktes, dann läßt sich jede mögliche Konfiguration der 8 Nachbarn folgendermaßen eindeutig darstellen: Man numeriert die Nachbarn p_i eines Pixels

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 7 & & 3 \\ 6 & 5 & 4 \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

und definiert eine Abbildung

$$g = \sum_{i=0}^7 p_i^2 \cdot \quad \text{mit } p_i = 0, 1 \quad (4.22)$$

Für jedes Pixel des Binärbildes erhält man so ein Pixel in einem Umgebungsbild, das einen Wert zwischen 0 und 255 annimmt. Alle Kombinationen sind in Abbildung 4.6 dargestellt.

Die allgemeine Transformation kann nun durch die Angabe zweier binärer Vektoren definiert werden. Der erste Vektor gibt für jede Konfiguration den neuen Wert des Mittelpixels für den Fall an, daß es gleich 1 ist; der zweite Vektor gibt an, welcher Wert an die Stelle eines Mittelpixels mit derzeitigem Wert gleich 0 zu setzen ist. Will man beispielsweise isolierte Pixel löschen (alle Nachbarn sind 0) und gleichzeitig kleine Lücken füllen (alle Nachbarn sind 1), dann geben die

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

0	1	*1	*1	**1	*1	*1*	**	***	1*	*1*	1*	**1*	1*	*1*	1*	***
16	1*	*1*	*1*	**1*	1*	*1*	**	***	1*	*1*	1*	**1*	1*	*1*	1*	***
32	1*	*1*	*1*	**1*	1*	*1*	**	***	1*	*1*	1*	**1*	1*	*1*	1*	***
48	1**	*1**	*1**	**1**	1**	*1**	**	***	1**	*1**	1**	**1**	1**	*1**	1**	***
64	1*	*1	*1	**1	*1	*1	**	***	1*	*1	1*	**1	1*	*1	1*	***
80	*1*	*1*	*1*	**1*	*1*	*1*	**	***	*1*	*1*	*1*	**1*	*1*	*1*	*1*	***
96	*1*	*1*	*1*	**1*	*1*	*1*	**	***	*1*	*1*	*1*	**1*	*1*	*1*	*1*	***
112	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
128	*1	*1	*1	**1	*1	*1	**	***	*1	*1	*1	**1	*1	*1	*1	***
144	*1*	*1*	*1*	**1*	*1*	*1*	**	***	*1*	*1*	*1*	**1*	*1*	*1*	*1*	***
160	*1*	*1*	*1*	**1*	*1*	*1*	**	***	*1*	*1*	*1*	**1*	*1*	*1*	*1*	***
176	*1**	*1**	*1**	**1**	*1**	*1**	**	***	*1**	*1**	*1**	**1**	*1**	*1**	*1**	***
192	*1*	*1	*1	**1	*1	*1	**	***	*1*	*1	*1	**1	*1	*1	*1	***
208	*1*	*1*	*1*	**1*	*1*	*1*	**	***	*1*	*1*	*1*	**1*	*1*	*1*	*1*	***
224	*1*	*1*	*1*	**1*	*1*	*1*	**	***	*1*	*1*	*1*	**1*	*1*	*1*	*1*	***
240	*1**	*1**	*1**	**1**	*1**	*1**	**	***	*1**	*1**	*1**	**1**	*1**	*1**	*1**	***

Abbildung 4.6: Darstellung der in einer 3 x 3 Umgebung möglichen Bildwertkonfigurationen in einem Binärbild. Die Anordnung erfolgte entsprechend Gleichung (4.22)

Vektoren $v_0 = (0, 1, \dots, 1)$ und $v_1 = (0, \dots, 0, 1)$ die notwendige Information an. Der Befehl NBMAP realisiert die Transformation (4.22) durch achtmaliges Verschieben des Binärbildes und Kopieren in die acht aufsteigenden Bitebenen eines Bildspeichers.

Durch die Betrachtung von Nachbarschaften im Umgebungsbild lassen sich Aussagen über 5 x 5-Nachbarschaften im Binärbild machen, was Feigin und Ben-Yosef (1983) zur Erkennung von Linien benützen.

Die Transformationsvektoren sind die Parameter eines allgemeinen Transformationsprogrammes. Durch geeignete Definition lassen sich Operationen wie Vergrößerung, Verkleinerung, Skelettierung und Glättung verwirklichen, Ränder oder Inneres von Flächen herausfiltern. Bei Verwendung iterativer Methoden kann durch quantitative Feststellung von Veränderungen eine Abbruchbedingung angegeben werden. In Abbildung 4.7 sind mehrere Iterationen einer Transformation dargestellt.

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

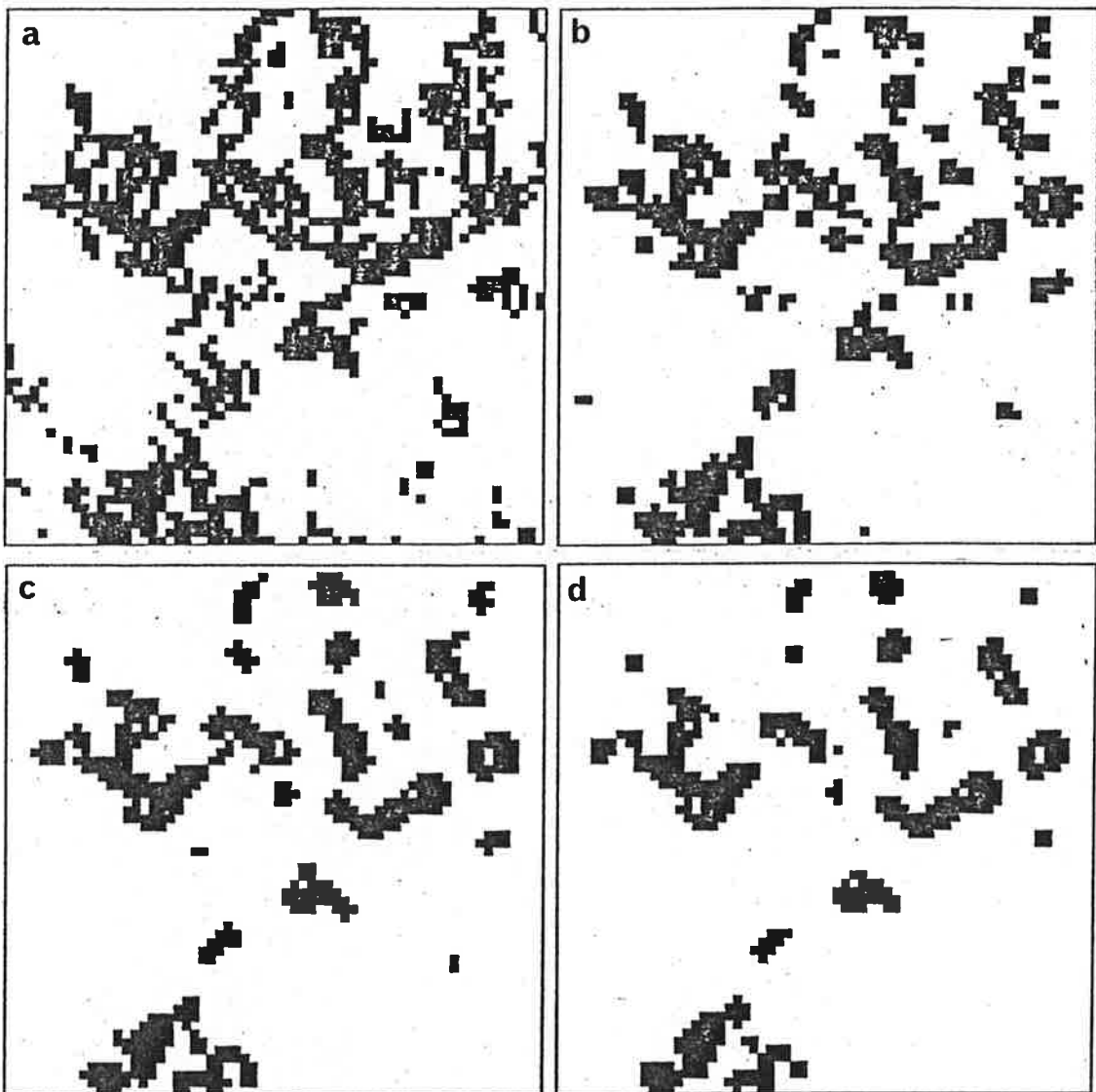


Abbildung 4.7: Beispiel für eine Binärbildtransformation.
(a) Ausgangsbild (b) - (d) Iterationsschritte

Eine Erweiterung des Verfahrens erlaubt die Bildung von Distanzbildern, das sind Bilder, in denen jeder Wert der Entfernung (unter einer gewählten Metrik) vom nächstgelegenen Punkt eines Binärbildes entspricht. Dabei wird bei schrittweiser Vergrößerung des Binärbildes der Wert im Resultatbild unter den neuhinzugekommenen Punkten auf den jeweils aktuellen Distanzwert gesetzt (Abbildung 4.8). Für größere Distanzen ist jedoch ein Algorithmus mit rekursiv angewandten Masken, wie von Rosenfeld und Pfaltz (1968) beschrieben, der schrittweise parallelen Berechnung überlegen.

Für gewisse Betrachtungen ist nicht die genaue Kenntnis der Konfigurationen einer kleinen Umgebung, sondern nur die Anzahl der Bildpunkte mit dem Wert 1 in einer größeren Umgebung interessant. Mit

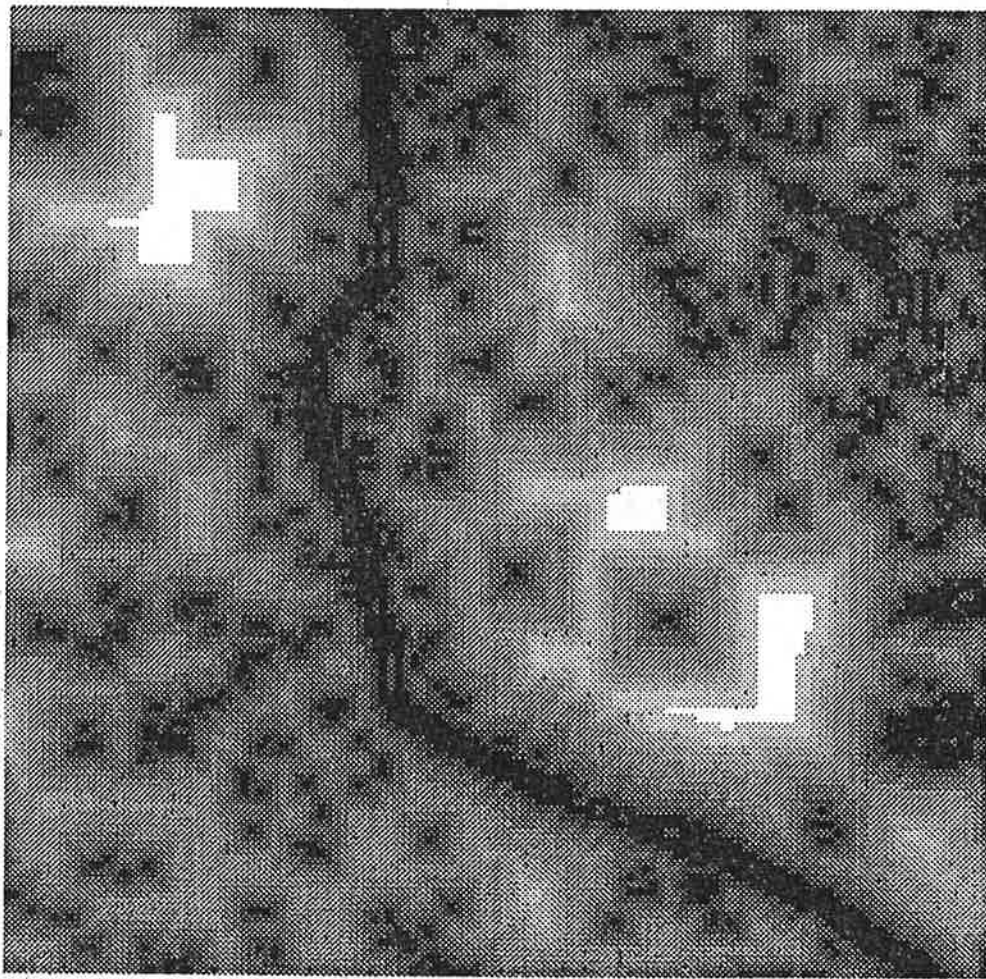


Abbildung 4.8: Distanzbild für einen Ausschnitt von Abbildung 3.37(b). Die Grauwerte nehmen entsprechend der Entfernung vom Ausgangsbild zu und erscheinen daher heller.

einer Darstellungsmöglichkeit von 8 bit lassen sich Umgebungen bis zu einer Größe von 255 Punkten bearbeiten, etwa quadratische Nachbarschaften von 15×15 , oder auch Annäherungen an Nachbarschaften unter euklidischer Metrik (Kreise). Der Befehl NBCNT verschiebt das Binärbild in alle Positionen der Umgebung und inkrementiert die Werte in einem Bildspeicher an den Stellen, die im Binärbild eine Eins enthalten (Abbildung 4.9).

Beispiele für die Anwendung dieser Operationen sind die Berechnung von Texturparametern, etwa auf der Basis von Kantenbildern mit anschließender Schwellwertbildung oder die kontextabhängige Reklassifizierung nach der mächtigsten Klasse der Umgebung. Ein Beispiel für letztere Anwendung gibt in einem späteren Abschnitt Abbildung 6.8.

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

Eine vorteilhafte Eigenschaft von Binärbildern ist schließlich die einfache Darstellbarkeit mit rasterorientierten Ausgabegeräten, etwa Nadeldruckern mit Einzelnadelansteuerung oder elektrostatischen Druckern.

4.4 FARBTRANSFORMATIONEN

4.4.1 Eine spezielle IHS - RGB Transformation

Die IHS - RGB - Transformation (siehe Abschnitt 3.5.2.2) kann ebenfalls mit einem Parallelprozessor gerechnet werden. Das Verfahren ist eine Modifikation der Farbkarte des ITC (Brown 1982). Brown stellt den Farbraum als Doppelkegel dar, in dem die Intensitätsachse mit der Kegelachse zusammenfällt, die Sättigungsachse normal darauf steht und die Farbtöne entlang der Kegelerzeugenden variieren. Für die hier gegebenen Zwecke wird anstelle des Doppelkegels (Abbildung 3.21) ein einfacher Kegel betrachtet.

Die Transformation geht von einer Quantisierung von Intensität und Sättigung von je 4 bit (16 Stufen) aus. Die Anzahl der darstellbaren Farben ergibt sich aus der Kegelhöhe; in jeder Intensitätsschicht I , $I=0,1,\dots,15$ (Ebene normal zur Kegelachse) nimmt der Umfang um $6 I$ zu, sodaß in der 15. Schicht 90 Farbtöne an der Peripherie liegen. Jedem Punkt im Kegel entspricht eine Kombination von R - G - B -Werten; insgesamt gibt es $212 = 4096$ Punkte,

Die Transformation beruht nun auf folgenden Definitionen (Moik 1980):

$$I = \max (R, G, B) \quad (4.23)$$

$$S = \max (R, G, B) - \min (R, G, B)$$

Damit sind die Werte von zwei der drei erforderlichen Ausgabesignale festgelegt. Welche Signale dies sind, hängt von H ab. H ist durch

$$H = \arctan (\sqrt{3} G - \sqrt{3} B) / (2 R - G - B) \quad (4.24)$$

bestimmt, wenn der Farbtonursprung bei Rot angenommen wird und die Werte über Grün nach Blau verlaufen. Der Wert für H bestimmt einen der Sextanten des Kegels in Abbildung 3.21. Jedem Sextanten ist eine Konfiguration der R,G,B-Signale zugeordnet, wie aus Abbildung 4.10 ersichtlich ist. Die Lage innerhalb des Sextanten bestimmt den Wert für das dritte Signal, das nur aufsteigend oder absteigend zwischen den bereits bekannten Signalen variieren kann. Die Konfiguration in Sextanten bestimmt die Zuordnung der Signalwerte zu R, G und B. Eine Singularität tritt in Gleichung (4.24) für $R = G = B$ auf, wenn also ein Grauwert (ohne Farbtongehalt) vorliegt.

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

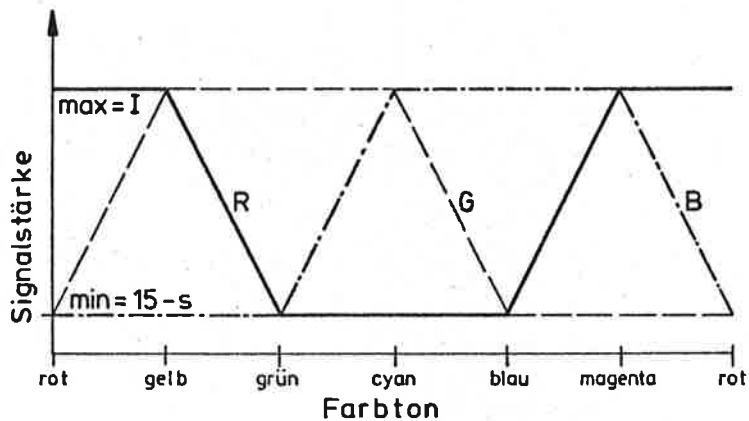


Abbildung 4.10: Intensitäten in den Primärfarben R,G,B entlang der Farbtonachse.

4.4.2 Praktische Durchführung

Für die praktische Durchführung ergibt sich das Problem, daß aus den $16 \times 16 \times 90 = 23040$ zulässigen IHS-Kombinationen nur 4096 RGB-Kombinationen entstehen können, da im unteren Bereich des Kegels (niedrige Intensität) und zur Achse hin (geringe Sättigung) viele IHS-Kombinationen auf wenige RGB-Kombinationen abgebildet werden. Dies läßt sich vermeiden, wenn nur 8 Intensitäten (8 bis 15), 8 Sättigungen (0, 3, 5, ..., 15) und 16 Farbtöne (von Rot bis Magenta, um Zweideutigkeiten im Bereich nahe bei Rot zu vermeiden) verwendet werden. Damit werden 1024 IHS-Kombinationen auf 904 RGB-Kombinationen abgebildet, da die RGB-Signale nur bei Sättigung 0 auf der Grauskala zusammenfallen. Für beide Varianten wurden Programme erstellt.

Die Durchführung auf dem für die Arbeit genutzten Bildverarbeitungssystem erfolgt für ein Bild mit 512×512 Pixeln in 0.5 Sekunden, wobei vorausgesetzt ist, daß die Bilder sich bereits in den Bildspeichern des speziellen Array-Prozessors befinden und auf den vollen Grauwertbereich transformiert sind.

4.4.3 Beispiele

Die Transformation eignet sich vor allem zur Darstellung von Bilddaten, die mit verschiedenen Verfahren gewonnen wurden. So lassen sich etwa Daten wie Temperatur, topographische Höhe und andere thematische Informationen mit Multispektralbildern kombinieren. Schon Abbildung 3.29 zeigte die Überlagerung eines digitalen Geländemodells als Farbton mit einem Multispektralbild. Bis zum gezielten Einsatz dieser Darstellungsform als Informationsaufbereitung für die nachfolgende Interpretation oder automatische Weiterverarbeitung wird es jedoch noch weiterer Untersuchungen bedürfen.

ZUR NUTZUNG EINES BILDVERARBEITUNGSGERÄTES

4.4.4 Beschreibung von Farbskalen

Die Pseudofarbdarstellung nach Gleichung (3.21) erfordert die Definition von Farbskalen. Kontinuierliche Farbskalen lassen sich in dem, durch die additiven Grundfarben Rot, Grün und Blau, aufgespannten Farbraum darstellen (Abbildung 4.11). Läßt man nun nur Wege zu, die über Eckpunkte des Farbenwürfels gehen, so läßt sich ein solcher Weg in Stücke zerlegen, in denen Intensitäten der Grundfarben 0, maximal (in unserem Fall 255), oder linear aufsteigend (+) oder absteigend (-) sein können. Der Weg von Schwarz über Gelb und Weiß (der bei der Erhitzung von Metallen zu beobachten ist) beispielsweise wird durch

$$\begin{aligned} R &= +, 255, 255 \\ G &= 0, +, 255 \\ B &= 0, 0, + \end{aligned} \tag{4.25}$$

beschrieben. Der Bildwertebereich $0 \dots 255$ wird nun durch Angabe des Wegverlaufes in den Farbraum abgebildet, wobei neben den Bereichen, in denen Änderungen stattfinden, noch je ein Bereich für die Darstellung der Werte $0 \dots g_{\min}$ und $g_{\max} \dots 255$ vorgesehen sind, in denen in unserem Beispiel etwa $(0,0,0)$ und $(255,255,255)$ sinnvolle Definitionen darstellen. Durch Angabe der Beschreibungstabelle und g_{\min} und g_{\max} lassen sich die für das Laden der Farbtransformationstabellen notwendigen Werte errechnen. Bei der Betrachtung am Monitor ist es möglich, g_{\min} und g_{\max} über Analogeingabe dynamisch zu ändern, um den gewünschten Effekt zu erzielen.

In Verallgemeinerung der Methode sind auch Werte zugelassen, die direkt Intensitätswerte sind, wie ja auch schon 0 und 255. Wird für jeden Abschnitt ein geeignetes Tripel (r,g,b) angegeben, dann läßt sich durch diese Beschreibung ein Äquidensitenbild ("density slicing") (Gonzalez und Wintz, 1977) darstellen.

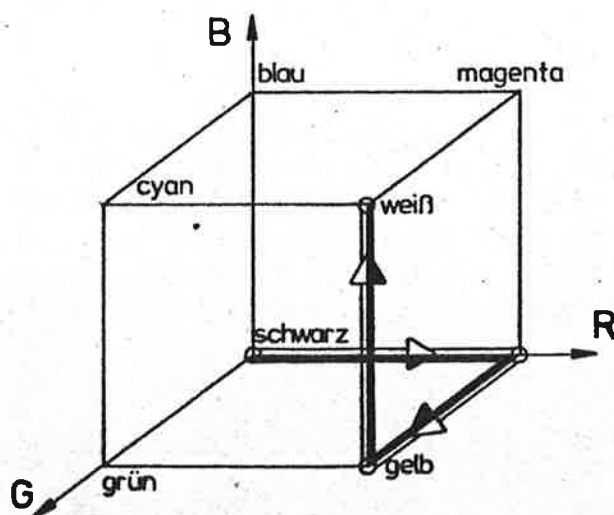


Abbildung 4.11: Weg durch den RGB Farbraum, der durch Gleichung (4.25) realisiert wird.

ABSCHNITT 5

DIE EINBRINGUNG BESTEHENDER KARTENINFORMATION

Anwendungen der Fernerkundung benutzen Daten aus verschiedenen verwandten Fachgebieten. In den Industrieländern liegen ausgezeichnete topographische und thematische Karten vor, die zur Unterstützung der Analyse herangezogen werden können.

Der Einsatz automatisationsgestützter Methoden gewinnt auch in der Kartographie zunehmend Bedeutung. Damit ergibt sich die Möglichkeit, Karteninhalte in digitaler Form zu digitalen Bildern in Beziehung zu setzen. Die Verknüpfung von Bild und Karte erlaubt es, neue Informationen in den Analyseprozeß einzuführen und die Interpretation der Bildinhalte einerseits sowie die automatische Bearbeitung andererseits zu unterstützen.

Zwei Systeme zur Erfassung und Verarbeitung von Karteninformationen stehen für die Nutzung im beschriebenen Projekt zur Verfügung: Das Programmsystem GTM ¹⁾ erzeugt digitale Höhenmodelle, DESBOD ¹⁾ ist ein Geoinformationssystem. Beide Systeme mit der digitalen Bildverarbeitung verknüpft, stellen jedoch eigenständige Entwicklungen und Programmpakete dar.

5.1 DIGITALE HÖHENMODELLE

Ein Digitales Höhenmodell (digital terrain model, DTM) ist die diskretisierte Darstellung der Funktion $Z = Z(X,Y)$, die jedem Bodenpunkt (X,Y) seine Geländehöhe zuordnet. Die Darstellung kann in einem Raster erfolgen, dessen Intervalle in den Koordinatenrichtungen die Auflösung bestimmen und dessen Pixelwerte die durchschnittlichen Höhen in den entsprechenden Bodenflächen sind. "DTM" ist ein durchaus operationeller Begriff aus dem Vermessungswesen. Eine neuere Übersicht ist im Tagungsband des DTM - Symposiums enthalten (DTM - Symposium, 1978).

1) GTM (Graz Terrain Model) und DESBOD (Digitale Erfassung, Speicherung und Bearbeitung von ortsbezogenen Daten) sind Entwicklungen des Instituts für Digitale Bildverarbeitung und Graphik, Graz.

DIE EINBRINGUNG BESTEHENDER KARTENINFORMATION

5.1.1 Das "Graz Terrain Model"

Das Programmsystem GTM (Graz Terrain Model) dient der automatisationsgestützten Erstellung von Digitalen Höhenmodellen (Leberl und Olsen, 1982; Oswald und Raetzsch, 1983). Seine Funktionsweise soll hier kurz dargestellt werden.

Ausgangsdaten sind im allgemeinen die Höhenschichtlinienauszüge der Druckvorlagen von topographischen Kartenwerken. Diese Folien werden auf einem Abtastgerät digitalisiert. Die entstandenen Rasterdaten werden einer Raster-zu-Vektor-Umwandlung unterworfen, nach deren Durchführung die Schichtenlinien durch Vektorzüge beschrieben sind. In einer interaktiven Stufe werden an einem graphischen Bildschirm entstandene Fehler korrigiert und Lücken in der Darstellung geschlossen. Schließlich wird jeder Schichtenlinie die ihr entsprechende Geländehöhe zugewiesen. Die Arbeit wird in dieser Phase, die die zeitaufwendigste in der Produktionskette darstellt, vom System weitgehend unterstützt und erleichtert. Als Resultat liegt eine Datenstruktur vor, die sowohl Lage- als auch Höheninformationen des Ausgangsmaterials enthält.

Alternativ zu diesem Bearbeitungsvorgang läßt das System auch Eingaben zu, die durch manuelles Digitalisieren der Schichtenlinien mit Hilfe eines Digitalisiertisches und anschließende Höhenzuweisung oder durch Schichtenlinienerfassung aus der Stereo-Luftbildauswertung entstanden sind.

Die derart aufbereiteten Daten werden nun geometrisch in das vom Benutzer vorgegebene Koordinatensystem transformiert und anschließend auf die gewünschte Auflösung diskretisiert (gerastert). Dieser Raster enthält an allen Punkten (Repräsentanten einer bestimmten Bodenfläche), die von einer Schichtenlinie durchlaufen werden, den der Linie entsprechenden Höhenwert. Abschließend werden für alle dadurch noch nicht definierten Punkte Höhenwerte durch Interpolation zwischen bereits bekannten Punkten bestimmt.

Der endgültige Raster kann nun wie ein digitales Bild weiterverarbeitet werden.

Genauigkeitsuntersuchungen haben ergeben, daß beim Vergleich der Höhenwerte des Rasters mit manuell bestimmten Höhen das mittlere Quadrat der Fehler bei Schichtenlinienintervallen von 20 m bei ± 2 m lag. Dieser Wert ist für die Praxis als durchaus akzeptabel anzusehen.

Der Datenfluß für die Erstellung des Höhenmodells ist in Abbildung 5.1 dargestellt. Abbildung 5.2 zeigt die aus dem Raster rückinterpolierten Schichtenlinien; sie dienen zur Überprüfung des Ergebnisses und werden dazu mit den Eingabedaten verglichen. Werden Fehler festgestellt, dann müssen diese wiederum am graphischen Bildschirm korrigiert werden. Danach ist ein neuerliches Rastern und Interpolieren notwendig, um den verbesserten Raster zu erhalten. Abbildung 5.3 ist eine aus dem Raster gewonnene axonometrische Ansicht des Geländes.

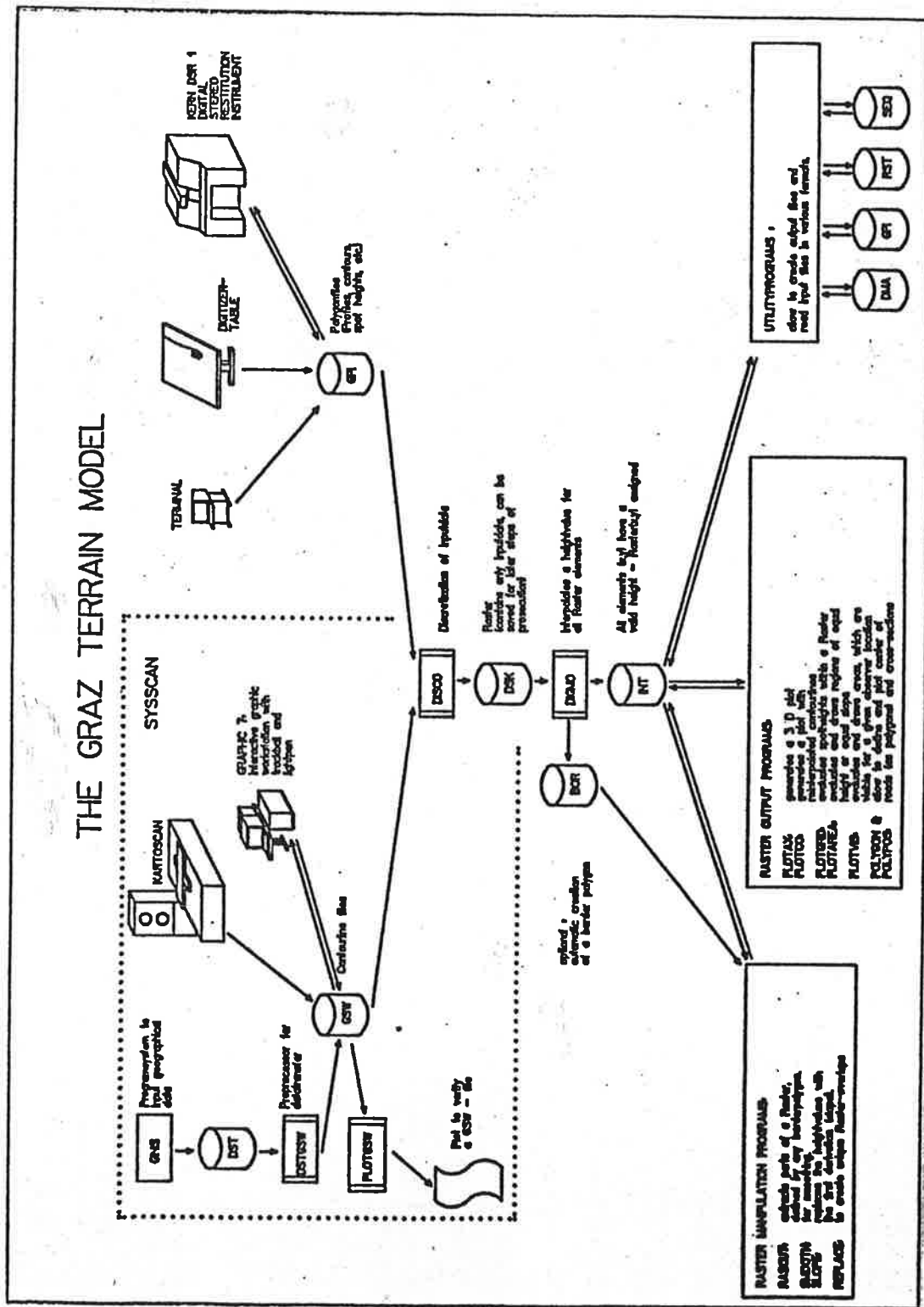


Abbildung 5.1: Datenfluß zur Erstellung eines digitalen Geländemodells.

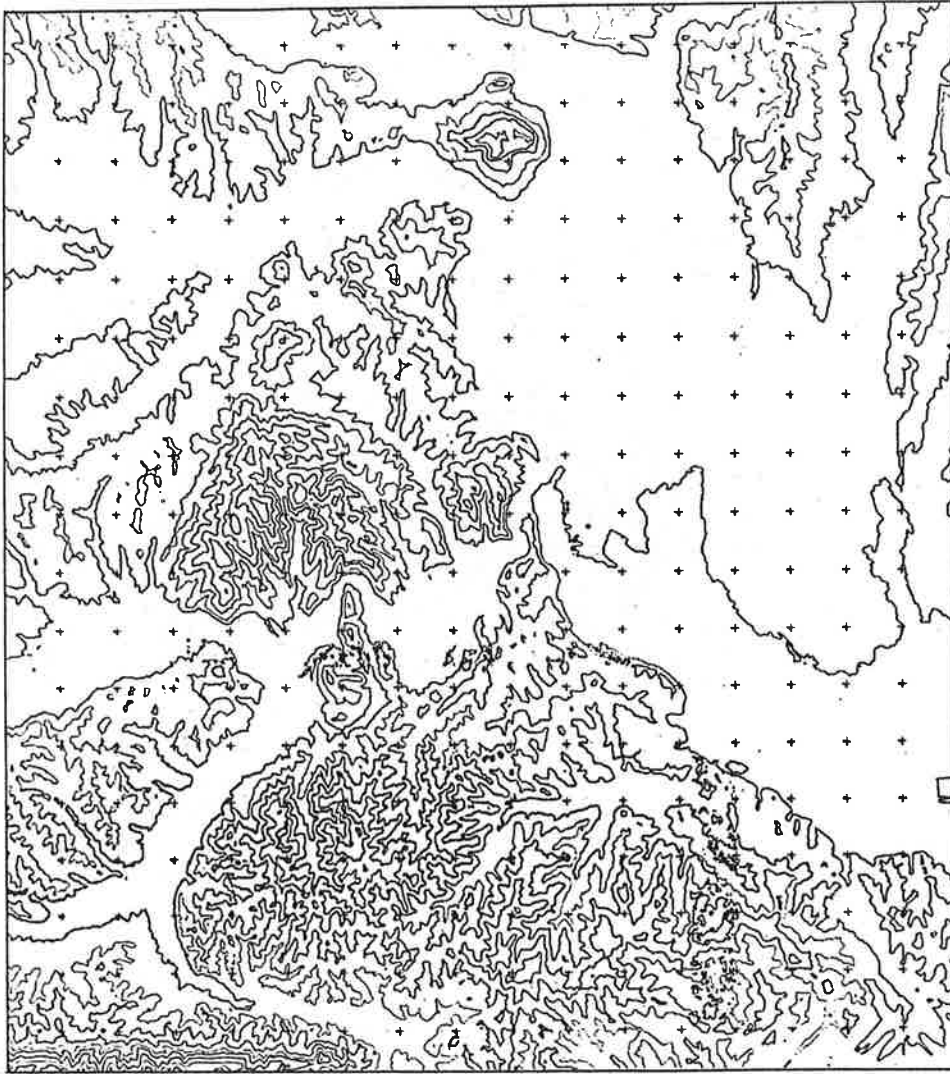


Abbildung 5.2: Aus einem digitalen Geländemodell rückinterpolierte Schichtenlinien. (ÖK 50, Blatt 190, LEIBNITZ, Ausschnitt)

5.1.2 Darstellungen

Durch ein von Oswald u.a. (1982) für medizinische Anwendungen entwickeltes Verfahren werden perspektive Darstellungen des Geländes mit synthetischer Beleuchtung erzeugt (Abbildung 5.4). Die Objektpunkte werden, beginnend mit den vom angenommenen Beobachterstandpunkt entferntesten Punkten, in die (zweidimensionale) Bildebene abgebildet, die ebenfalls als diskreter Raster behandelt wird. Dadurch ist gewährleistet, daß dem Beobachter nähere, sichtbare Punkte vorher abgebildete, nicht sichtbare Punkte, überdecken. Unsichtbare Flächen werden daher ohne rechnerischen Aufwand eliminiert. Die Intensität des abgebildeten Punktes im Bild bestimmt sich aus einem Beleuchtungsmodell, in das der Winkel zwischen lokaler Ebenennormale und angenommener

DIE EINBRINGUNG BESTEHENDER KARTENINFORMATION

Lichteinfallrichtung sowie die Distanz zum Beobachter eingehen.

Bei der Abbildung kann die Information, welcher Rasterpunkt des Höhenmodells einem Punkt der Bildebene entspricht, gewonnen werden. Diese Daten lassen sich als Entzerrungsgitter im Sinne von Abschnitt 3.5. auffassen. Man hat daher die Möglichkeit, beliebige mit dem Höhenmodell überlagerte Bilddaten in dieser perspektiven Ansicht darzustellen. An die Stelle der Beleuchtungswerte treten die Werte aus dem digitalen Bild (Abbildung 5.5). Selbstverständlich lassen sich auch thematische Bilder auf diese Weise darstellen.

In Entwicklung steht derzeit die Erweiterung des Systems auf die Erzeugung von Höhenmodellen aus Punktmessungen. Damit wird es möglich sein, aus Einzeldaten einen füllenden Raster zu gewinnen.

Das Programmsystem GTM läßt sich selbstverständlich auch zur Darstellung beliebiger Funktionen, die über einer Fläche definiert sind, heranziehen. Beispiele dafür sind meteorologische und klimatologische Daten.

5.2 GEOINFORMATIONSSYSTEME

In Geoinformationssystemen wird das Konzept eines automatisierten Informationssystems auf ortsbezogene Daten aus dem Bereich der Geowissenschaften angewandt. Derartige Datenbanksysteme erlauben den Zugriff auf strukturierte graphische, Text- und Zahleninformation sowie die Verknüpfung und Auswertung der in ihnen enthaltenen Daten. Durch die Datenfernübertragung ist die Benutzung von zentralen Datensammlungen für große Teilnehmergruppen bereits seit längerem möglich. Eine Darstellung des gegenwärtigen Standes geben die Sammelbände der Autocarto - Tagungen (seit 1978).

5.2.1 DESBOD

Die Abkürzung DESBOD steht für Digitale Erfassung, Speicherung und Bearbeitung ortsbezogener Daten (Kainz und Ranzinger 1983).

Die Teilsysteme umfassen.

- (a) manuelle Digitalisierung
- (b) Datenbankaufbau und -verwaltung
- (c) Datenzugriff
- (d) Analyse
- (e) Kartendarstellung und Informationsausgabe

Schnittstellen zu anderen Programmsystemen ermöglichen die wechselseitige Benutzung von Daten. Abbildung 5.6 stellt den Datenfluß

DIE EINBRINGUNG BESTEHENDER KARTENINFORMATION

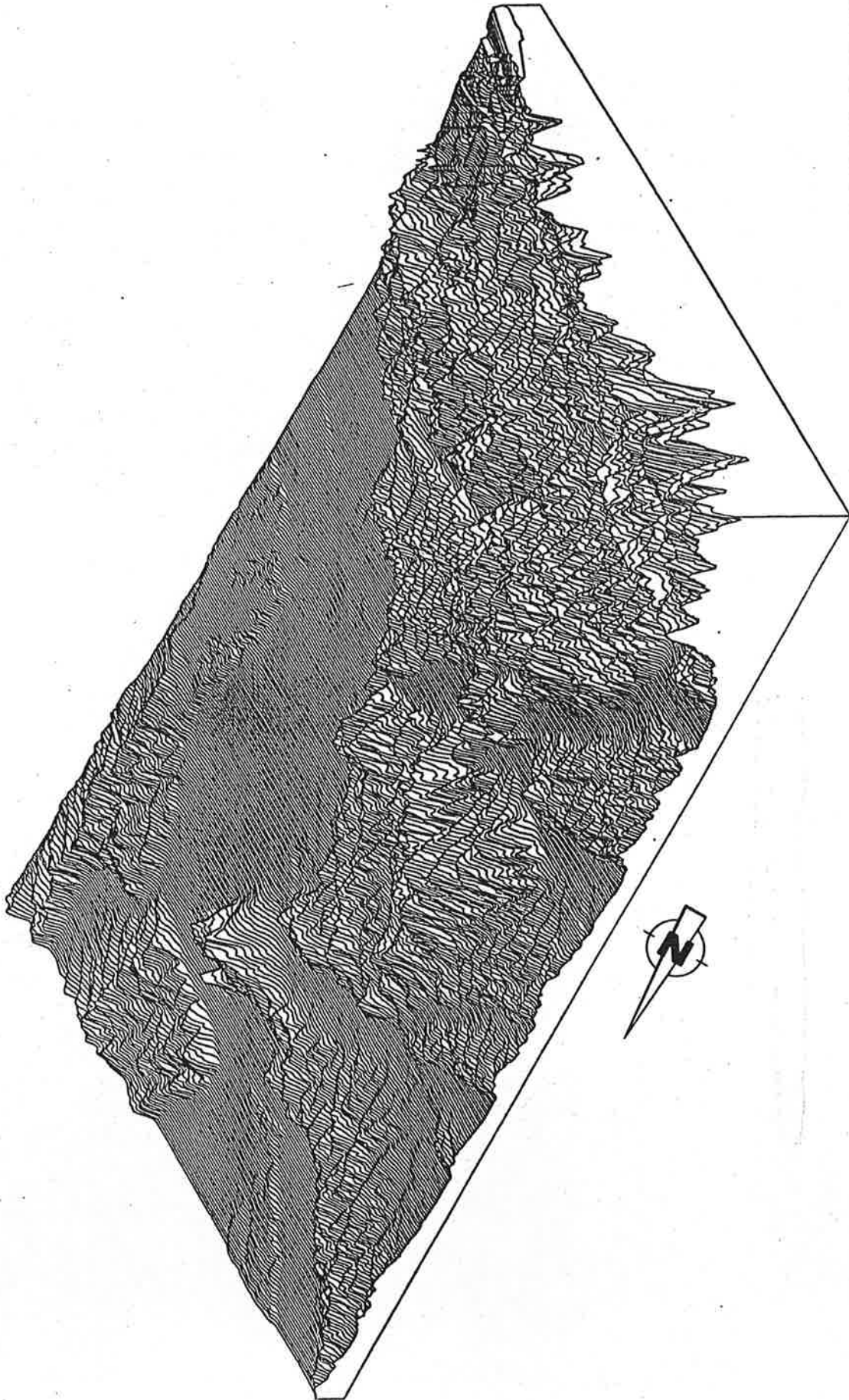


Abbildung 5.3: Digitales Geländemodell in axonometrischer Darstellung.
(ÖK 50, Blatt.190, LEIBNITZ)

DIE EINBRINGUNG BESTEHENDER KARTENINFORMATION

im Konzept dar.

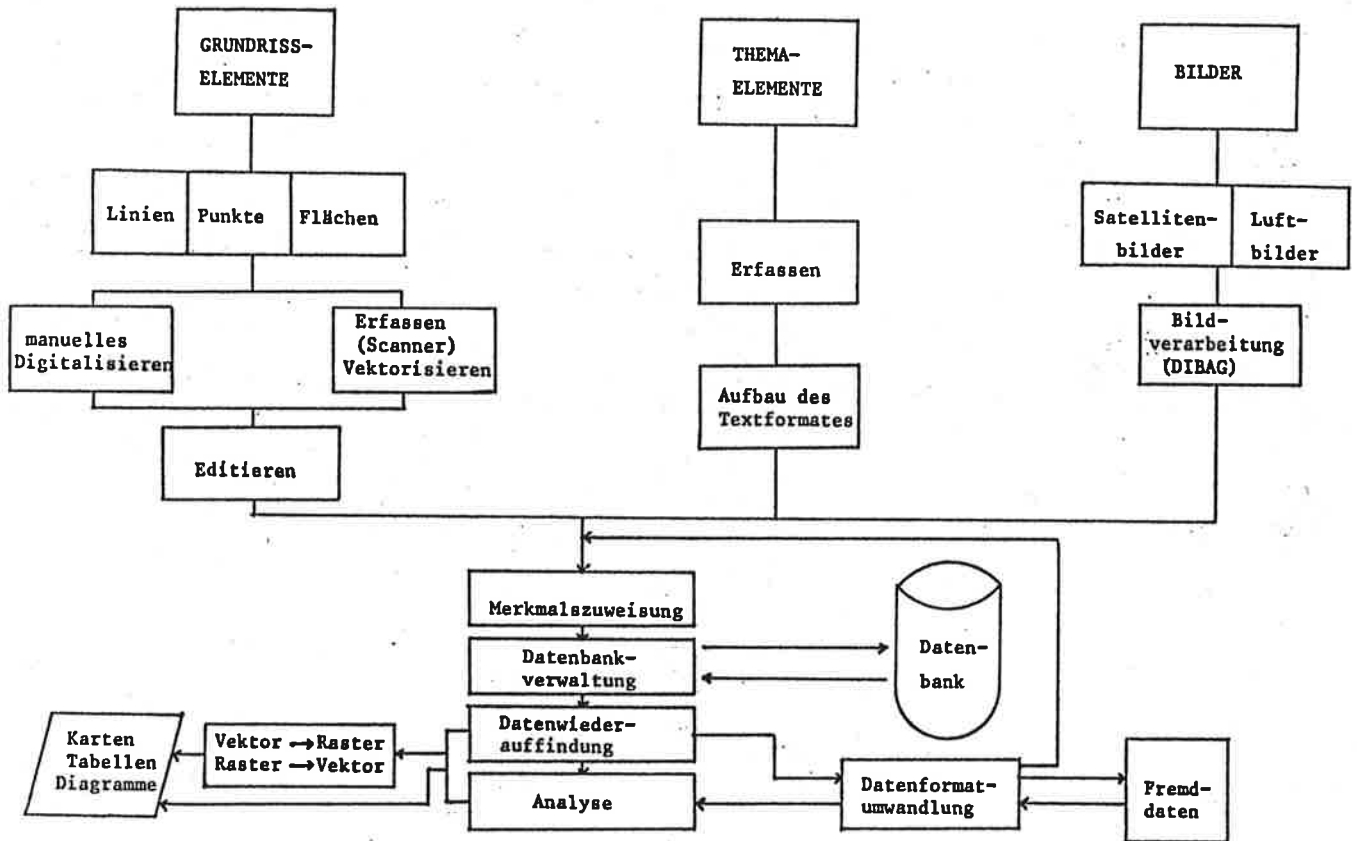


Abbildung 5.6: Datenfluß des Geoinformationssystems DESBOD.

5.2.1.1 Manuelle Digitalisierung

Die Erfassung der graphischen Inhalte von Karten, der sogenannten Grundrißelemente, erfolgt mit Hilfe eines Digitalisierertisches. Der Bearbeiter erfaßt die Koordinaten von Einzelpunkten, Linienzügen und Flächenbegrenzungen. Treffen in einem Punkt mehrere Linien zusammen oder endet eine Linie, dann ist dieser Punkt als "Knoten" zu markieren; eine Folge von Koordinaten zwischen zwei Knoten wird als "Kante" bezeichnet. Im allgemeinen erfolgt dabei keine Zuordnung von Beschreibungen, um ein zügiges Arbeiten zu ermöglichen. Die Daten werden zur Kontrolle auf einem graphischen Bildschirm mitgezeichnet. In der internen Datenstruktur (Vektorstruktur im Gegensatz zur in der Bildverarbeitung verwendeten Rasterstruktur) werden Kanten, Knoten und Koordinaten separat gespeichert. Kanten und Knoten bilden einen planaren Graph, durch die Koordinaten wird die exakte Lage in einem vom Benutzer gewählten Koordinatensystem festgelegt.

DIE EINBRINGUNG BESTEHENDER KARTENINFORMATION

Zwischen Kanten und Knoten bestehen Inzidenzrelationen:

- zu jeder Kante existiert genau ein Anfangs- und ein Endknoten, die Kante ist gerichtet (Digitalisierichtung)
- zu jedem Knoten existiert mindestens eine von ihm ausgehende bzw. in ihn mündende Kante.

Durch diese Darstellung ist es möglich, aus den die Flächenbegrenzungen bildenden Kanten die umschlossenen Regionen automatisch zu berechnen. Dabei werden Konsistenzprüfungen durchgeführt, um die Integrität der Daten sicherzustellen. Das Ergebnis ist eine Regionendatei, durch die weitere Relationen eingebracht werden:

- zu jeder Region gehören die sie begrenzenden Kanten
- jede Kante trennt zwei Regionen, die bezüglich der Digitalisierichtung als linke bzw. rechte Region bezeichnet werden.

Am Rand des Kartenblattes werden Pseudoknoten und Pseudokanten erzeugt, um ein späteres Zusammenfügen mehrerer Kartenblätter zu ermöglichen.

Regionen können ganz von einer anderen Region umschlossen sein. Diese Schachtelung wird durch die Bildung von "Inseln" berücksichtigt.

Die logische Beziehung zwischen Kanten, die zu einer Linie zusammengefaßt werden, ist nicht automatisch herstellbar. Beispielsweise läßt sich aufgrund der gespeicherten Informationen nicht entscheiden, welcher Flußlauf in einem Knoten fortgesetzt wird und welcher endet. Die Bildung von Linien erfolgt daher interaktiv.

Die Ergänzung bzw. Korrektur der Daten erfolgt durch Editierfunktionen. Dabei steht dem Bearbeiter wieder die graphische Kontrollausgabe zur Verfügung.

5.2.1.2 Datenaufbau und -verwaltung

Den Grundrißelementen der Karte werden durch die sogenannte Merkmalszuweisung thematische Daten zugeordnet. Thematische Daten können Namen oder Zahlenwerte sein, die in einer Beziehung zu den Objekten stehen. Diese Daten werden ähnlich wie in einem herkömmlichen Datenbanksystem verwaltet. Durch ihre zusätzliche Verknüpfung mit den Grundrißelementen ist es möglich, Punkte, Linien oder Regionen über ihren Namen anzusprechen und so auf die ortsbezogene Information aus der Datenbank zuzugreifen. Für die Darstellung der Karten können den Grundrißelementen graphische Signaturen oder Symbole zugeordnet werden.

DIE EINBRINGUNG BESTEHENDER KARTENINFORMATION

Die einzelnen Kartenblätter werden über Inhaltsverzeichnisse verwaltet, aus denen Kartenbezeichnung, Lage der Karte, Maßstab, Bearbeitungsstand und ähnliches ersichtlich sind. Damit kann jederzeit festgestellt werden, zu welchen Themen und für welche Gebiete Daten vorhanden sind und ob diese im Direktzugriff erreicht werden können oder erst von Magnetbändern gelesen werden müssen.

5.2.1.3 Datenzugriff

Für die Arbeit an einer bestimmten Problemstellung ist die Definition eines Arbeitsbereiches notwendig. Dieser Arbeitsbereich umfaßt zum einen das gewählte Gebiet im geographischen Sinn, zum anderen die relevanten thematischen Informationen. Durch Angabe von ortsbezogenen bzw. thematischen Auswahlkriterien kann der Benutzer die von ihm benötigten Daten auf seine Arbeitsdateien übertragen, wodurch die Integrität des Datenbestandes der Datenbank sichergestellt ist. Änderungen, die in den Arbeitsdateien durchgeführt werden, betreffen nur diese selbst und können nur mit entsprechender Privilegierung in die Datenbank selbst übernommen werden.

Der Zugriff auf die in den Arbeitsdateien befindlichen Informationen erfolgt über deren Namen bzw. deren Lage, wobei auch Nachbarschafts- bzw. Entfernungsangaben möglich sind.

5.2.1.4 Datenanalyse

Die Analyse der Daten wird interaktiv mit Hilfe einer Kommandosprache durchgeführt, ein Datensichtgerät und ein graphischer Bildschirm dienen der Ausgabe. Es gibt drei Arten von Analysekommandos:

- (a) Meßkommandos, mit denen Flächeninhalte, Streckenlängen oder Entfernungen festgestellt werden
- (b) Statistikkommandos zur Berechnung von Häufigkeiten, Mittelwerten usw. und zur Darstellung dieser Ergebnisse in Tabellenform oder als Graphik
- (c) Synthese-Kommandos; mit denen verschiedene thematische Schichten zueinander in Beziehung gesetzt werden; es können Durchschnitt, Vereinigung oder die Differenzen zwischen den Grundrißelementen der einzelnen Schichten ermittelt werden.

DIE EINBRINGUNG BESTEHENDER KARTENINFORMATION

5.2.1.5 Kartendarstellung und Informationsausgabe

Für die Ausgabe der Kartendaten und die Darstellung der Analysereultate steht eine Reihe von Darstellungsmöglichkeiten auf verschiedenen Ausgabegeräten zur Verfügung. Nach der Aufbereitung auf einem graphischen Bildschirm werden die Daten mit Zeichengeräten oder Druckern für Dokumentation und Präsentation bereitgestellt (Abbildung 5.7).

5.2.1.6 Überführung in Rasterform

Für die Analyse von Fernerkundungsbilddaten in digitaler Form müssen Karteninformationen in das Bilddatenformat übergeführt werden. Dieser Vorgang wird als Vektor-zu-Raster Konvertierung oder Rastern bezeichnet und umfaßt drei Schritte:

1. Herstellung der geometrischen Beziehung von Karte zu Bild
2. Transformation der Kartenkoordinaten in Bildkoordinaten
3. Diskretisierung der Vektorinformation

Die Beziehung zwischen Karten- und Bildgeometrie läßt sich, ähnlich wie bei der digitalen Bildverzerrung, durch Polynomansätze modellieren. Die Polynomkoeffizienten werden wieder durch Ausgleichsrechnung aus einem Gleichungssystem bestimmt, das durch die Angabe von Paßpunkten aufgestellt wird. Liegt das Bild bereits in einem bekannten Projektionssystem vor, dann kann die Transformation der Koordinaten auch über ein entsprechendes parametrisches Modell erfolgen (z.B. Umwandlung der geographischen Länge-Breite in Gauß-Krüger-Koordinaten). Ergebnis der abschließenden Diskretisierung ist ein thematisches Bild. Sollen unterschiedliche Objektarten aus der Karte auf einem Bild dargestellt werden, dann wird jeder Objektart eine Klassennummer zugeordnet. Abbildung 5.8 zeigt eine derart erzeugtes Bild.

5.3 HERSTELLUNG VON DATENSÄTZEN

Zu den Programmsystemen GTM und DESBOD wurden die notwendigen Schnittstellen geschaffen, um ortsbezogene Daten in die Analyse von Fernerkundungsbildern einbeziehen zu können. Durch Überlagerung von Bilddaten mit entsprechenden Karteninformationen ist es somit möglich, Datensätze in einem einheitlichen geometrischen System zu erzeugen. Für jeden Bildpunkt können so alle benötigten Informationen schnell verfügbar gemacht werden.

Sowohl Höhenmodell als auch thematisches Bild sind besondere Typen von digitalen Bildern. Die in Abschnitt 4 dargestellten Verfahren lassen sich daher sinngemäß auch zu ihrer Verarbeitung einsetzen. Daraus ergibt sich, daß die entwickelten Methoden nicht nur für Fernerkundungsbilder in Verbindung mit Karten, sondern auch für Kartendaten im Rasterformat sinnvoll eingesetzt werden können.

WALD (Auszug OEK 25V : Blatt 208 . Mureck)

M 1 : 50000

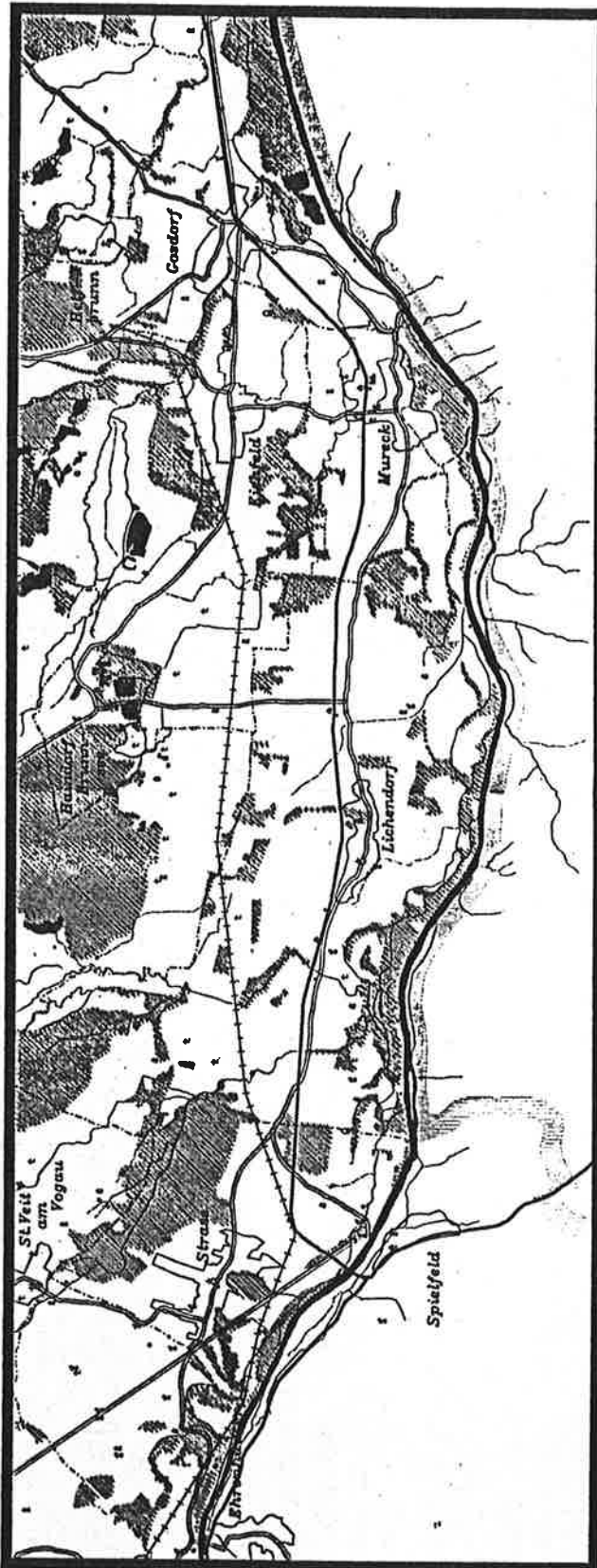


Abbildung 5.7: Mit DESBOD erstellte Karte.
Waldgebiete im Bezirk BAD RADKERSBURG

ABSCHNITT 6

AUTOMATISCHE KLASSIFIZIERUNG DES BILDINHALTES

Seit Beginn der Fernerkundung mit multispektralen Daten ist das Thema der automatischen Klassifizierung des Bildinhaltes ein vielbeachtetes Arbeitsgebiet. Erste Ergebnisse stammen etwa von Landgrebe und Phillips (1967). Eine große Zahl von wissenschaftlichen Arbeiten beschreibt die Problematik. Das Buch von Swain und Davis (1978) gibt eine einführende Übersicht über Grundlagen und Methoden der automatischen Klassifizierung in der Fernerkundung, eine anwendungsunabhängige Darstellung stammt u. a. von Niemann (1983).

Als allgemeine Folgerung ergibt sich, daß der Erfolg weniger vom Rechenverfahren, sondern von der Güte der Daten und der in ihnen enthaltenen Merkmalseigenschaften abhängt. Im folgenden sei der derzeitige Stand der Klassifizierung übersichtsweise beschrieben. Danach wird ein System zur Bearbeitung der Aufgabe vorgestellt.

6.1 BEGRIFFSBESTIMMUNGEN

6.1.1 Statistische und strukturelle Verfahren

Die allgemeine Aufgabenstellung bei der Klassifizierung besteht darin, ein Objekt einer Klasse zuzuordnen. Dem Objekt kommt aufgrund seiner Eigenschaften eine Reihe von Merkmalen zu, die beschrieben oder gemessen werden. Die Menge dieser Merkmale bildet ein sogenanntes Muster.

Für die statistische Klassifizierung wird ein Muster durch einen Vektor \underline{x} , dem Merkmalsvektor, dargestellt. Jede Komponente dieses Vektors gibt die Ausprägung eines bestimmten Merkmals bei dem zu klassifizierenden Objekt an. Formal wird dies folgendermaßen festgelegt:

$$\begin{aligned} W &= (w_1, w_2, \dots, w_n) \text{ Menge der Klassen} \\ F &= (X_1, X_2, \dots, X_d) \text{ Menge der Merkmale} \\ X &= X_1 X_2 \dots X_d \text{ Merkmalsraum} \\ \underline{x} &= (x_1, x_2, \dots, x_d) \text{ Merkmalsvektor} \end{aligned}$$

(6.1)

AUTOMATISCHE KLASSIFIZIERUNG DES BILDINHALTES

Es ist naheliegend anzunehmen, daß die der gleichen Klasse angehörenden Objekte ähnliche Merkmalsvektoren haben. Das bedeutet, daß diese Vektoren im Merkmalsraum nahe beieinander liegen, also Punkthäufen (engl. Cluster) bilden.

Die statistische Klassifizierungsaufgabe besteht nun darin, eine Unterteilung des Merkmalsraumes durch sogenannte Diskriminanzfunktionen zu finden, sodaß die Merkmalsvektoren einer Klasse mit großer Wahrscheinlichkeit in der gleichen Teilmenge des Merkmalsraumes liegen.

Diese allgemeine Formulierung erlaubt die Anwendung der Methoden auf viele Aufgabenstellungen im Bereich der Mustererkennung. Eine umfassende Darstellung der theoretischen statistischen Grundlagen geben etwa Devijver und Kittler (1982).

Beim strukturellen Zugang zur Klassifizierung treten zur Beschreibung von Mustern an die Stelle von Merkmalsvektoren Worte über einem Alphabet von Zeichen (Primitivmerkmalen), die mit Hilfe von Grammatiken gebildet werden können. Für jede Klasse wird eine typische Grammatik konstruiert, und die Zuordnung der Objektbeschreibungen zu den Klassen erfolgt durch syntaktische Überprüfung. Dabei wird festgestellt, ob die Beschreibung ein gültiges Wort in der Grammatik der Klasse darstellt. Dieser Zugang, welcher besonders durch Fu (1982) vertreten wird, ist in der Klassifizierung von Fernerkundungsdaten derzeit noch von untergeordneter Bedeutung und wird daher im weiteren nicht mehr verfolgt. Die Anwendung liegt gegenwärtig vor allem in der Erkennung von Schriftzeichen, gesprochener Sprache und der Analyse von Objekten auf Mikroskopiebildern.

6.1.2 Unüberwachte und überwachte Verfahren

Für die Klassifizierung von Fernerkundungsdaten werden zur Zeit hauptsächlich zwei Verfahrensweisen eingesetzt: Die unüberwachte und die überwachte Klassifizierung.

Die unüberwachte Klassifizierung erfolgt mit Methoden und Algorithmen der Clusteranalyse (Solomon 1977). Dabei werden alle zu klassifizierenden Merkmalsvektoren betrachtet und so zugeordnet, daß die Abstände bezüglich einer gewählten Metrik (Maß für die Ähnlichkeit) innerhalb der Klassen minimiert und zwischen den Klassen maximiert werden. Die verwendeten Algorithmen beginnen mit einer (manchmal vom Anwender vorgegebenen) Konfiguration von Klassenmittelpunkten und durchlaufen iterativ die Datenmenge, wobei Umklassifizierung jederzeit möglich sind, bis ein Optimalitätstkriterium erfüllt ist. Bekannte Verfahren sind der sogenannte "k-means" oder der "Isodata"-Algorithmus, welche z.B. von Duda und Hart (1973) im einzelnen beschrieben werden.

Die Zuordnung von Bedeutungen zu den Klassen erfolgt durch den Anwender aufgrund von Erhebungen in der Natur und Vergleich mit dem Klassifizierungsergebnis. Dabei ist es meist notwendig, Klassen zusammenzulegen, die zwar vom Verfahren getrennt bezeichnet, aber schließlich als nicht wesentlich verschieden interpretiert werden.

Bei der überwachten Klassifizierung wird zu Beginn für jede Klasse eine Menge von Repräsentanten vorgegeben. Diese Repräsentanten sind die Merkmalsvektoren der Bildpunkte von sogenannten Trainingsgebieten, die vom Interpreten als typisch für die jeweilige Klasse befunden werden. Anhand der Trainingsmuster werden die Diskriminanzfunktionen im Merkmalsraum berechnet.

Die Klassifizierung erfolgt durch Berechnung der Werte der Diskriminanzfunktionen für jeden zu klassifizierenden Merkmalsvektor und Zuordnung zu der Klasse, wo der Wert maximal ist. Es erweist sich meist als zielführend eine Rückweisungsklasse einzuführen, in die diejenigen Vektoren eingeordnet werden, die keiner bestimmten Klasse zugewiesen werden sollen. So lassen sich Extrapolationen im Merkmalsraum vermeiden, die dadurch entstehen, daß nicht für alle tatsächlich vorhandenen Klassen Trainingsinformation vorhanden ist.

Formal geschieht dies durch Angabe eines Schwellwertes, den der maximale gefundene Wert der Diskriminanzfunktionen nicht unterschreiten darf.

6.1.3 Diskriminanzfunktionen

Für die Bestimmung der Diskriminanzfunktionen bzw. der Begrenzungen zwischen den Klassen im Merkmalsraum werden parametrische oder nichtparametrische Methoden angewandt.

Bei den nichtparametrischen Methoden wird keine Annahme über die Wahrscheinlichkeitsverteilungen, denen die Merkmalsvektoren unterliegen, gemacht; sie werden aus den Trainingsdaten etwa nach der Methode von Parzen geschätzt (Devijver und Kittler, 1982).

Klassengrenzen werden oft durch lineare Funktionen, also Hyperebenen, angegeben, da die Entscheidung, auf welcher Seite der Hyperebene ein Merkmalsvektor liegt, rechnerisch einen geringen Aufwand bedeutet. Für kleine Dimensionen des Merkmalsraumes lassen sich Grenzen auch durch visuelle Interpretation der Daten definieren. Dieser Zugang wurde in der vorliegenden Arbeit nicht weiter verfolgt, sondern der künftigen Weiterentwicklung des Klassifizierungssystems vorbehalten.

Bei den parametrischen Methoden wird angenommen, daß die Merkmalsvektoren einer Klasse einer bestimmten statistischen Verteilung unterliegen. Für Fernerkundungsdaten ist die Annahme vorherrschend, daß sie multivariaten Normalverteilungen angehören. Diese Verteilungen werden durch die Parameter \underline{m} und $\underline{C} = (c_{ij})$ beschrieben, wobei \underline{m} der Vektor der Mittelwerte (Erwartungswerte) der Merkmale ist und \underline{C} die Kovarianzmatrix darstellt (Haberäcker, 1977; Kraus, 1979; Leberl u.a., 1982). Aus den Trainingsvektoren werden diese Parameter geschätzt. Wegen der größeren Übersichtlichkeit werden im folgenden die Parameter \underline{m} und \underline{C} nicht besonders nach den Klassen indiziert.

Sei d die Dimension des Merkmalsraumes und \underline{g}_j , $j = 1, \dots, r$ eine Menge von Repräsentanten einer Klasse w , dann ist

(6.2)

$$\underline{m} = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \underline{g}_j$$

eine Schätzung für den Mittelwert und

(6.3)

$$c_{ik} = \left(\sum_{j=1}^r g_{ij} g_{kj} - \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r g_{ij} \sum_{j=1}^r g_{kj} \right) / (r-1)$$

eine Schätzung für die Elemente der Kovarianzmatrix. Die Wahrscheinlichkeitsdichte der multivariaten Normalverteilung ist bekanntlich

(6.4)

$$f(\underline{g}) = \left(\frac{n}{2\pi} \right)^{-1/2} \frac{1}{|C|} \exp \left(- \frac{1}{2} (\underline{g}-\underline{m})' C^{-1} (\underline{g}-\underline{m}) \right)$$

(' steht für die Transposition)

Die Flächen gleicher Dichte sind d-dimensionale Hyperellipsoide. Wird (6.4) als Diskriminanzfunktion verwendet, dann ergibt sich nach Umformung

(6.5)

$$f_D = -\ln |C| - (\underline{g}-\underline{m})' C^{-1} (\underline{g}-\underline{m})$$

als Distanz des Musters \underline{g} von der Klasse w.

Wird stattdessen die Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion betrachtet, dann ergibt

(6.6)

$$f_V = - (\underline{g}-\underline{m})' C^{-1} (\underline{g}-\underline{m})$$

den Wert für die Klasse w. Der Betrag von f_V stellt eine Metrik dar und ist als sogenannte Mahalanobis-Distanz bekannt. Es läßt sich zeigen, daß die Klassifizierung nach diesem Prinzip den mittleren Fehler über die gesamte Datenmenge minimiert und somit im Sinne von Bayes optimal ist (vergl. etwa Swain und Davis, 1978). Sie wird als Maximum-Likelihood-Methode bezeichnet.

AUTOMATISCHE KLASSIFIZIERUNG DES BILDINHALTES

Die Rückweisung eines Merkmalsvektors erfolgt, wenn er im Sinne der Mahalanobisdistanz weiter als ein vorgegebener Wert t von jedem Klassenmittelpunkt entfernt liegt, also außerhalb jedes Ellipsoids mit

$$(\underline{g}-\underline{m})' \underline{C}^{-1} (\underline{g}-\underline{m}) \leq t^2 \quad (6.7)$$

Die Wahrscheinlichkeit, daß ein Merkmalsvektor innerhalb eines solchen Ellipsoids liegt, folgt der Chi-Quadrat-Verteilung mit m Freiheitsgraden. Die Berechnung erfordert die Auswertung einer quadratischen Form, daher steigt der Rechenaufwand quadratisch mit der Dimension des Merkmalsraumes.

Approximationen der Ellipsoide können durch Kugeln oder durch Hyperquader (Parallelepipede) erfolgen, sodaß für die Klasse w entschieden wird, wenn

$$(\underline{g}-\underline{m})' (\underline{g}-\underline{m}) \leq r^2 \quad (6.8)$$

mit \underline{m} als Mittelpunkt und

$$r = t \max_i c_{ii}, \quad i = 1, \dots, d \quad \text{als Radius}$$

oder

$$g_i - m_i \leq t c_{ii} \quad i = 1, \dots, d \quad (6.9)$$

Es ist klar, daß diese Entscheidung nicht eindeutig ist, wenn einander Kugeln oder Quader überlappen. Die Auflösung solcher Konflikte erfolgt durch Distanzfunktionen, etwa die euklidische Distanz, die ja bei der Approximation (6.8) bereits berechnet wurde und für die nur der minimale Wert für die betrachteten Klassen gesucht werden muß (Methode des minimalen Abstandes); auch die Mahalanobis-Distanz ist anwendbar (Sclove 1982).

Abbildung 6.1 zeigt die Unterteilung eines 2-dimensionalen Merkmalraumes bei Anwendung der angeführten Diskriminanzfunktionen.

6.1.4 Fehlerabschätzungen

Fehlerabschätzungen bei der Wahl von Diskriminanzfunktionen wurden unter anderem von Pöpl (1979) angegeben. Eine weit verbreitete Methode zur Abschätzung von Fehlern besteht darin, die Trainingsvektoren, deren Klassenzugehörigkeit ja bekannt ist, mit der gewählten Methode zu klassifizieren und eine Matrix aufzustellen, in der das Element (i,j) angibt, wie oft ein Vektor der Klasse i der Klasse j zugeordnet wurde. Diese Vorgangsweise liefert relativ optimistische Resultate, selbst wenn eine gute Auswahl der Trainingsgebiete vorliegt. Besser ist es, einen

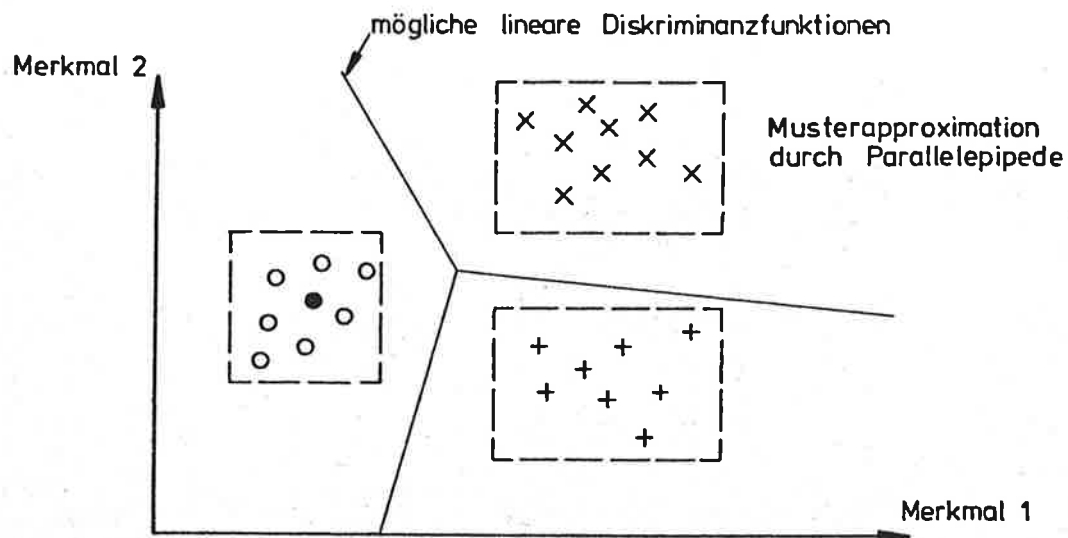


Abbildung 6.1: Schematische Darstellung eines zweidimensionalen Merkmalraumes mit Punkthäufungen von Repräsentanten von 3 Klassen.

Teil der ausgewählten Merkmalsvektoren zur Berechnung der Parameter und einen anderen Teil zum Test zu verwenden.

6.2 MERKMALSAUSWAHL

Um den Berechnungsaufwand bei Vorliegen vieler Merkmale zu reduzieren, erscheint es notwendig, die Dimensionalität des Raumes herabzusetzen, also aus den möglichen Merkmalen auszuwählen oder Merkmale zu kombinieren. Letzteres kann durch die bereits beschriebene Methode der Transformation auf Hauptkomponenten (Kittler, 1977) oder die Berechnung von Ratiobildern erfolgen.

Bei der Auswahl von Merkmalen ist es erforderlich, Maße für die Unterscheidbarkeit von Klassen für Teilmengen der Merkmale zur Verfügung zu haben, mit deren Hilfe entschieden werden kann, welche Merkmale sich für die Trennung von Klassen am besten eignen. Für Zwei-Klassen-Probleme ist eine Reihe solcher Maße bekannt, etwa die Distanzen nach Bhattacharyya, Jeffries-Matusita, Patrick-Fisher und die Divergenz, die von ihrer allgemeinen Formulierung auch auf multivariate Normalverteilungen umgelegt werden können (Devijver und Kittler, 1982). Für mehr als zwei Klassen läßt sich ein gewichteter Durchschnitt berechnen.

Da sich verschiedene Klassen meist nur durch Betrachtung verschiedener Merkmale gut trennen lassen, bestehen hierarchische Verfahren, die an jedem Punkt entscheiden, nach welchem Merkmal ein Vektor einer von zwei Gruppen von Klassen zugeordnet wird, bis schließlich jede Gruppe nur mehr aus einer Klasse besteht (You und Fu, 1976). Abbildung 6.2 illustriert diese Vorgangsweise.

AUTOMATISCHE KLASSIFIZIERUNG DES BILDINHALTES

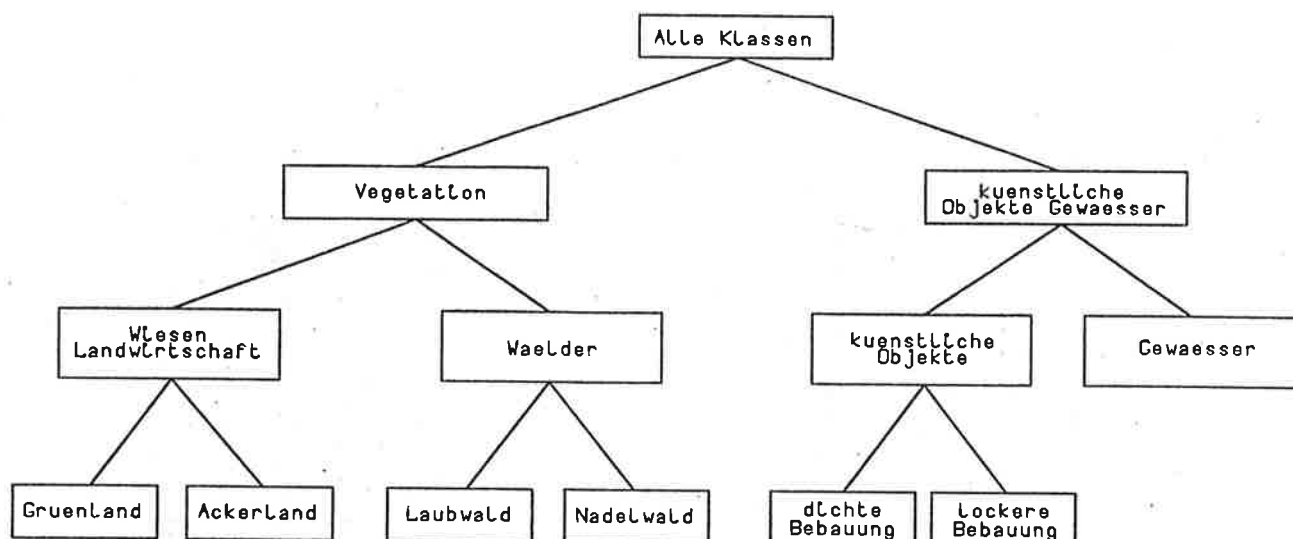


Abbildung 6.2: Schema der hierarchischen Klassifizierung. In jeder Stufe wird ein Bildpunkt aufgrund gewählter Merkmale einer von 2 Gruppen zugewiesen, bis seine Klassenzugehörigkeit eindeutig bestimmt ist.

6.3 EIN SYSTEM ZUR AUTOMATISATIONSGESTÜTZTEN KLASSIFIZIERUNG

Aufbauend auf den theoretischen Überlegungen wurde im Rahmen des Projektes ein System entwickelt, das den Interpreten von Fernerkundungsdaten unterstützt und ihm Werkzeuge zur Klassifizierung unter Benutzung vorhandener Datenbestände ermöglicht. Da jede Aufgabenstellung einen vom Experten zu bestimmenden Zugang erfordert, ist eine breite, flexible Basis von Instrumenten Grundlage für eine zielgerichtete Vorgangsweise.

Beim Systementwurf wurde auf die Fähigkeiten des Bildverarbeitungsprozessors (Abschnitt 4) Rücksicht genommen, wodurch einige Beschränkungen bezüglich der verarbeitbaren Datenmengen eingeführt werden mußten. Bei der praktischen Arbeit wurden dadurch jedoch bisher keine Behinderungen festgestellt.

Der Datenfluß während der Klassifizierung ist in Abbildung 6.3 dargestellt.

6.3.1 Definition von Trainingsgebieten

Die Festlegung der Lage der Trainingsgebiete im Bild erfolgt durch die Markierung von Flächen oder einzelnen Punkten am Farbmonitor. Die Auswahl der Farbkomponenten des Bildes aus einem vieldimensionalen multispektralen, multi-temporalen Datensatz oder aus abgeleiteten Bildern ist beliebig und kann je nach Klasse gesondert erfolgen. Mit Hilfe des Joystick werden Einzelpunkte oder die Begrenzungen der Flächen

AUTOMATISCHE KLASSIFIZIERUNG DES BILDINHALTES

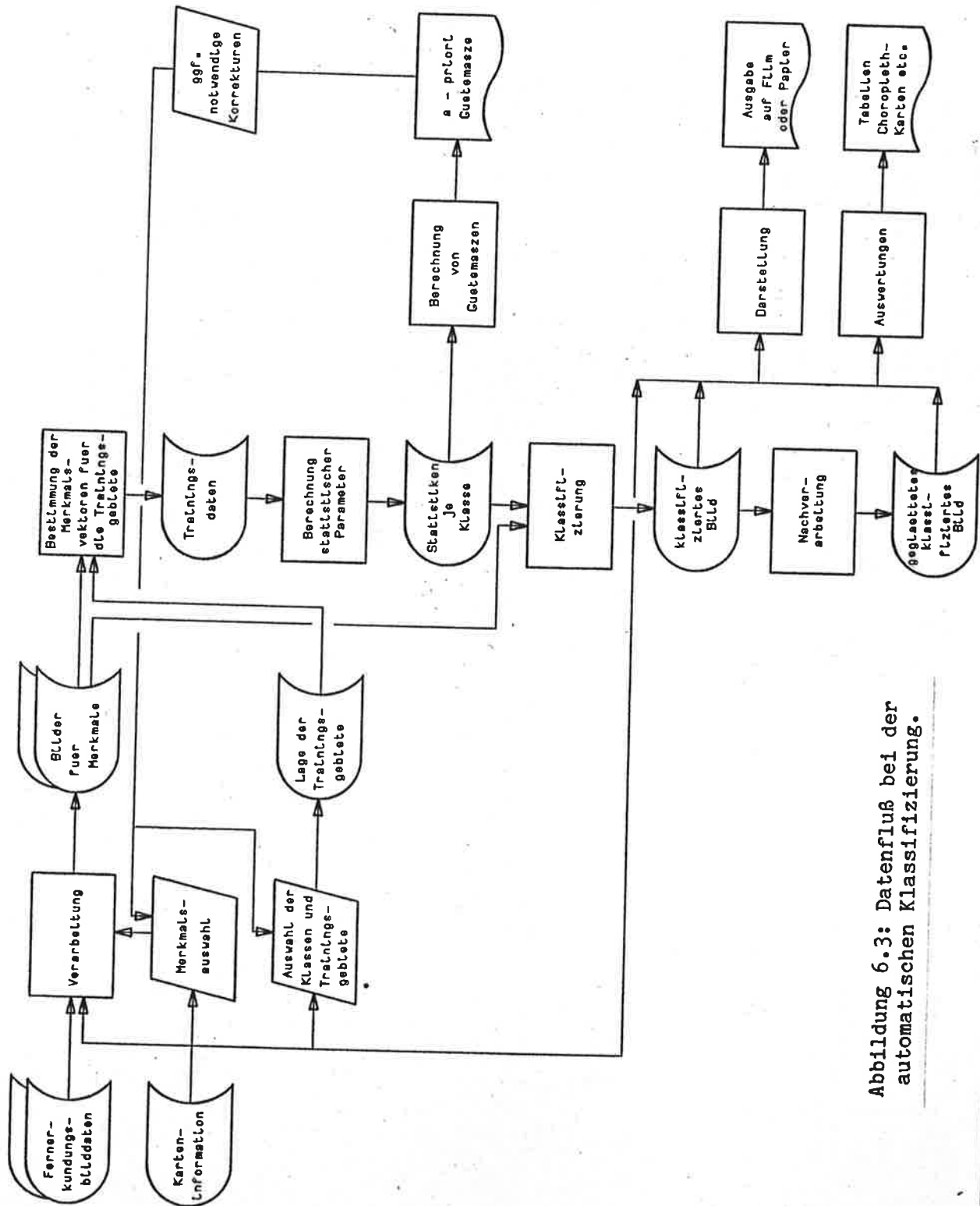


Abbildung 6.3: Datenfluß bei der automatischen Klassifizierung.

AUTOMATISCHE KLASSIFIZIERUNG DES BILDINHALTES

eingegeben. Das Innere von Flächen wird automatisch gefüllt. Es entsteht so für jedes Gebiet eine Binärmaske, die für die weitere Verwendung gespeichert und bei Bedarf aufgerufen werden kann (Abbildung 6.4). Die Trainingsgebiete für maximal fünfzehn Klassen lassen sich gemeinsam für einen Klassifizierungsvorgang bereitstellen.

Eine Alternative ist die Angabe von Trainingsgebieten auf Karten oder die Verwendung bereits vorhandener Kartendatenbestände (vgl. Abschnitt 5). Die aus der Feldarbeit resultierenden Aufzeichnungen werden an einem Digitalisierertisch erfaßt und die Beziehung zwischen dem Karten- und dem Bildkoordinatensystem durch Angabe von Entsprechungspunkten hergestellt. Die Daten werden dann selektiert und ins Bild projiziert und können danach korrigiert oder ergänzt werden. Die Überlagerung des Bildes mit topographischer Information zur besseren Orientierung ist auf demselben Weg möglich. Die Bilddaten müssen keineswegs bereits entzerrt vorliegen, wodurch der Zeitaufwand für die Vorverarbeitung bei einer vorläufigen Untersuchung der Daten wegfällt.

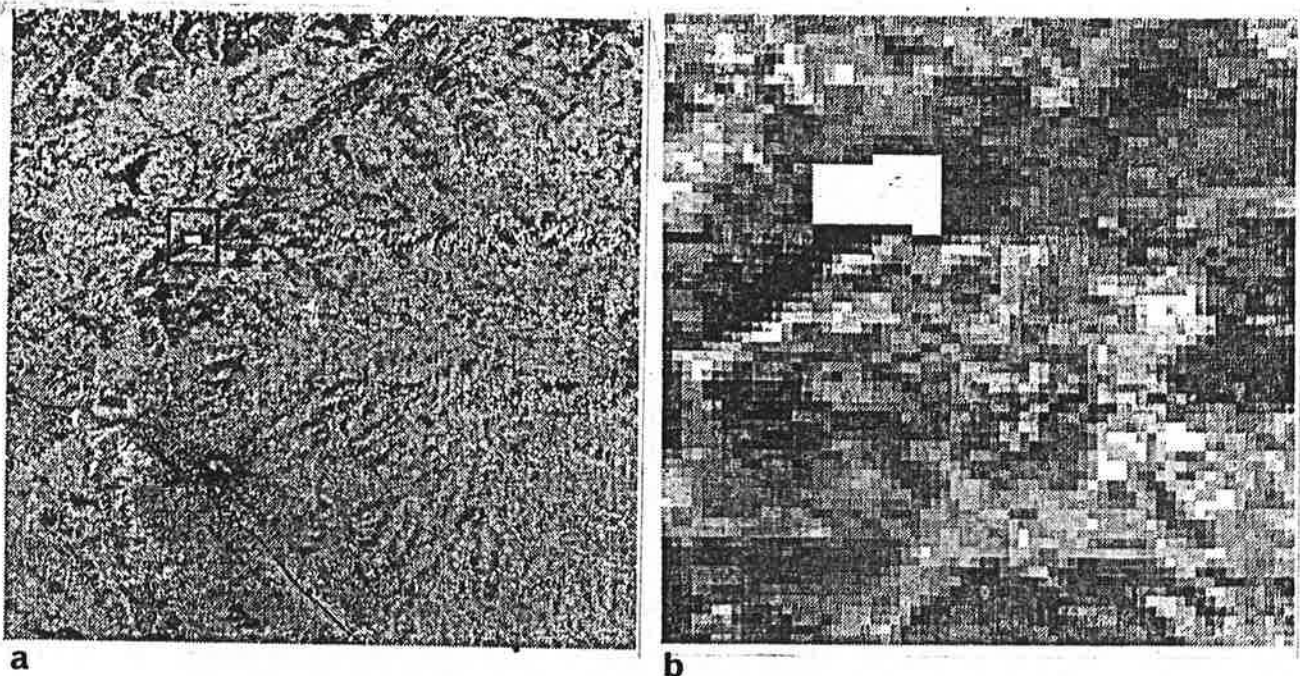


Abbildung 6.4: Auswahl von Trainingsgebieten am Bildschirm.
Hier wird interaktiv ein Gebiet für die Klasse "Nadelwald" markiert.
(a) Übersicht (b) Detail

6.3.2 Interaktive Kontrollklassifizierung

Um eine schnelle Übersicht über mögliche Vorgangsweisen zu erhalten, besteht ein auf der Parallelepipedmethode beruhendes Verfahren, das Aufschluß über die Qualität der Trainingsdaten und des Bildmaterials gibt. Zwei oder drei Bilder werden als Merkmale in die Bildspeicher des

Bildverarbeitungssystem geladen. Der Interpret wählt ein Trainingsgebiet aus einem Bestand oder markiert es neu. Für das Trainingsgebiet werden Mittelwerte und Standardabweichungen für jedes Merkmal berechnet. Aufgrund dieser Angaben gibt der Interpret einen Faktor für die Zurückweisung nach Gleichung (6.9) an. Die Klassifizierung wird parallel auf allen Bildpunkten in vier Zeittakten (0.12 s) ausgeführt und das Ergebnis angezeigt.

Nun ist es möglich, den Faktor zu variieren, das Trainingsgebiet automatisch auf die richtig klassifizierte Punkte zu reduzieren, das Trainingsgebiet auf das Ergebnis auszudehnen oder überhaupt neu zu definieren. Dieser Zyklus wird wiederholt, bis ein zufriedenstellendes Resultat für die Klasse erzielt ist (Abbildung 6.5).

Bis zu acht Klassen können nacheinander behandelt werden. Dann erfolgt die Berechnung von Trennbarkeitsmaßen und die Erstellung einer Graphik mit der Lage der Merkmale in jeder Komponente des Merkmalsraumes. Das erzielte Gesamtergebnis wird angezeigt und kann über eine Farbauswahl beliebig koloriert werden. Eine Statistik gibt Aufschluß über Mehrfachklassifizierungen. Alle Übersichten werden zusammen mit einem Protokoll gedruckt und stehen zur weiteren Analyse zur Verfügung (Abbildung 6.6).

Der Zeitaufwand für eine Sitzung ist gering, wenn man eine Übersicht über die in den Merkmalen enthaltene Information gewinnen möchte. Die gewonnenen Erfahrungen dienen zur Vorbereitung von optimalen Datensätzen für verfeinerte Methoden und erhöhen deren Genauigkeit.

6.3.3 Multivariate Klassifizierung

Die Klassifizierung für mehr als die maximal drei Merkmale, die direkt in den Speichern des Bildverarbeitungsgerätes untergebracht werden können, (derzeit sind dies - aus programmtechnischen Überlegungen - bis zu 24) und bis zu 15 Klassen wird nicht mehr in Wechselwirkung mit dem Interpreten durchgeführt, sondern läuft nach Bereitstellung aller Eingaben selbständig in zwei Phasen ab. Als Eingabedaten sind für die Berechnung der Statistiken eine Graphik mit allen Trainingsgebieten und die Liste der Bilder mit den gewünschten Merkmalen anzugeben.

Aus der Graphik wird eine Liste von Koordinaten für jedes Trainingsgebiet erstellt, die mit den Werten für die einzelnen Merkmale ergänzt wird. Aus diesen Daten werden die Parameter für die statistische Beschreibung der Klassen gewonnen. Alle Angaben über Separabilität, Lage der Klassen im Merkmalsraum und eine Reihung der besten Merkmale stehen danach wie beim interaktiven Ablauf zur Verfügung. Vor der Bearbeitung des gesamten Datensatzes kann durch die Klassifizierung von Trainings- bzw. Testvektoren die zu erwartende Fehlerwahrscheinlichkeit abgeschätzt werden (Abbildung 6.7).

Für die Klassifizierung eines vollen Bildausschnittes stehen die Methoden Maximum Likelihood, Minimale Distanz und Parallelepiped zur Verfügung, wobei die Rückweisungsschwelle jeweils festgelegt wird.

AUTOMATISCHE KLASSIFIZIERUNG DES BILDINHALTES

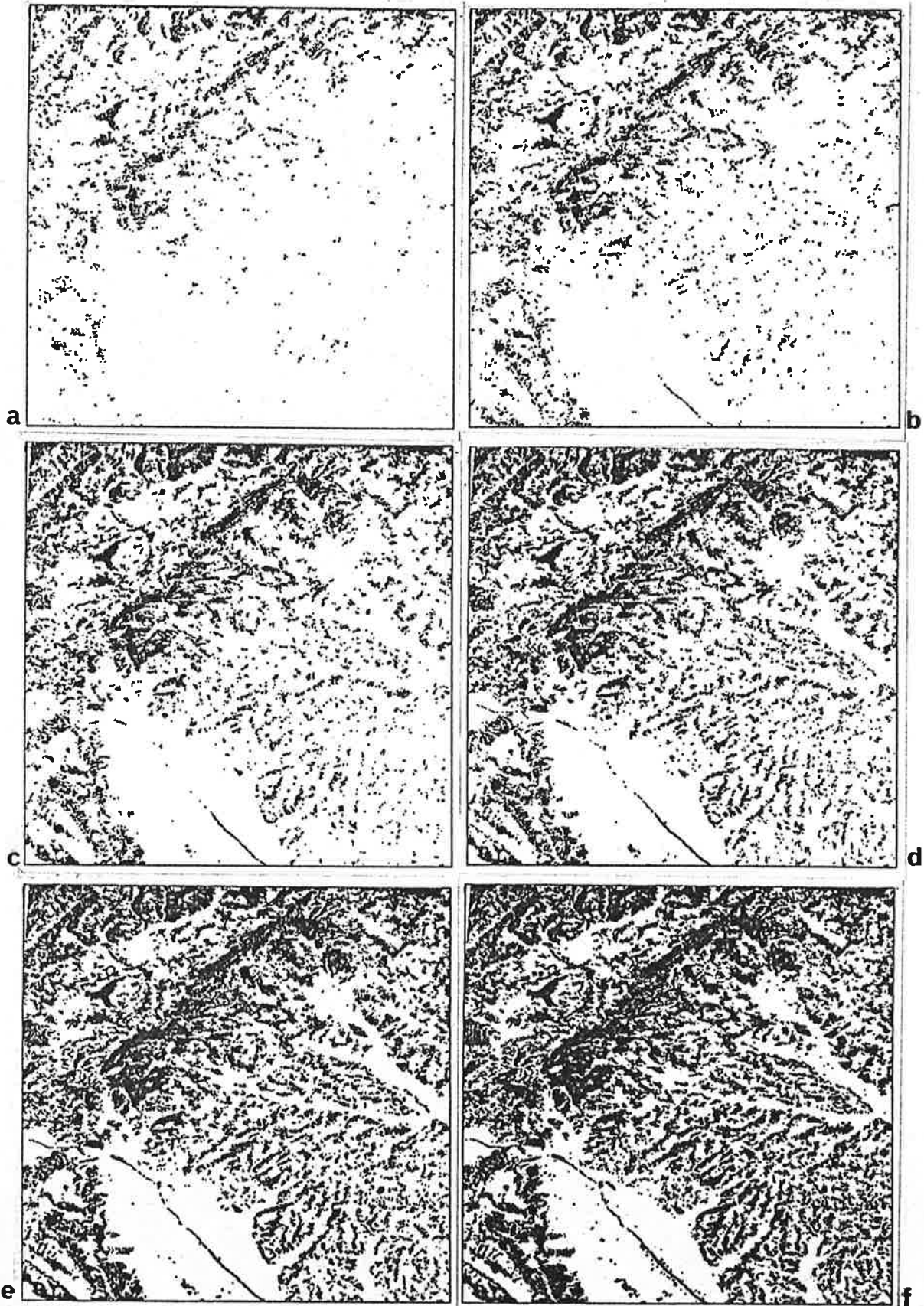


Abbildung 6.5: Auswirkung der Wahl eines Zurückweisungsfaktors auf das Ergebnis der interaktiven Klassifizierung (Klasse "Nadelwald")
(a) $t = 1$ (b) $t = 2$ (c) $t = 3$ (d) $t = 4$ (e) $t = 5$ (f) $t = 6$
(LANDSAT-MSS Ausschnitt GRAZ, Kanal 7; unentzerrt)

AUTOMATISCHE KLASSIFIZIERUNG DES BILDINHALTES

PLOT OF VALUE RANGES PER CLASS PER IMAGE
 HYI +/- FACTOR * SIGMAI

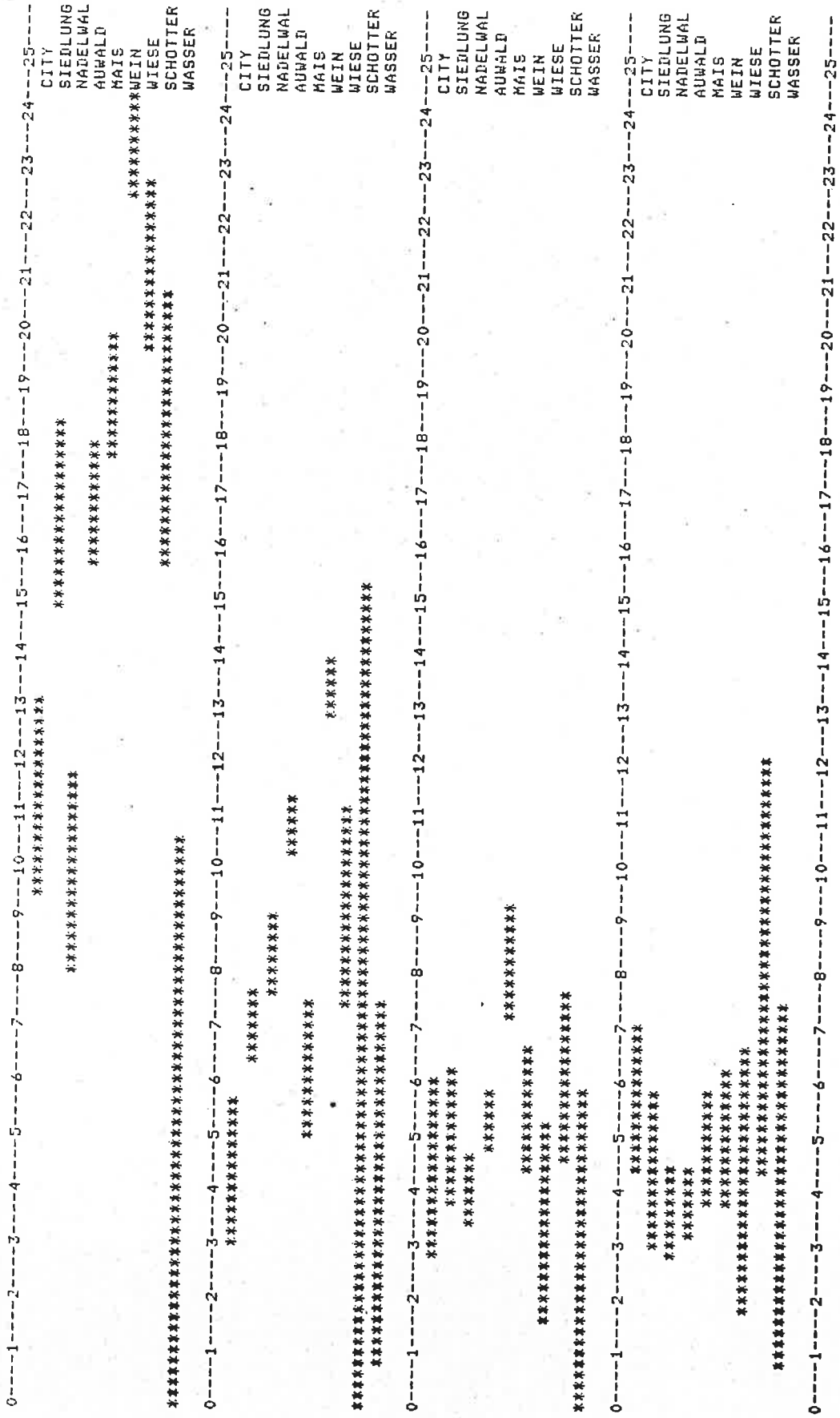


Abbildung 6.6 (a): Während der Klassifizierung errechnete statistische Angaben; Grauwertbereiche der Klassen in den einzelnen Merkmalen

AUTOMATISCHE KLASSIFIZIERUNG DES BILDINHALTES

UNNORMALIZED DISTANCES BETWEEN CLASSES PER IMAGE
 $DIST = ABS (MYI - MYJ) / (SIGMAI + SIGMAJ)$

IMAGE NUMBER 1

CITY	SIEDLUNG	NADELWAL	AUWALD	MAIS	WEIN	WIESE	SCHOTTER	WASSER
0.0000								
2.8908	0.0000							
0.7098	3.6398	0.0000						
3.6993	0.1521	4.6302	0.0000					
5.0742	1.5297	6.0279	1.8000	0.0000				
7.7794	4.5695	8.6876	5.6551	4.0739	0.0000			
5.8368	2.7848	6.6708	3.3304	1.8512	1.7442	0.0000		
3.1033	0.7092	3.7270	0.7199	0.3712	2.9040	1.5265	0.0000	
1.7081	3.0921	1.3774	3.4535	4.0314	5.2582	4.4418	3.1850	0.0000

MINIMUM 0.1521 BETWEEN SIEDLUNG AND AUWALD

MAXIMUM 8.6876 BETWEEN NADELWAL AND WEIN

IMAGE NUMBER 2

CITY	SIEDLUNG	NADELWAL	AUWALD	MAIS	WEIN	WIESE	SCHOTTER	WASSER
0.0000								
2.8065	0.0000							
4.0220	1.9424	0.0000						
6.9342	6.2964	3.9867	0.0000					
1.4648	0.8450	2.1138	4.9120	0.0000				
9.5659	10.4121	8.0110	4.5959	7.5954	0.0000			
3.1527	1.8059	0.7570	1.2610	1.9432	3.4025	0.0000		
0.1724	0.6128	0.8114	1.2098	0.4596	1.6202	0.8811	0.0000	
0.0419	1.4416	2.0678	3.4156	0.8760	4.7339	1.9738	0.1376	0.0000

MINIMUM 0.0419 BETWEEN CITY AND WASSER

MAXIMUM 10.4121 BETWEEN SIEDLUNG AND WEIN

MAXIMAL DISTANCES

CITY	SIEDLUNG	NADELWAL	AUWALD	MAIS	WEIN	WIESE	SCHOTTER	WASSER
0.0000								
2.8908	0.0000							
4.0220	3.6398	0.0000						
6.9342	6.2964	4.6302	0.0000					
5.0742	2.6255	6.0279	4.9120	0.0000				
9.5659	10.4121	8.6876	5.6551	7.5954	0.0000			
5.8368	2.7848	6.6708	3.3304	3.2358	3.4025	0.0000		
3.1033	1.4102	3.7270	1.9140	1.5838	2.9040	1.6033	0.0000	
1.7081	3.0921	2.0678	3.4535	4.0314	5.2582	4.4418	3.1850	0.0000

DIVERGENCE

CITY	SIEDLUNG	NADELWAL	AUWALD	MAIS	WEIN	WIESE	SCHOTTER	WASSER
0.0000								
70.2062	0.0000							
347.4222	350.4389	0.0000						
1594.4479	426.0976	725.7331	0.0000					
231.1261	172.3132	992.0869	622.3063	0.0000				
1055.0016	651.8422	1093.3021	866.7429	773.7501	0.0000			
178.3177	70.5464	431.2456	214.8198	358.5016	179.3529	0.0000		
233.3487	631.3048	1789.6858	2141.9875	217.2341	1757.6025	621.4387	0.0000	
250.3810	398.6818	297.3662	3465.6575	1171.2229	2218.9695	472.9536	3035.7222	0.0000

MINIMUM DISTANCE 70.2062 AVERAGE 836.3661

PHÄNTASMA DISTANCE

CITY	SIEDLUNG	NADELWAL	AUWALD	MAIS	WEIN	WIESE	SCHOTTER	WASSER
0.0000								
13.6626	0.0000							
20.4167	44.5514	0.0000						
30.1308	24.3382	19.6267	0.0000					
23.5343	26.4431	90.8518	58.1970	0.0000				
68.3512	64.9754	62.3858	67.3042	60.9946	0.0000			
28.5141	13.6987	46.8187	19.8464	19.2740	17.9118	0.0000		
17.7448	12.1671	19.2291	9.3081	12.7283	27.0956	17.2047	0.0000	
14.3862	15.4507	31.7741	30.3942	29.3005	47.1922	18.2538	17.0329	0.0000

MINIMUM DISTANCE 9.3081 AVERAGE 31.6969

Abbildung 6.6 (b): Während der Klassifizierung errechnete statistische Angaben: Distanzmaße zwischen den Klassen

AUTOMATISCHE KLASSIFIZIERUNG DES BILDINHALTES

CLASSIFICATION OF TRAINING AREAS													
	2 FEATURES		10 CLASSES					REJECTION DISTANCE		2.00			
CITY	30	373	15	0	0	0	0	2	1	2	0	123	88.18
SIEDLUNG	6	8	308	0	0	0	7	26	3	25	0	383	80.42
LAUBW1	8	0	0	117	0	2	0	0	0	0	0	127	92.13
LAUBW2	4	0	0	0	146	0	13	0	0	0	0	163	89.57
NADELWAL	1	0	0	1	0	118	0	0	0	0	0	120	98.33
FELD1	0	0	0	0	11	0	67	0	0	24	0	102	65.69
FELD2	0	2	54	0	0	0	0	36	25	22	0	139	25.90
FELD3	0	1	0	0	0	0	0	3	25	4	2	35	71.43
FELD4	1	0	0	0	0	0	4	2	3	23	0	33	69.70
BRACHLAN	1	0	0	0	0	0	0	0	5	1	47	54	87.04
SUM	51	384	377	118	157	120	91	69	62	101	49	1579	79.80

Abbildung 6.7: Fehlermatrix. Werte außerhalb der Hauptdiagonale geben die Anzahl falsch zugeordneter Bildpunkte an. In der ersten Spalte ist die Anzahl der unklassifizierten Pixel, in der letzten Spalte der Prozentsatz richtig zugeordneter Pixel ersichtlich.

Ergebnis ist ein Bild, in dem der Wert jedes Bildpunktes die ihm zugeordnete Klasse repräsentiert.

6.3.4 Darstellung

Zur Erarbeitung eines optisch ansprechenden Resultates stehen Farbauswahlfunktionen zur Verfügung. Das Ergebnis kann auf Sofortbild- oder Kleinbild (Dia, Farbnegativfilm) festgehalten werden. Getrennte Auszüge für die einzelnen Klassen lassen sich auf einem elektrostatischen Drucker herstellen (vgl. Abbildung 7.18). Karteninformation läßt sich dabei auf dem in Abschnitt 5.2.1.6 beschriebenen Weg überlagern. Schließlich besteht noch die Möglichkeit, unter Verwendung eines digitalen Geländemodells perspektivische Ansichten zu synthetisieren (Abbildung 7.19).

6.3.5 Weiterbearbeitung

Klassifizierte Bilder machen oft einen unruhigen Eindruck. Dieser Effekt, manchmal Klassifizierungsrauschen genannt, entsteht durch einzelne Bildpunkte oder kleine Flächen, die in größeren, homogenen Flächen enthalten sind und zumeist vom statistischen, sicher aber vom kartographischen Standpunkt her zu vernachlässigen sind. Durch Anwendung von Kontextregeln lassen sich diese Pixel nachträglich umklassifizieren. Hier bieten sich Verfahren mit der allgemeinen Binärbildtransformation (4.3.6) oder Zuordnungen nach dem Prinzip der größten Klasse in der Nachbarschaft an (Abbildung 6.8). Fehlklassifizierungen, verursacht durch Mischsignaturen an den Rändern

AUTOMATISCHE KLASSIFIZIERUNG DES BILDINHALTES

homogener Flächen, werden ebenfalls aufgrund von Nachbarschaftsbeziehungen korrigiert.

Diese meist durch heuristische Betrachtung festgelegten Umformungen können global für das gesamte Bild oder mit speziellen Regeln pro Klasse eingesetzt werden. Der Interpret hat so eine Reihe von Hilfsmitteln, die ihm je nach Zielvorstellung ein optimales Endresultat liefern.

In der Konzeptphase befindet sich eine Schnittstelle der Rasterstruktur des thematischen Bildes zurück in die Vektorstruktur eines geographischen Informationssystems. Damit ist es möglich, thematische Karten aus der Interpretation von Bildinhalten zu gewinnen und mit anderen Kartendaten auf der graphischen Datenebene weiterzubehandeln.

6.4 AUSBLICK

Die bisher implementierten Methoden stellen ein Basisgerüst dar, das dazu dient, Erfahrungen zu sammeln. Die weitere Arbeit wird in der Bereitstellung von Verfahren zur unüberwachten Klassifizierung sowie zur linearen Diskriminanzanalyse bestehen.

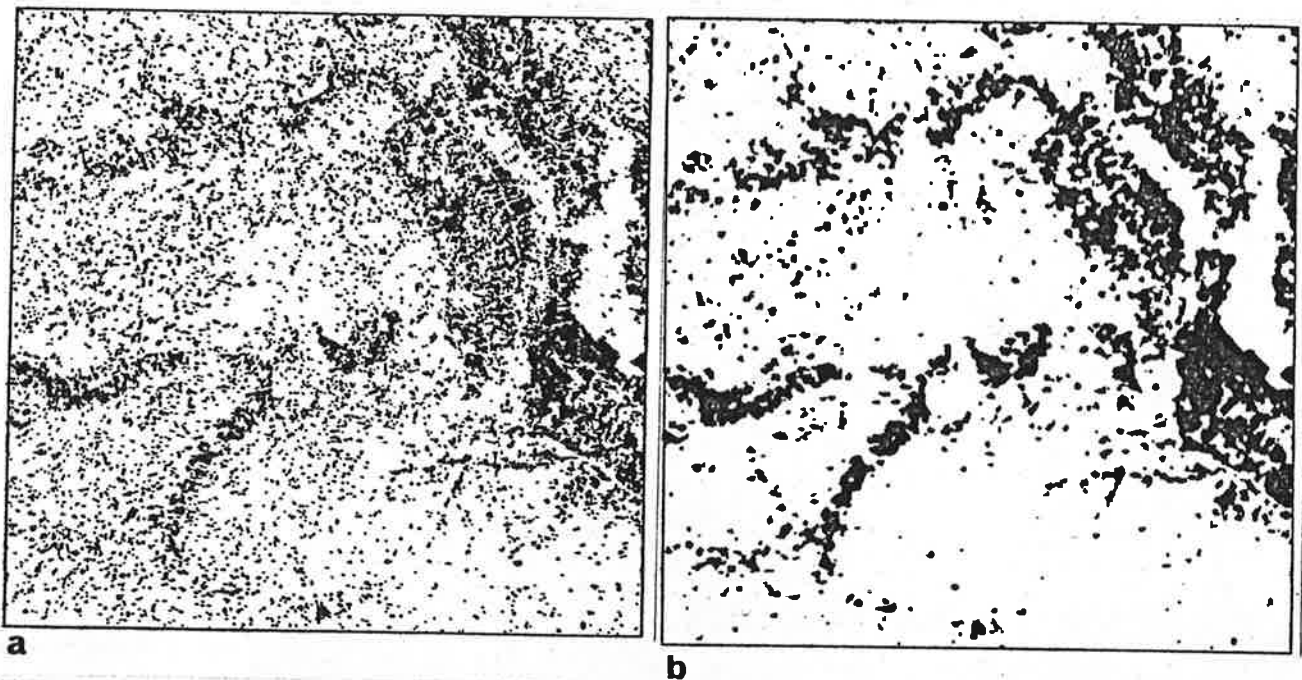


Abbildung 6.8: Glättung des Klassifizierungsergebnisses.
(a) Ursprüngliches Klassifizierungsergebnis ("Felder")
(b) Umklassifizierung entsprechend dem Kontext
(LANDSAT-MSS Ausschnitt LEIBNITZ; entzerrt)

ABSCHNITT 7

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

7.1 MOTIVATION

Die erarbeiteten und in den vorhergehenden Abschnitten behandelten Methoden wurden auf einen Datensatz von Fernerkundungsbildern angewandt, um einerseits die Funktionsfähigkeit der Programmsysteme zu überprüfen und andererseits Datenmaterial zu gewinnen, das für Pilotstudien auf dem Gebiet der Fernerkundung mit Satellitenbildern zur Verfügung stehen soll. Die Vorgangsweise bei der Erstellung des Datensatzes ist in ihren Grundzügen bekannt und wird in vielen Problemstellungen angewandt. Zur Verarbeitung der Bilddaten tritt hier die Überlagerung mit Karteninhalten. Die folgende Darstellung gibt anhand des Testdatensatzes ein Beispiel, wie Daten verschiedener Sensoren zusammen mit thematischen Informationen für die Analyse bereitgestellt werden können.

	April	Juni	Juli	September	Dezember	RBV
LANDSAT	2	2	2	2	2	3
Szene	205/27	204/27	204/27	205/27	205/27	205/27/4
Bildnummer	126	129	130	134	140	090
Datum	21. 4.81	14. 6.81	2. 7.81	13. 9.81	30.12.81	12. 8.82
Sonnenhöhe (millirad)	838	996	983	706	262	
Azimut (millirad)	2400	2217	2198	2492	2672	
Mittelpunkt						
n. Breite	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	46.23
ö. Länge	15.30	16.69	16.72	15.23	15.42	15.26
Flughöhe (km)	917.5	915.2	920.8	914.5	924.2	

Tabelle 7.1 : Einige Aufnahmeparameter der MSS- und RBV-Bilder

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

7.2 DER DATENSATZ

Als Bilddatenmaterial wurden Multispektralbilder des LANDSAT MSS-Systems aus dem Jahr 1981 sowie Bilder der LANDSAT RBV-Kamera aus dem Jahr 1982 in digitaler Form auf computerkompatiblen Magnetbändern erworben. Die Aufnahmedaten sind in Tabelle 7.1 zusammengestellt, Abbildung 7.1 zeigt die geographische Lage der Bilder.

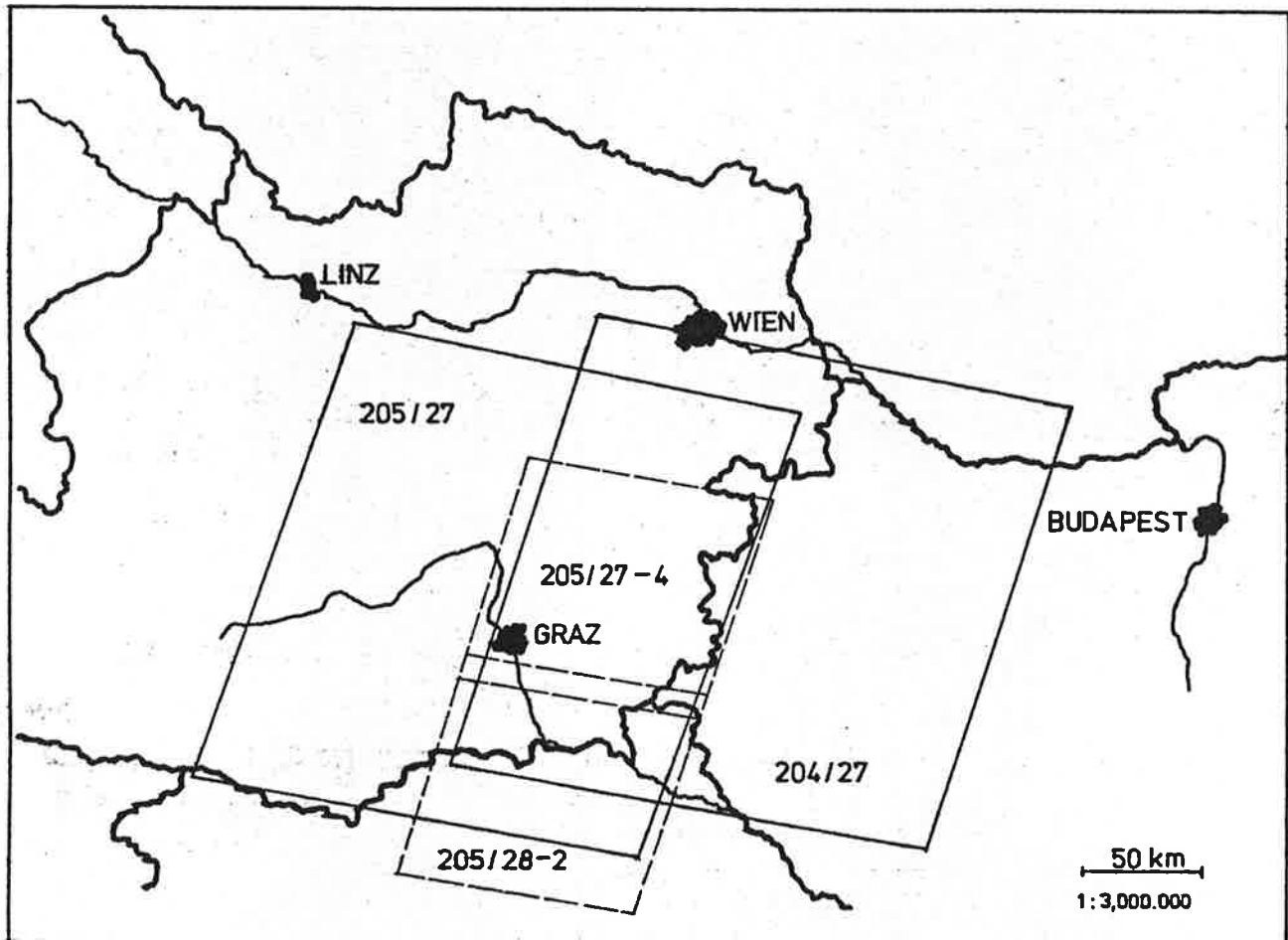


Abbildung 7.1: Geographische Lage der LANDSAT MSS und RBV Szenen

Trotz der Bildwiederholungsrate von 18 Tagen für LANDSAT war es nicht möglich, für eine über das Jahr gut verteilte Folge von Aufnahmezeitpunkten Bildmaterial guter Qualität mit geringer Wolkenbedeckung zu erhalten. Für die Beobachtung der Vegetation sind Bilder zwischen Oktober und Februar von geringer Bedeutung. In diesem Zeitraum stellt auch der niedrige Sonnenstand, der vor allem in hügeligem und gebirgigem Gelände zur Minderung der Datenqualität durch Schatten führt, ein Problem dar. Im Streifen 205¹⁾, der das Gebiet Südostösterreichs darstellt, wurde zwischen Mai und September 1981 kein einziges brauchbares Bild aufgenommen. Aus diesem Grund mußte auf Bilder des weiter östlich liegenden Streifens 204 zurückgegriffen

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

werden, der eine Überlappung von etwa 40 Prozent aufweist. Der multitemporale Datensatz konnte daher nur für diesen Bereich erstellt werden. Auch in diesem Streifen waren für die Monate Mai und August keine Bilder verfügbar; die beiden brauchbaren Aufnahmen von Juni und Juli liegen nur 18 Tage auseinander. Das Bild vom 30. Dezember ist vom Inhalt gegenüber den anderen Bildern durch die Schneebedeckung wesentlich verschieden und muß für die Informationsgewinnung sicherlich getrennt von den anderen betrachtet werden.

Die klimatischen Verhältnisse in den Gebieten Mitteleuropas bilden für die Verfügbarkeit von multitemporalen Multispektral - Abtastbildern ein grundsätzliches Hindernis. In der Regel werden Daten für die bestgeeigneten Zeitpunkte - für die Vegetationsanalyse etwa die Hauptwachstumsperiode im Frühjahr, für die Betrachtung von landwirtschaftlichen Nutzungsarten auch die Erntezeiten im Juli und August - selten innerhalb eines Jahres zur Verfügung stehen. Eine Verbesserung auf diesem Gebiet wäre nur durch den Einsatz mehrerer Satellitensysteme, die zu einer höheren Überfliegerungsrate führt, denkbar. Dies scheint jedoch für die nähere Zukunft aus finanziellen Gründen nicht realistisch zu sein. Auch die Fähigkeit des französischen Satelliten SPOT, Gebiete seitlich des Flugweges aufzunehmen, wird nur zu geringen zusätzlichen nutzbaren Datenmengen führen, da die Aufnahmerichtung mehrere Stunden im voraus festgelegt werden muß. Ohne genaue Wettervorhersagen läßt sich die Wahrscheinlichkeit, gute Bilder zu bekommen, nicht erhöhen.

Die RBV-Daten wurden nicht laufend gesammelt, die Kameras wurden nur auf speziellen Wunsch aktiviert. Die Szenennummerierung stimmt nicht genau mit der der MSS-Bilder überein: der Bereich Graz gehört zu Bild 205/027/4, weiter südlich liegt bereits Bild 205/028/2. Abnutzungserscheinungen im Material der Vidikon-Platte wirken sich in unbrauchbaren Daten im südöstlichen Bereich der Subszene aus (Abbildung 7.2). Da LANDSAT-3 am 7. September 1983 abgeschaltet wurde, sind in Zukunft keine neuen Daten von RBV-Systemen mehr erhältlich. Da auch während der Lebensdauer des Systems Bilder nicht kontinuierlich archiviert wurden ist anzunehmen, daß RBV-Bilder nur noch selten für Fernerkundungszwecke analysiert werden. Für die vorliegende Arbeit bieten sie ein Beispiel, wie höher- und niedrigerauflösende Bilder miteinander überlagert werden können. Sie werden geometrisch entzerrt, die Nutzbarkeit für Interpretation und automatische Analyse wurde jedoch nicht mehr weiter untersucht.

7.3 AUSWAHL DES BEARBEITUNGSGEBIETES

Aus den zur Verfügung stehenden Daten wurde ein Bereich ausgewählt, der den größten Teil der südlichen Steiermark umfaßt (Abbildungen 7.3 und 7.4). Die Auswahl wurde dadurch beeinflusst, daß für dieses Gebiet vom Grazer Institut für Umweltgeologie im Rahmen des Projektes

1) Die Bezeichnungen gelten für die Szeneneinteilung von LANDSAT 1,2,3. Für LANDSAT 4 wurde eine neue Einteilung, das WRS (World Reference System) getroffen.

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

"Naturraumpotentialkartierung" umfangreiche Felderhebungen für umweltrelevante Faktoren (Bodenkunde, Klima, Wasserhaushalt) erfolgen. Diese Daten werden für Pilotstudien im Geoinformationssystem DESBOD verwendet und sollen in weiterer Folge auch mit Fernerkundungsbildern kombiniert werden.

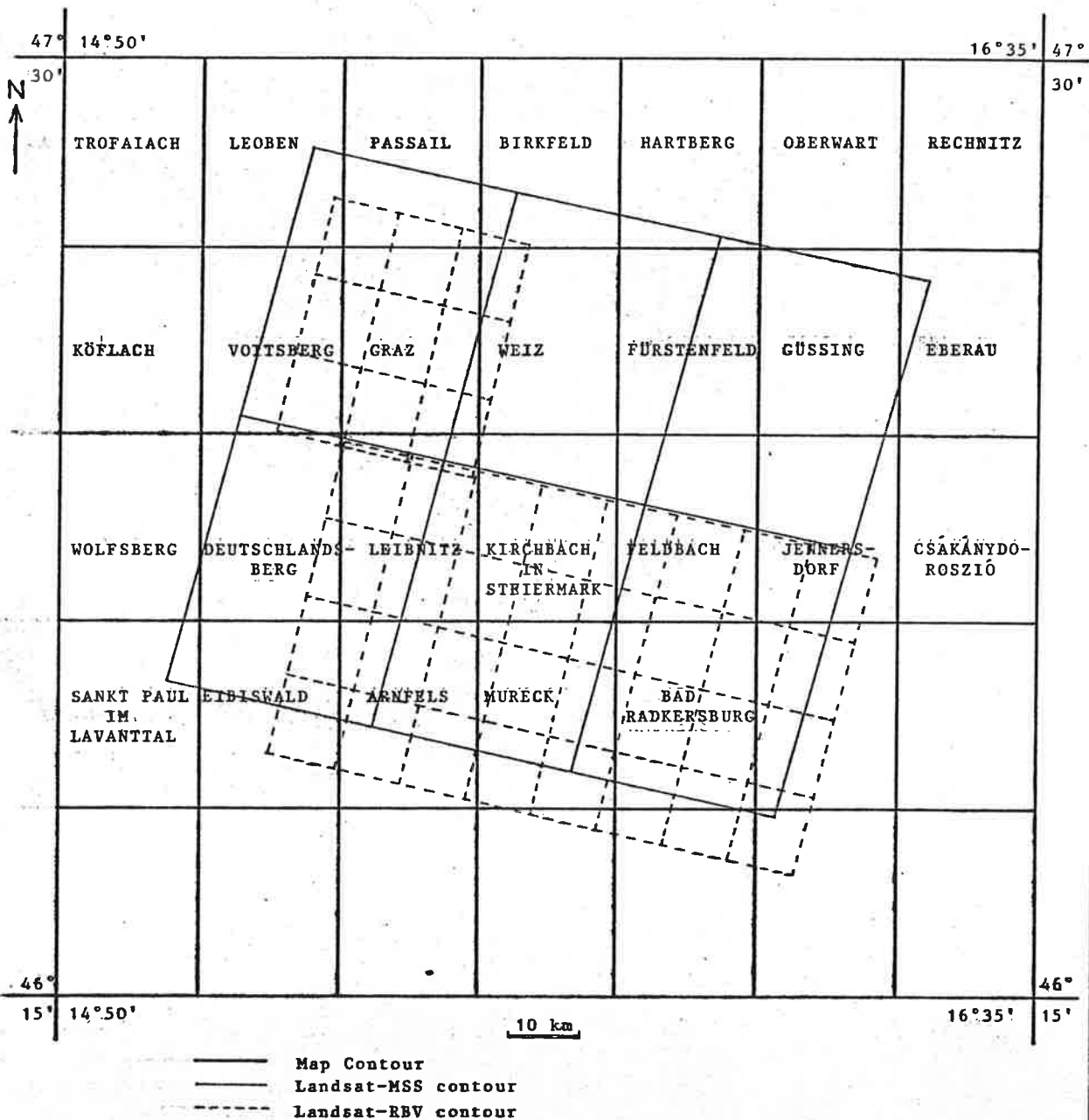


Abbildung 7.3: Lage der für die Erstellung des Testdatensatzes gewählten Bildausschnitte im Blattschnitt der OK 50. Die Unterteilungen entsprechen jeweils 512 x 512 Bildpunkten. Der linke obere Eckpunkt des MSS-Bildes entspricht den Koordinaten (1885,1001) des September-Bildes.

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

Die Beschränkung vieler Studien auf kleinräumige Gebiete, in denen viele verschiedenartige Daten erhoben werden, macht die Bearbeitung ganzer LANDSAT-Szenen derzeit nicht erforderlich. Wichtiger als die Fähigkeit, große gleichartige Datenmengen zu bewältigen, erscheint die Bereitstellung von Methoden, die eine synoptische Darstellung von Daten aus verschiedenen Quellen ermöglicht, wobei die einfache Bedienbarkeit des Systems einen entscheidenden Faktor für die Akzeptanz durch den Benutzer darstellt. Die Behandlung ganzer Bilder ist eher ein quantitatives Problem, das durch den Einsatz leistungsfähiger Datenverarbeitungsanlagen gelöst werden kann.

Nach der grundsätzlichen Definition des Bearbeitungsgebietes wurde aus jedem Bild das Fenster bestimmt, das dieses Gebiet überdeckt. Die Darstellungskapazität des Farbmonitors mit 512 x 512 Bildpunkten, die nur etwa 1/30 der gesamten Fläche der MSS-Szene umfaßt, ist für die Bestimmung von Bildausschnitten zu gering. Daher wurde eine Methode angewandt, bei der zur Orientierung vorerst eine Verkleinerung des Bildes angezeigt wird: Aus den Originaldaten wird nur jedes k-te Pixel pro Zeile und nur jede k-te Zeile angezeigt. Auf dieser Verkleinerung wird nach dem gewünschten Ausschnitt gesucht. Da auch in näherer Zukunft die Bildspeicherkapazitäten 2048 x 2048 Bildpunkte nicht übersteigen werden, die Bildatenmengen jedoch mit den höherauflösenden Systemen weiter wachsen, scheint diese Vorgangsweise weiterhin die bestmögliche zu sein. Zu überlegen ist, die Beziehung zwischen Bildkoordinaten und geographischer Lage durch eine Schätzung, die aus den Parametern der Umlaufbahn der Satelliten abgeleitet wird, herzustellen.

Aus den Originaldaten des MSS, die weiterhin auf Magnetband bestehen, wurden auf diese Weise Bildausschnitte von 1536 Spalten x 1024 Zeilen bestimmt. Dies entspricht einer Fläche von $87.5 \times 80.9 = 7079 \text{ km}^2$. Für die RBV-Bilder wurden die Ausschnitte analog bestimmt (Tabelle 7.2). Die Bildpunktkoordinaten wurden im ursprünglichem System belassen, um die Erweiterung der Bildausschnitte zu einem späteren Zeitpunkt nicht zu erschweren. Die MSS-Daten wurden von Spikerauschen gereinigt und der

Bild	Fenster
MSS-gesamt	1, 1, 3400, 2286
April	1885, 1001, 1536, 1024
Juni	101, 1262, 1536, 1024
Juli	101, 1262, 1536, 1024
September	1885, 1001, 1536, 1024
April	1737, 1001, 1536, 1024
RBV gesamt	1, 1, 5530, 4125
RBV Graz	401, 2049, 1536, 1536
RBV Radkersb.	1025, 1, 4096, 2048

Tabelle 7.2: Bildfenster des Testausschnittes
(vgl. Abbildung 7.3)

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

Angleichung der Sensorwerte (Gleichung (3.12)) unterworfen. Zeilenausfälle wurden nicht beobachtet. Der Ausgleich der Scherung durch die Erdrotation erfolgte bereits durch die Bodenstation, sodaß hier keine Korrekturen mehr vorgenommen werden mußten. Es ist zu erwarten, daß diese einfachen Vorverarbeitungsschritte in Zukunft schon vor der Auslieferung der Bilddaten standardmäßig erfolgen und der erforderliche Aufwand für den Benutzer sinken wird.

7.4 GEOMETRISCHE BEARBEITUNG

Die in diesem Abschnitt behandelten Schritte zur Erstellung eines Testdatensatzes werden im einzelnen in einem Bericht von Diarra (1984) behandelt. Das zur Entzerrung verwendete Programmsystem RECTIF 1), nunmehr ein Teil des Bildverarbeitungssystems DIBAG, ist in Diarra (1983) dokumentiert. An dieser Stelle werden die wesentlichen Punkte des Arbeitsablaufes kurz zusammengefaßt.

7.4.1 Relative Entzerrung

Die Beziehung zwischen den Bildern des MSS-Sensors wurde durch digitale Bildkorrelation hergestellt. Das Bild "September" wurde als Referenz gewählt. Die relative Verschiebung zwischen zwei Bildausschnitten (im Bildkoordinatensystem) wurde vorerst durch die Identifizierung von zwei homologen Merkmalen (im Nordwesten und im Südosten) bestimmt. Die verbliebene relative Rotationskomponente lag für Bilder aus dem Streifen 205 bei ± 5 Pixel, die Bilder aus Streifen 204 wiesen eine Abweichung von etwa ± 10 Pixel auf. Da die Korrelation auf einen kleinen Bereich beschränkt werden sollte, wurden die Bilder von Juni und Juli bereichsweise korreliert. Die Berechnung der Ähnlichkeitsmaße erfolgte Fenster für Fenster mit Hilfe des Bildverarbeitungssystems und dem in Abschnitt 3.6.4 umrissenen Verfahren. Abbildung 7.5 zeigt die dabei gewonnenen Vektoren.

Die Darstellung der Deformationsvektoren in graphischer Form erlaubt es, rasch Widersprüche aufzudecken und die entsprechenden Paßpunkte zu eliminieren. Im allgemeinen zeigen "Ausreißer" auch einen geringeren Ähnlichkeitskoeffizienten (bei der hier verwendeten Methode der logischen Äquivalenz zwischen binären Masken unter 0.6) als Vektoren, die die relative Verzerrung richtig wiedergeben.

Der korrigierte Paßpunktsatz wurde zur Berechnung des Deformationsgitters verwendet; danach erfolgte die Umbildung für die Bildausschnitte von April, Juni, Juli und Dezember. Zur Bestätigung der genauen Überlagerung wurden danach nochmals die relativ entzerrten Bilder miteinander korreliert. Die verbleibenden Restdeformationen lagen im Mittel bei ± 0.2 Bildpunkten.

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

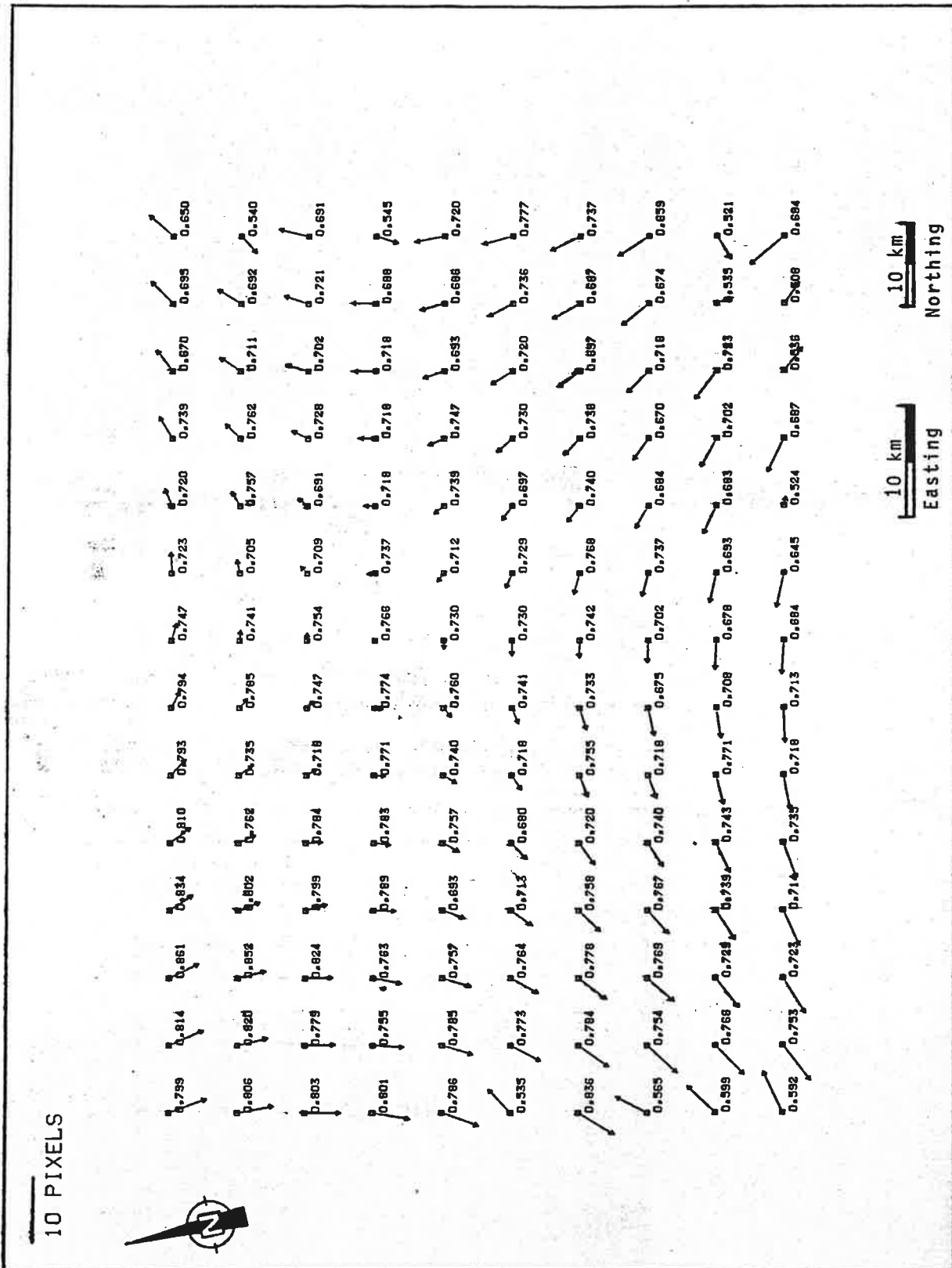


Abbildung 7.5: Beschreibung der relativen Verzerrung zwischen den MSS - Bildern von September und April. Die Deformationsvektoren wurden durch digitale Bildkorrelation gewonnen.

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

7.4.2 Absolute Entzerrung

Für die absolute Entzerrung wurden sowohl für die MSS - als auch für die RBV - Daten Paßpunkte aus den relativ entzerrten Bildern und den entsprechenden Kartenblättern der ÖK 50 entnommen. Es zeigte sich, daß sich im allgemeinen auf RBV - und MSS - Bildern nicht die gleichen Merkmale erkennen ließen. Daher wurden getrennte Paßpunktsätze erstellt.

Die Identifizierung der Punkte in den Bildern erfolgte am Farbbildschirm unter Benutzung der Vergrößerung und einer vom Joystick gesteuerten Sichtmarke. Die Koordinaten der identifizierten Punkte wurden - zusammen mit kurzen Kommentaren - in Dateien gespeichert und auf den Karten markiert.

Die homologen Punkte im Kartensystem wurden danach an einem Digitalisierertisch von den Karten abgenommen. Das hierfür verwendete Programm speichert die Koordinaten zunächst im System (geographische Länge, Breite); danach erfolgt die Umwandlung in das Gauß - Krüger - System. Die Bildpunktgröße in den entzerrten Bildern wurde mit $50 \times 50 \text{ m}^2$ für MSS und mit $25 \times 25 \text{ m}^2$ für RBV festgelegt. Im MSS - Fall ist diese Auflösung besser als die vom Scanner gelieferte. Zur Erreichung eines geokodierten Formates, in dem Beziehungen zwischen Flächen leicht hergestellt werden sollen, ist dies jedoch gerechtfertigt. Zur Überführung der Gauß - Krüger - in Pixelkoordinaten wurde überdies ein neuer Ursprung bei $(-100000, 5150000)$ definiert, der etwa dem südwestlichen (linken unteren) Eckpunkt eines Rechtecks entspricht, das den gewählten Ausschnitt umfaßt.

Aus den derart gewonnenen Paßpunktsätzen (Abbildungen 7.6, 7.7, 7.8) wurden wieder Entzerrungsgitter sowie die Restfehler an den einzelnen Paßpunkten berechnet. In mehreren Iterationen wurden Punkte mit zu großen Abweichungen (typischerweise bei MSS 1 bis 2, bei RBV 3 bis 10 Pixel) aus den Paßpunktsätzen gelöscht und die Gitter wieder neu bestimmt, bis alle Restfehler klein genug erschienen. Tabelle 7.3 gibt eine Übersicht über die ursprünglich gemessenen und die schließlich zur Entzerrung verwendeten Punkte. Bei den RBV - Daten mußte mehr als ein Drittel der Punkte wieder verworfen werden; dies war jedoch wegen der schlechten Identifizierungsmöglichkeiten, die durch die schon in Abschnitt 3.3.3.2 beschriebenen radiometrischen Eigenschaften der

BILD	Anzahl Paßpunkte		Prozentsatz zurückgewiesener Paßpunkte
	vor Zurückweisung	nach	
MSS-Ausschnitte	284	213	25
RBV-Graz	51	33	36
RBV-Radkersburg	164	101	39

Tabelle 7.3: Paßpunkte für die absolute Entzerrung

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

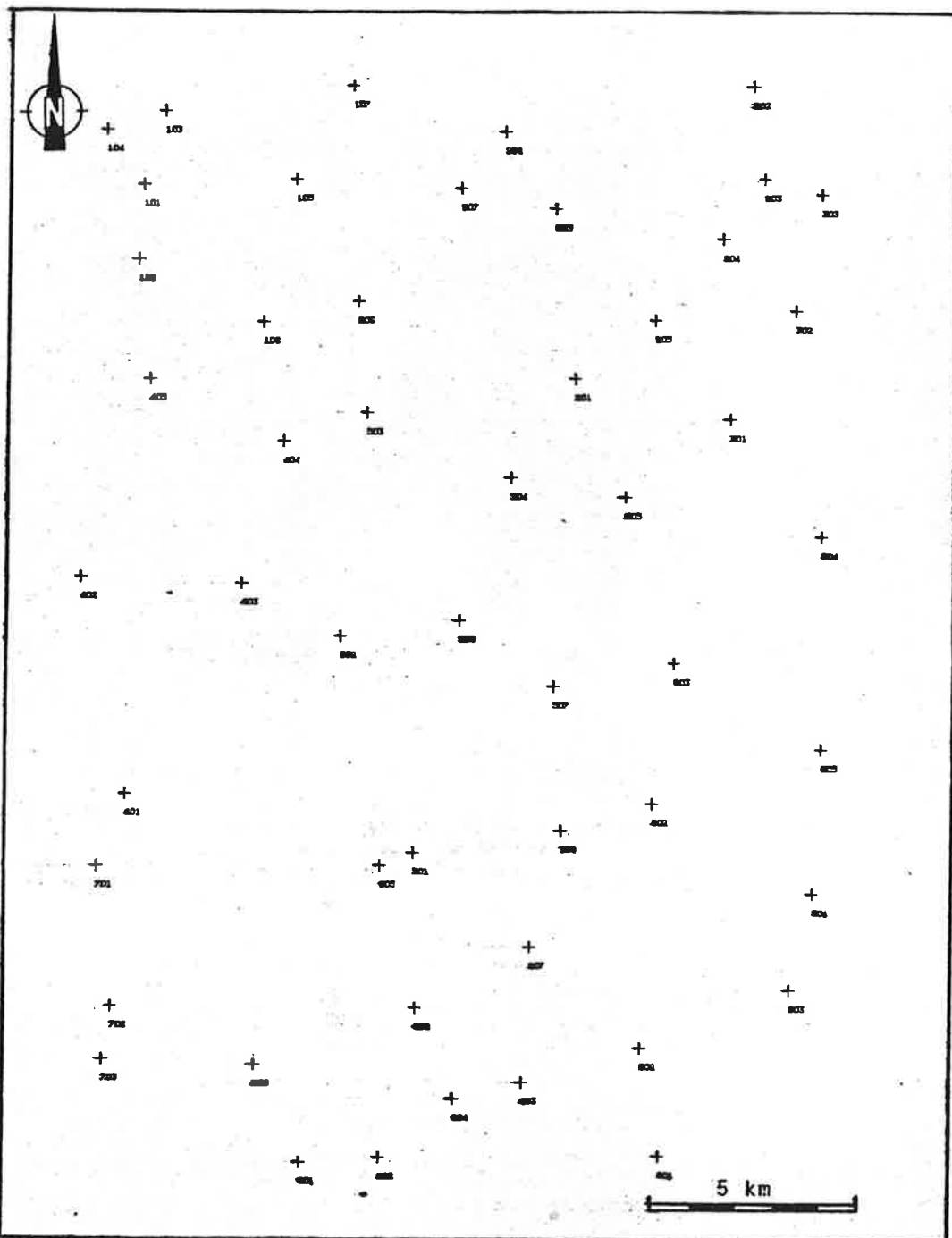


Abbildung 7.7: Paßpunktverteilung für das RBV - Bild, Ausschnitt GRAZ.
(Gauß - Krüger - System)

Die Herstellung der entzerrten Bilder erfolgte von den Originaldaten, um eine durch zweimalige Umbildung (erst relative, dann absolute Entzerrung) bedingte Informationsverfälschung zu vermeiden. Die Herstellung der geometrischen Beziehungen zwischen den MSS-Bildern von April, Juni, Juli und Dezember, die zunächst dem September - Bild relativ überlagert worden waren, erfolgte daher durch Verknüpfung des durch Bildkorrelation gewonnenen mit dem über den Paßpunktsatz

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

berechneten Gitter.

Abschließend wurden zwei Bereiche gewählt, für die dann entzerrte Bilder erstellt wurden:

- (a) das Gebiet, das durch Blatt 164 (GRAZ) der ÖK 50 bedeckt wird (420 x 600 Bildpunkte);
- (b) das Gebiet des Bezirks BAD RADKERSBURG (768 x 512 Bildpunkte).

Die Umbildung des Bereiches GRAZ nahm - auf dem Rechner VAX 11/750 bei laufendem Mehrbenutzerbetrieb - pro Einzelbild etwa zwei Stunden in Anspruch. Dieser Wert ist sicherlich nicht zufriedenstellend, läßt sich jedoch durch den Ausbau der Zentralspeicherkapazität noch verbessern. Der Bildverarbeitungsprozessor ist für dieses Verfahren nicht einsetzbar, da dessen Verarbeitungsstruktur für den hier notwendigen direkten Zugriff auf einzelne Punkte nicht abgestimmt ist.

Beispiele für entzerrte MSS - Bilder sind an vielen Stellen dieser Arbeit zu finden. Den Ausschnitt GRAZ des RBV - Bildes zeigt Abbildung 7.9. Die Bewertung der relativen Genauigkeit der absolut entzerrten Bilder erfolgte wieder durch digitale Bildkorrelation. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7.4 zusammengefaßt. Zwischen den MSS - Bildern verblieb eine unterhalb der Größe eines Bildpunktes liegende Abweichung, zwischen MSS - und RBV - Daten lag der Fehler etwa in der Bildpunktgröße des MSS - Bildes. Damit wurde das angestrebte Resultat erreicht; es entspricht den in der Literatur als erzielbar berichteten Ergebnissen.

Die gemeinsame Darstellung multispatialer Bilder - im vorliegenden Fall MSS (50 m) und RBV (25 m) soll abschließend illustriert werden (Abbildung 7.10). Zunächst sind die entsprechenden Ausschnitte der durch die beiden Geräte erzeugten Bilder gegenübergestellt, wobei das MSS - Bild nach Vergrößerung 2:1 (256 x 256 Punkte) dem RBV - Ausschnitt (512 x 512 Punkte) entspricht. Im RBV - Bild treten im besiedelten Gebiet größere Objekte noch hervor, die in den MSS - Daten nicht mehr sichtbar sind. Die Überlagerung kann nun in Farbe oder, wie hier, durch einfache Addition der Grauwerte erfolgen. Es entsteht ein Bild, das sowohl flächenhafte als auch strukturelle Information enthält. Obwohl die schlechte Qualität der RBV - Daten eine Verwendung zur automatischen Analyse verhindert, zeigt der methodische Ansatz eine Erweiterung der Möglichkeiten der Datenerhebung aus multispatialen Bildern auf. Für das SPOT - System (10 m Auflösung panchromatisch, 20 m multispektral) steht mit dieser Art der Überlagerung ein wesentliches Verfahren zur Informationsaufbereitung zur Verfügung.

7.4.3 Diskussion

Die in dieser Arbeit verwendete Entzerrungsmethodik folgt grundsätzlich bekannten Verfahren. Ein großes Hemmnis stellt dabei die zeitraubende Identifizierung von Paßpunkten dar. Zunächst fehlen hier noch Bewertungskriterien, welche Bilder bzw. abgeleiteten Bilder sich

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

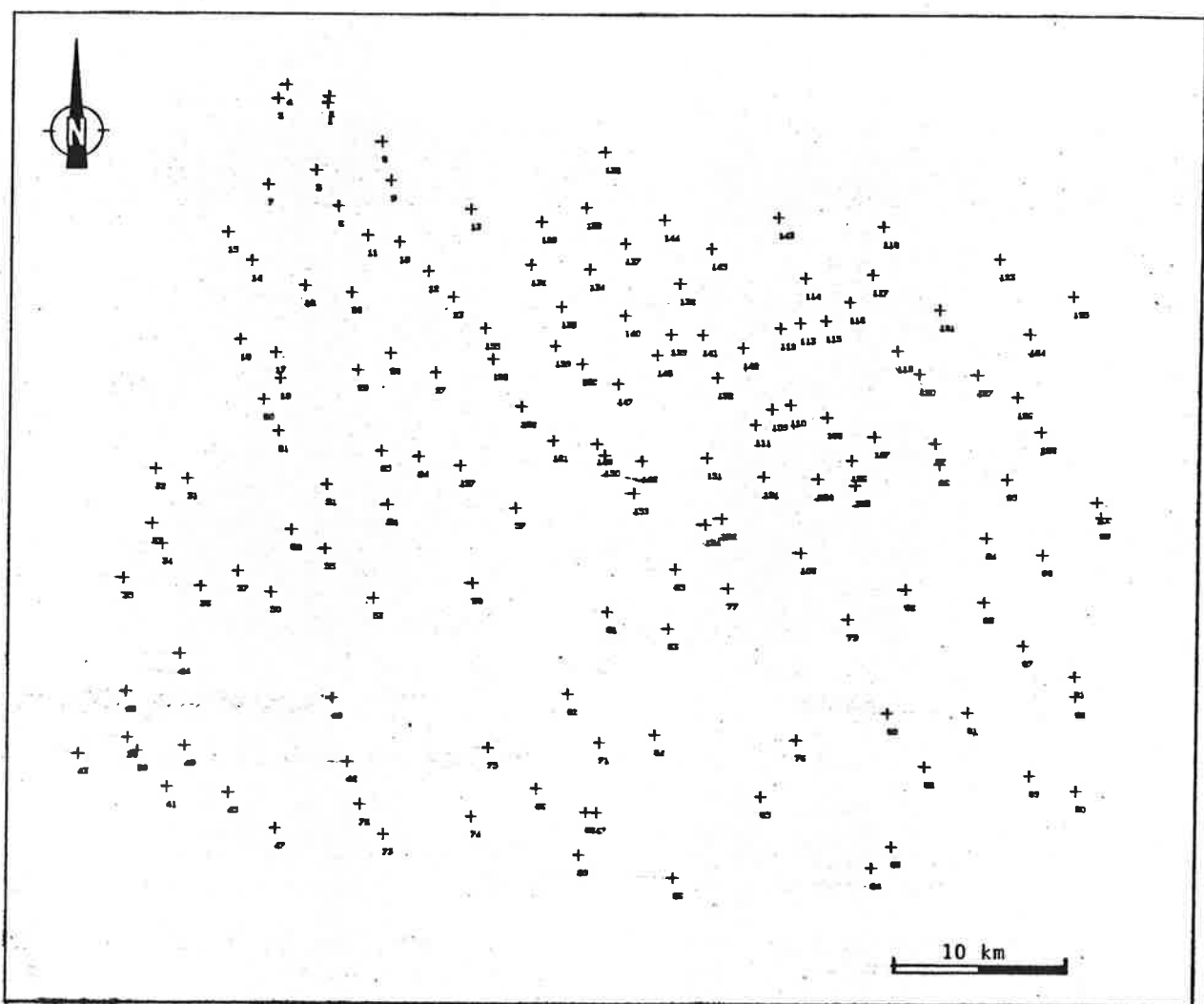


Abbildung 7.8: Paßpunkte des RBV - Bildes, Ausschnitt BAD RADKERSBURG.

für die verlässliche Erkennung von Punkten am besten eignen. Auch die

Bild	April	Juni	Juli	September	Dezember	RBV
April	-					
Juni	16	-				
Juli	17	14	-			
September	5	14	15	-		
Dezember	19	13	22	15	-	
RBV	27	27	23	30	29	-

Tabelle 7.4: Mittlere Fehler bei der absoluten Entzerrung zwischen den Einzelbildern im Ausschnitt GRAZ (in Metern)

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

automatische Erkennung fehlerhafter Punkte wurde noch nicht durchgeführt.

Wesentlicher jedoch erscheint der Ansatz, anstelle von Punkten Merkmale des Bildes, seien sie flächen- oder linienhafter Natur, zur Gewinnung von geometrischen Beziehungen zu verwenden. Die digitale Bildkorrelation ist ein Schritt in diese Richtung, setzt jedoch eine annähernd ähnliche Geometrie der zu vergleichenden Bilder voraus. Da digitale Karten in zunehmendem Umfang zur Verfügung stehen, erhebt sich die Frage, inwieweit die in ihnen enthaltene Information zur Beschreibung der Bilddeformationen in Anspruch genommen werden kann. Der Vergleich von Inhalten eines segmentierten Bildes mit den Inhalten von Karten, auch unter Einbeziehung von digitalen Geländemodellen, bietet hier noch ein weites Feld für Untersuchungen.

7.5 ÜBERLAGERUNG VON KARTENDATEN

7.5.1 Digitales Geländemodell

Das digitale Geländemodell (vgl. Abschnitt 5.1) wird grundsätzlich auf der Basis der Blattschnitte der Österreichischen Karte 1:50000 (ÖK 50) hergestellt. Die Vektordaten der Schichtenlinien werden dabei zunächst im kartesischen System des Abtastgerätes gespeichert. Die Eckpunkte jedes Blattes sind mit Paßkreuzen markiert und daher in ihrer Lage bekannt. Die Transformation in das (ebenfalls kartesische) Gauß - Krüger - System kann daher durch die Helmert-Abbildung

(7.1)

$$x' = ax + by + c$$

$$y' = -bx + ay + d$$

durchgeführt werden. Da die Diskretisierung in Einheiten der transformierten Koordinaten erfolgt, wurden auch hier die bereits beschriebenen Skalierungen angewandt, um (x', y') im Bildkoordinatensystem angeben zu können. Die Erstellung des Höhenmodells erfolgte daher nach der Zuweisung der Höheninformation zu den Schichtenlinien in folgenden Schritten:

- (a) Bestimmung der Gauß-Krüger-Koordinaten der Ecken des Kartenblattes aus den bekannten Größen geographische Länge und Breite
- (b) Modifikation der Gauß-Krüger-Koordinaten durch Ursprungsverschiebung in den Punkt $(-100000, 5150000)$ und Skalierung auf Einheiten von 50 m
- (c) Bestimmung der Parameter der Helmert-Transformation (7.1) aus den 4 Paßpunkten an den Ecken des Kartenblattes (Koordinatensystem des Abtastgerätes und modifiziertes Gauß-Krüger-System)

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

- (d) Transformation der vektoriellen Darstellung der Höhenschichtlinien in das modifizierte Gauß-Krüger-System durch die Helmert-Transformation
- (e) Rasterung und Interpolation mit den Verfahren des GTM-Systems
- (f) Überführung der Datenstrukturen des GTM in die Datenstruktur des Bildverarbeitungssystems DIBAG.

Soll ein Höhenmodell aus Teilbereichen mehrerer Kartenblätter zusammengestellt werden, dann werden die Punkte (a) bis (d) für jedes Kartenblatt gesondert durchgeführt. Danach werden die Dateien mit den transformierten Vektordaten zu einer einzigen Datei verschmolzen. Aus dieser Datei kann ein rechteckiger Ausschnitt für die Rasterung und Interpolation ausgewählt werden. Das Aneinanderfügen von bereits im Raster vorliegenden Teilmodellen ist zwar möglich, jedoch können an den Stößen Unstetigkeiten auftreten, da die Ränder der Bereiche mit gültigen Daten wegen der Meridiankonvergenz des Gauß-Krüger-Systems nicht genau in Zeilen- bzw. Spaltenrichtung des Rasters verlaufen.

Für den Bereich des Kartenblattes 164 (Graz) wurden mit einem Höhenmodell Experimente zur Feststellung von Beleuchtungseinflüssen durchgeführt. In weiterer Folge soll die Anwendbarkeit zur radiometrischen Korrektur der Bildwerte (Abschnitt 3.3.3) untersucht werden. Die Berechnung eines Bildes mit synthetischer Beleuchtung erfolgt in vier Schritten:

- (a) Bestimmung des Sonnenstandes (Angaben aus den Begleitdaten des digitalen Bildes laut Tabelle 7.1 oder willkürliche Annahme) von Azimut und Sonnenhöhe
- (b) Errechnung einer Binärmaske, die die im Licht bzw. im Schatten liegenden Bildteile markiert.
- (c) Bestimmung der Komponenten der Normalvektoren für jeden Punkt des Geländemodells.
- (d) Zuweisung von Intensitäten zu den durch die in (b) berechnete Maske bestimmten Punkten des Beleuchtungsbildes entsprechend einem Beleuchtungsmodell.

Die Berechnung der Maske in Schritt (b) ist zur Bestimmung des Schlagschattens notwendig. Der Eigenschatten eines Objektes läßt sich lokal aus dem Winkel zwischen Normalvektor und dem Vektor in Beleuchtungsrichtung (Einfallswinkel e) bestimmen. Ist dieser Winkel größer als 90° , dann liegt der Bildpunkt im Eigenschatten. Für die Berechnung der Lage des Schlagschattens ist die Kenntnis globaler Verhältnisse im Bild notwendig (Abbildung 7.11).

Der Algorithmus zur Bestimmung der Schattenpartien beruht auf der Idee eines "wandernden Horizonts" (Abbildung 7.12). Der Horizont ist eine Folge von Höhenangaben, die mit den Höhenangaben in den Spalten des

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

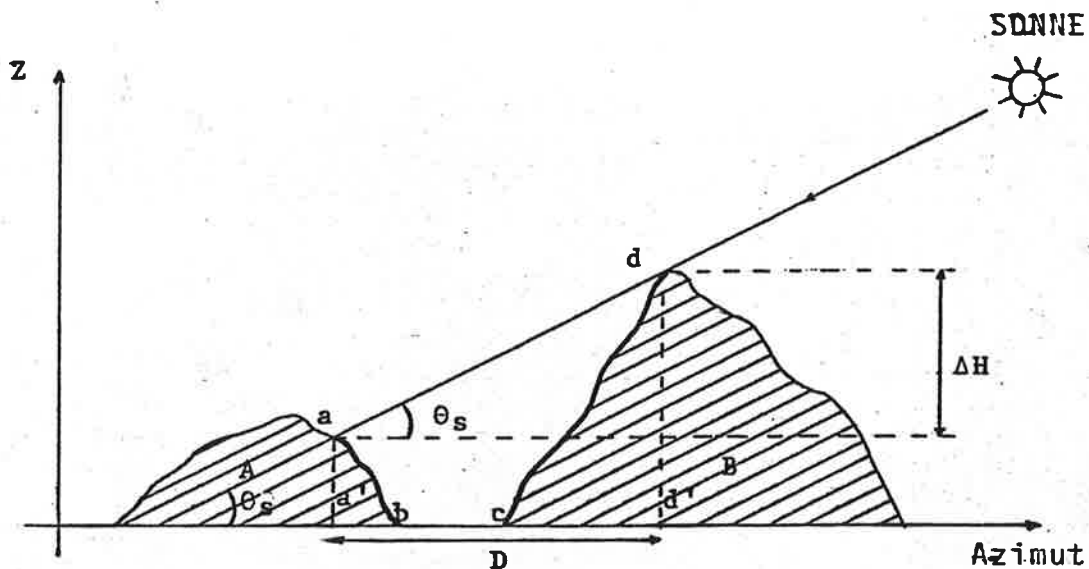


Abbildung 7.11: Beispiel für Eigen- und Schlagschatten.
 c - d : Eigenschatten, a - b : Schlagschatten
 Auf der Strecke D "sinkt" der Horizont um ΔH

Geländemodells verglichen werden. Das Verfahren läuft folgendermaßen ab:

- (a) (Initialisierung): Der erste Horizont wird aus den Höhen der südlichsten Zeile des Modells gebildet; mangels weiterer Information werden diese Punkte als sichtbar gekennzeichnet.
- (b) (Verschiebung des Horizontes): Der Horizont wird um eine Zeile nach Norden versetzt. Dabei ändert sich die Spaltenlage der Punkte gemäß dem Azimut um eine (im allgemeinen nicht ganzzahlige) Verschiebung. Neue Höhenwerte werden aus den benachbarten interpoliert und danach um eine Konstante vermindert, die aus der Sonnenhöhe und dem Abstand zweier Zeilen in Einheiten der Höhenangaben bestimmt ist. Der Horizont "sinkt".
- (c) (Vergleich): Die Werte der aktuellen Zeile des Geländemodells (g) werden mit den korrespondierenden Werten des Horizonts (h) verglichen. Ist $g-h$ nicht negativ, dann wird der Punkt als sichtbar gekennzeichnet und sein Höhenwert in den Horizont übernommen. Ist $g-h$ negativ, dann liegt der Punkt unsichtbar unter dem Horizont.
- (d) Die Schritte 2 und 3 werden für alle Zeilen des Geländemodells durchgeführt.

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

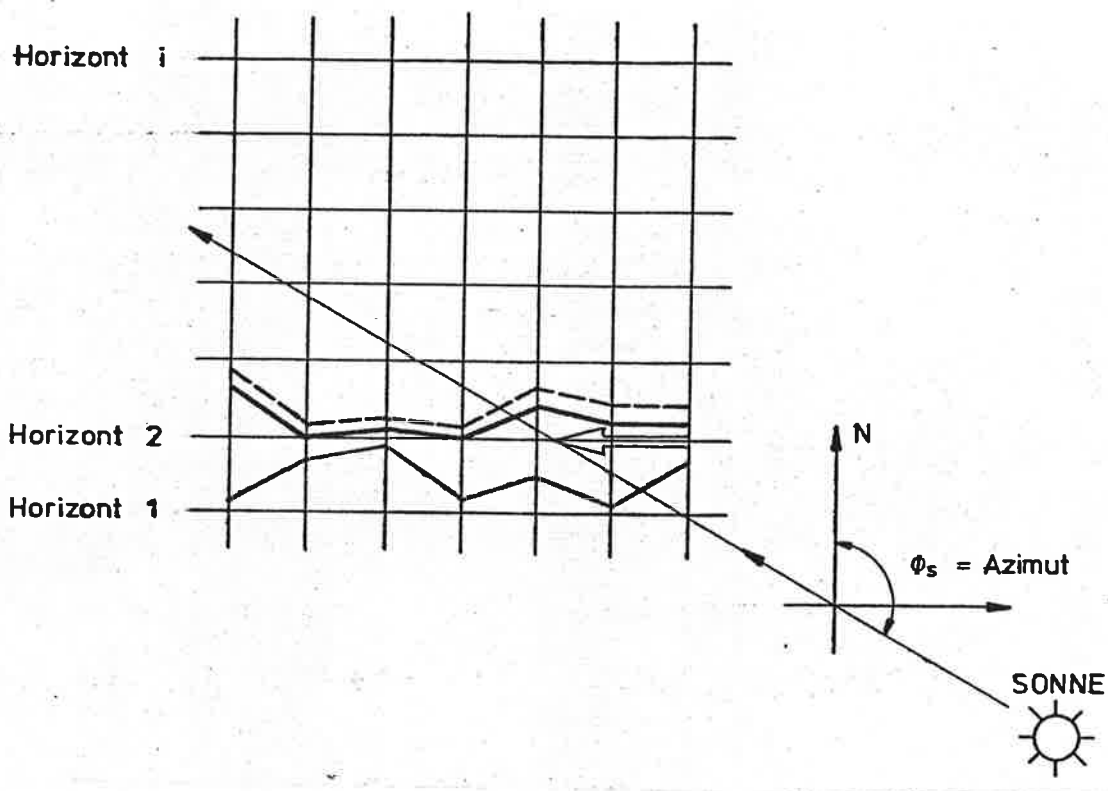


Abbildung 7.12: Prinzip des wandernden Horizontes (siehe Text).

Abbildung 7.13 zeigt die Schattenbereiche für die Beleuchtungsverhältnisse bei der Aufnahme von zwei der fünf MSS-Bilder (September und Dezember). Das bei der Berechnung der Beleuchtungswerte verwendete Modell ist von Shibata u.a. (1981) beschrieben und verwendet Konstanten zur Modellierung von Vorwärts- und Rückwärtsstreuung:

(7.2)

$$R = (k_1 + (1-k_1)(k_2 \cos \alpha + (1-k_2) \cos \beta)) \cos \gamma$$

mit

\underline{s} ... Einheitsvektor zur Sonne
 \underline{n} ... Einheitsvektor der Ebenennormale
 \underline{c} ... Einheitsvektor zur Kamera

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \underline{s} \underline{n} \\ \cos \beta &= \underline{s} \underline{c} \\ \cos \gamma &= 2 (\underline{s} \underline{n}) (\underline{c} \underline{n}) - (\underline{s} \underline{c}) \end{aligned}$$

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

- k1 ... Koeffizient der diffusen Reflexion der Oberfläche
- k2 ... Koeffizient der Vorwärtsstreuung der Oberfläche
- m ... Modell für Vorwärtsstreuung
- n ... Modell für Rückwärtsstreuung

Die Einführung anderer Modelle ist für künftige Anwendungen jederzeit möglich. Ein Bild mit synthetischer Beleuchtung ist in Abbildung 7.14 dargestellt.

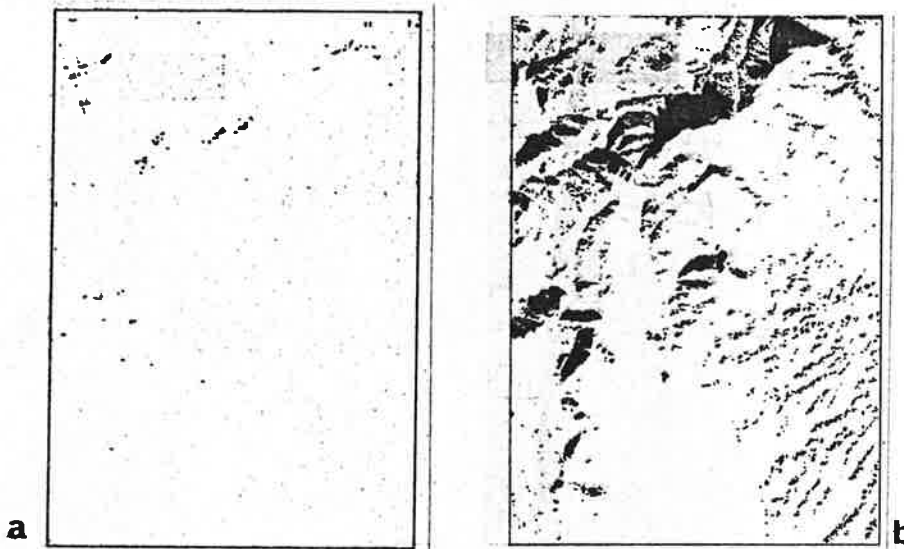


Abbildung 7.13: Sichtbarkeitsmasken. (a) September (b) Dezember
(ÖK 50, Blatt 164, GRAZ)

Die Komponenten der Normalvektoren werden in Bildform abgelegt. Dadurch lassen sich weitere Daten für die Auswertung gewinnen, etwa Geländeneigung oder Exposition von Geländepunkten. Solche Informationen sind beispielsweise für die Raumplanung von Interesse (Tischler u.a., 1984).

7.5.2 Topographische und thematische Karten

Zu dem in Abschnitt 5.2 beschriebenen Geoinformationssystem DESBOD wurde eine Schnittstelle hergestellt, über die beliebige Punkte-, Linien- oder Flächeninformation in bildkompatible Rasterdarstellung gebracht werden kann. DESBOD verwendet im allgemeinen eine Koordinatendarstellung in geographischer Länge und Breite. Die Grundlage der Erfassung bildet, wie im Programmsystem GTM, die Blatteinteilung der ÖK 50.

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

Zur Überleitung der Kartendaten wurden sowohl parametrische Ansätze (Länge/Breite in Gauß-Krüger mit nachfolgender Modifikation) als auch polynomiale Ansätze mit Vorgabe von Paßpunkten getestet. Die erste Methode wird bevorzugt bei der Überlagerung von Kartendaten mit bereits auf geographische Koordinaten entzerrten Bildern Anwendung finden, die zweite Methode eignet sich für die Projektion auf geometrisch nicht korrigierte Bilddaten zur Erleichterung der Orientierung.

Die Genauigkeit der Vektordaten übertrifft wegen des großen Maßstabs der Kartenvorlagen die für die Überlagerung erforderliche Genauigkeit, die im wesentlichen durch die Bildpunktausmaße bestimmt ist. Beim operationellen Einsatz von Kartendaten wird daher im allgemeinen eine Generalisierung der Kartendaten erforderlich werden. Dadurch sinkt nicht nur der erforderliche Aufwand bei der Transformation, es wird auch ein möglicherweise verwirrendes Zuviel an Informationen vermieden.

7.6 VERSUCHE ZUR AUTOMATISCHEN KLASSIFIZIERUNG

Die Versuche zur automatischen Klassifizierung dienten der Verifizierung der entwickelten Programme und der Gewinnung von Erfahrungen für die Vorgangsweise bei konkreten Problemstellungen. Daneben sollten Erkenntnisse für die weitere Ausgestaltung der Benutzerschnittstelle in Richtung auf eine komfortable Handhabung des Systems und für die Formulierung von Anforderungen an die parallel entwickelten Systeme zur Gewinnung von digitalen Kartendaten gewonnen werden. Grundlage der Versuche war der Bildausschnitt Graz des entzerrten Datensatzes. (vgl. Abbildung 3.23)

7.6.1 Klassenwahl und Trainingsgebiete

Für die Klassifizierungsversuche auf Einzelbildern wurden vorerst sechs Klassen definiert: dichte Bebauung (City), Siedlung, Laubwald (umfaßt hier auch Mischwald), Nadelwald, Felder, Brachland. Der Bildausschnitt enthält an Gewässern nur den Fluß Mur, der, wie Versuche mit dem interaktiven Systemteil zeigten, keine charakteristischen Merkmale auf den entzerrten Bildern aufwies und nicht klassifizierbar war. Die Klasse Gewässer wurde daher nicht definiert.

Da die Zielsetzung nicht die Erlangung quantitativ aussagefähiger Bodenbedeckungs- bzw. Nutzungsdaten war, wurden keine Feldbegehungen durchgeführt. Die Trainingsgebiete wurden vielmehr aus einer Reihe von verschiedenen Einzelbildern bzw. aus diesen abgeleiteten Bildern durch die Betrachtung spektraler Eigenschaften und Kontraste sowie durch die vorhandene Ortskenntnis festgelegt. Für die Klasse 'City' wurde ein Bereich der Grazer Innenstadt gewählt. Die Klasse 'Siedlung' wurde durch ein Villengebiet im Westen der Stadt charakterisiert; hier herrschen Mischsignaturen aus Straßen- Haus- und Vegetationsmustern vor. Laub- und Nadelwald wurden aus Gebieten mit entsprechender Textur bestimmt, wobei Laubwald zumeist höhere Reflexionswerte aufweist. Felder wurden in einem Gebiet mit landwirtschaftlicher Nutzung identifiziert. Als typisches Brachland wurde eine Baustelle

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

herangezogen. Abbildung 7.15 stellt die Trainingsgebiete dar.

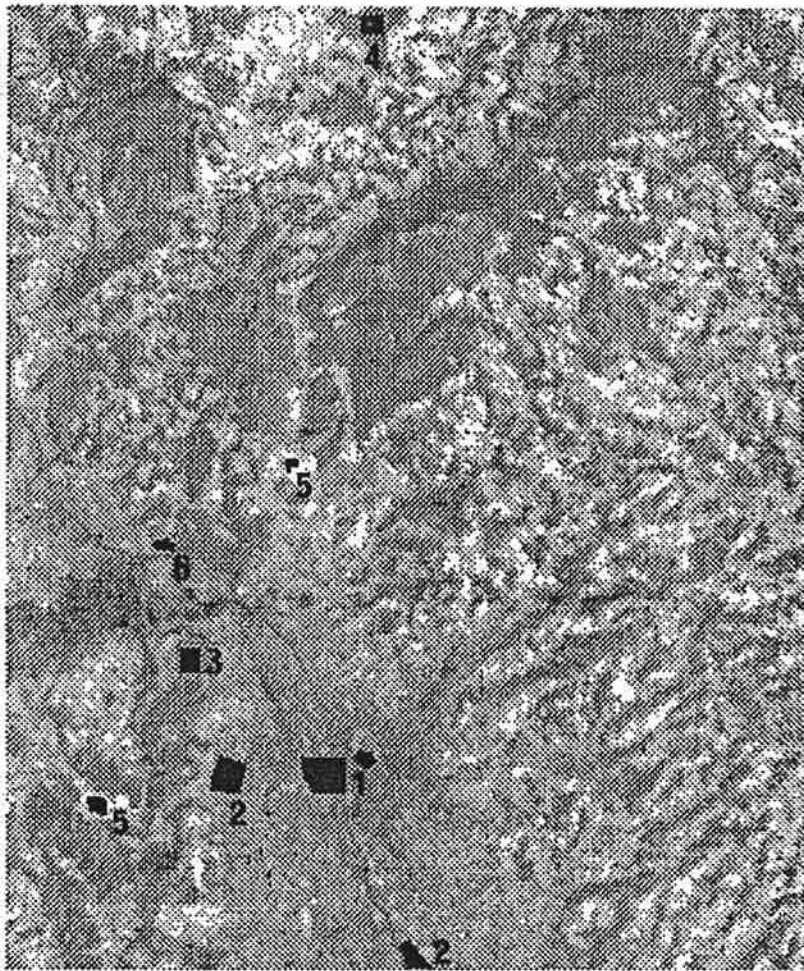


Abbildung 7.15: Lage der Trainingsgebiete (vgl. Abbildung 3.23).
1 - City; 2 - Siedlung; 3 - Laubwald; 4 - Nadelwald; 5 - Felder;
6 - Brachland

Die Zahl der reinen Pixel, das sind Pixel, die die Signatur der Klasse gut repräsentieren, ist relativ groß für die Waldklassen; wegen der kleinräumig wechselnden Bodennutzung ist ihre Zahl in der Klasse 'Felder' gering. Auch das Verfahren der Grauwertzuweisung bei der Entzerrung, in diesem Fall die bilineare Interpolation, führt zu weiteren Mischpixeln. Das Verhältnis von reinen Pixeln und Mischpixeln im Trainingsgebiet ist bei der vorliegenden Auflösung und bei kleinflächigen Objekten schlecht; mit einer Verbesserung der Auflösung ist jedoch eine starke Verbesserung dieses Verhältnisses zu erwarten, wodurch bei Aufnahmen von LANDSAT-4 Thematic Mapper und SPOT eine genaue Charakterisierung der Klassen sowie eine größere Klassenzahl möglich wird.

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

CLASSIFICATION OF TRAINING AREAS 4 FEATURES				CLASSIFICATION OF TRAINING AREAS 6 CLASSES REJECTION DISTANCE				CLASSIFICATION OF TRAINING AREAS 6 CLASSES REJECTION DISTANCE				CLASSIFICATION OF TRAINING AREAS 6 CLASSES REJECTION DISTANCE																	
				5.00				5.00				5.00																	
CITY	0	430	29	0	0	0	12	471	91.30	CITY	0	441	29	0	0	0	1	471	93.63	CITY	0	427	32	0	0	0	12	471	90.66
SIEDLUNG	0	25	377	0	0	0	2	404	93.32	SIEDLUNG	0	34	363	0	0	0	3	404	89.85	SIEDLUNG	0	25	377	0	0	0	2	404	93.32
LAUBWALD	0	2	0	128	0	0	0	130	98.46	LAUBWALD	0	0	2	127	1	0	0	130	97.69	LAUBWALD	0	2	0	128	0	0	0	130	98.46
NADELWALD	0	0	0	2	118	0	0	120	98.33	NADELWALD	0	0	0	0	1	119	0	120	99.17	NADELWALD	0	0	0	3	117	0	0	120	97.50
FELDER	0	0	0	0	0	110	0	110	100.00	FELDER	0	0	0	0	0	110	0	110	100.00	FELDER	0	0	0	0	0	110	0	110	100.00
BRACHLAN	0	0	0	0	0	0	52	52	100.00	BRACHLAN	0	0	0	0	0	0	52	52	100.00	BRACHLAN	0	0	0	0	0	0	52	52	100.00
SUM	0	457	406	130	118	110	66	1287	94.41	SUM	0	475	394	128	120	113	57	1287	94.17	SUM	0	454	409	131	117	110	66	1287	94.09
CLASSIFICATION OF TRAINING AREAS 4 FEATURES										CLASSIFICATION OF TRAINING AREAS 4 FEATURES										CLASSIFICATION OF TRAINING AREAS 2 FEATURES									
										5.00										4.00									
CITY	2	443	24	0	0	0	2	471	94.06	CITY	0	430	28	0	0	0	13	471	91.30	CITY	0	427	32	0	0	0	12	471	90.66
SIEDLUNG	0	39	359	0	0	0	4	404	88.86	SIEDLUNG	0	27	376	0	0	1	0	404	93.07	SIEDLUNG	0	25	377	0	0	0	2	404	93.32
LAUBWALD	0	0	2	127	1	0	0	130	97.69	LAUBWALD	0	1	0	129	0	0	0	130	99.23	LAUBWALD	0	2	0	128	0	0	0	130	98.46
NADELWALD	0	0	0	4	116	0	0	120	96.67	NADELWALD	0	0	0	0	120	0	0	120	100.00	NADELWALD	0	0	0	3	117	0	0	120	97.50
FELDER	0	0	1	0	0	109	0	110	99.09	FELDER	0	0	0	0	0	110	0	110	100.00	FELDER	0	0	0	0	0	110	0	110	100.00
BRACHLAN	0	0	0	0	0	0	52	52	100.00	BRACHLAN	0	5	0	0	0	0	47	52	90.38	BRACHLAN	0	0	0	0	0	0	52	52	100.00
SUM	2	482	386	131	117	113	56	1287	93.71	SUM	0	463	404	129	120	111	60	1287	94.17	SUM	0	454	409	131	117	110	66	1287	94.09
CLASSIFICATION OF TRAINING AREAS 2 FEATURES										CLASSIFICATION OF TRAINING AREAS 6 CLASSES REJECTION DISTANCE										CLASSIFICATION OF TRAINING AREAS 6 CLASSES REJECTION DISTANCE									
										3.00										4.00									
CITY	2	425	32	0	0	0	12	471	90.23	CITY	0	427	32	0	0	0	12	471	90.66	CITY	0	427	32	0	0	0	12	471	90.66
SIEDLUNG	0	25	377	0	0	0	2	404	93.32	SIEDLUNG	0	25	377	0	0	0	2	404	93.32	SIEDLUNG	0	25	377	0	0	0	2	404	93.32
LAUBWALD	3	1	0	126	0	0	0	130	96.92	LAUBWALD	0	0	0	128	0	0	0	130	98.46	LAUBWALD	0	0	0	128	0	0	0	130	98.46
NADELWALD	0	0	0	3	117	0	0	120	97.50	NADELWALD	0	0	0	0	3	117	0	120	97.50	NADELWALD	0	0	0	3	117	0	0	120	97.50
FELDER	2	0	0	0	0	108	0	110	98.18	FELDER	0	0	0	0	0	110	0	110	100.00	FELDER	0	0	0	0	0	110	0	110	100.00
BRACHLAN	0	0	0	0	0	0	52	52	100.00	BRACHLAN	0	0	0	0	0	0	52	52	100.00	BRACHLAN	0	0	0	0	0	0	52	52	100.00
SUM	7	451	409	129	117	108	66	1287	93.63	SUM	0	454	409	131	117	110	66	1287	94.09	SUM	0	454	409	131	117	110	66	1287	94.09

Tabelle 7.5: Klassifizierung der Trainingsgebiete - 6 Klassen

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

CLASSIFICATION OF TRAINING AREAS										CLASSIFICATION OF TRAINING AREAS											
4 FEATURES					6 CLASSES					REJECTION DISTANCE					3.00						
CITY	18	415	27	0	0	0	0	11	471	88.11	CITY	37	105	29	0	0	0	0	0	471	85.99
SIEDLUNG	17	24	361	0	0	0	0	2	404	89.36	SIEDLUNG	26	31	347	0	0	0	0	0	404	85.89
LAUBWALD	8	0	0	122	0	0	0	0	130	93.85	LAUBWALD	7	0	0	122	0	1	0	0	130	92.85
NADELWALD	7	0	0	0	113	0	0	0	120	94.17	NADELWALD	2	0	0	0	1	117	0	0	120	97.50
FELDER	7	0	0	0	0	103	0	0	110	93.64	FELDER	4	0	0	0	0	0	106	0	110	96.36
BRACHLAN	3	0	0	0	0	0	0	19	52	94.23	BRACHLAN	4	0	0	0	0	0	0	48	52	92.31
SUM	60	439	388	122	113	103	0	62	1287	90.37	SUM	80	436	376	123	118	106	0	48	1287	88.97

CLASSIFICATION OF TRAINING AREAS										CLASSIFICATION OF TRAINING AREAS											
4 FEATURES					6 CLASSES					REJECTION DISTANCE					3.00						
CITY	29	420	22	0	0	0	0	0	471	89.17	CITY	20	413	25	0	0	0	0	13	471	87.69
SIEDLUNG	24	31	347	0	0	0	0	1	404	85.89	SIEDLUNG	25	23	356	0	0	0	0	0	404	88.12
LAUBWALD	5	0	0	125	4	0	0	0	130	96.15	LAUBWALD	8	0	0	122	0	0	0	0	130	93.85
NADELWALD	3	0	0	0	113	0	0	0	120	94.17	NADELWALD	5	0	0	0	114	0	0	0	120	95.00
FELDER	9	0	0	0	0	101	0	0	110	91.82	FELDER	5	0	0	0	0	0	105	0	110	95.45
BRACHLAN	6	0	0	0	0	0	0	46	52	88.46	BRACHLAN	3	5	0	0	0	0	0	44	52	84.62
SUM	76	451	369	129	113	102	0	47	1287	89.51	SUM	67	441	381	122	114	105	0	57	1287	89.67

CLASSIFICATION OF TRAINING AREAS										CLASSIFICATION OF TRAINING AREAS												
4 FEATURES					6 CLASSES					REJECTION DISTANCE					3.00							
CITY	18	362	20	0	0	0	0	71	471	76.86	CITY	11	109	146	0	0	0	0	138	404	36.14	
SIEDLUNG	11	109	146	0	0	0	0	0	138	404	36.14	SIEDLUNG	5	0	0	117	6	0	0	2	130	90.00
LAUBWALD	5	0	0	0	0	0	0	4	113	94.17	LAUBWALD	3	0	0	0	0	0	0	0	120	94.17	
NADELWALD	3	0	0	0	0	0	0	0	100	90.91	NADELWALD	8	0	0	0	0	0	0	2	110	90.91	
FELDER	8	0	0	0	0	0	0	0	49	52	94.23	FELDER	2	1	0	0	0	0	0	49	52	94.23
BRACHLAN	2	1	0	0	0	0	0	0	49	52	94.23	BRACHLAN	2	1	0	0	0	0	0	49	52	94.23
SUM	47	472	166	121	119	100	0	262	1287	68.92	SUM	47	472	166	121	119	100	0	262	1287	68.92	

Tabelle 7.5: Klassifizierung der Trainingsgebiete - 6 Klassen

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

Für die definierten Trainingsgebiete wurden die zur Klassifizierung notwendigen statistischen Schätzungen errechnet. Danach wurden zunächst die Trainingsgebiete selbst klassifiziert. Tabelle 7.5 zeigt die Ergebnisse. Bei einer Rückweisungsschwelle von 3 werden etwa 5 Prozent der Trainingspixel nicht klassifiziert (Spalte 1), wird die Schwelle mit 5 festgesetzt, dann sind praktisch alle Pixel einer Klasse zugeordnet. Die Anzahl der richtig klassifizierten Pixel liegt im ersten Fall bei knapp 90 Prozent, im zweiten Fall bei 94 Prozent. Nur das Bild vom Dezember fällt in dieser Bewertung mit 69 Prozent stark ab, da die Schneebedeckung spektrale Differenzierungen, vor allem bei den Klassen City und Siedlung, nicht mehr zuläßt. Werden als Merkmale die ersten beiden Hauptkomponenten des April-Bildes herangezogen, so ergibt sich ebenfalls ein hoher Prozentsatz von richtig zugeordneten Trainingspixeln (94 Prozent bei einer Rückweisungsschwelle von 4). Hier muß nochmals festgehalten werden, daß diese Abschätzung im allgemeinen optimistische Werte ergibt, die in dieser Höhe nach Klassifizierung des gesamten Bildes nicht mehr zu erwarten sind.

Zur multitemporalen Klassifizierung wurden weitere Klassen definiert. Zur Berücksichtigung der topographischen Einflüsse, die vor allem bei der Klasse Laubwald im betrachteten Gebiet zu einer größeren Varianz der Merkmalswerte führen, wurde diese in zwei Teilklassen aufgespalten, deren Trainingsgebiete auf sonnenzugewandten bzw. sonnenabgewandten Hängen gewählt wurden. Die Klasse Felder wurde in vier neue Klassen, Feld 1, Feld 2, Feld 3 und Feld 4 differenziert. Die Trainingsgebiete wurden auf einem Farbbild definiert, dessen Teilbilder aus den Kanälen 7 des April- Juni- und Julibildes bestehen (vgl. Abbildung 3.26 für einen anderen Bildausschnitt). In dieser Darstellung äußern sich Verschiebungen der Vegetationsentwicklung durch Farbunterschiede. Beispielsweise erscheinen Maisanbauflächen in Blautönen, da Mais erst Anfang Juli einen entsprechenden Vegetationsstand erreicht. Die vier Feldtypen wurden allein nach Farbdifferenzen definiert, die entsprechenden Klassenbezeichnungen wurden nicht festgestellt. Abbildung 7.16 stellt die multitemporalen Bildwerte für Repräsentanten dieser Klassen dar.

Die Klassifizierung der Trainingsgebiete wurde zum Vergleich einmal für die vier Kanäle des Aprilbildes, zum anderen für die jeweils beiden ersten Hauptkomponenten der Bilder von April, Juni, Juli und September durchgeführt, also für insgesamt acht Merkmale. Aus Tabelle 7.6 ergibt sich für den Zeitpunkt April eine richtige Zuweisung von 91 Prozent, wobei die Rückweisungsschwelle 100 die Klassifizierung aller Bildpunkte erzwingt. Zwischen den Klassen City und Siedlung ergibt sich eine Unschärfe, wie sie auch schon im ersten Versuch auftrat, ebenso bei den beiden Laubwaldklassen. Beträchtliche Anteile bei Feld 2 und Feld 3 konnten zum Zeitpunkt April nur als Brachland klassifiziert werden, da hier nur geringe Vegetationsausprägung vorherrscht. Für den multitemporalen Merkmalsatz ist eine fast vollständig richtige Zuweisung erfolgt, wenn man von der Unschärfe zwischen den Bebauungsklassen absieht. Vor allem die Feldtypen sind nun richtig klassifiziert. Wie erwartet, läßt sich also eine Differenzierung von Anbauarten, wahrscheinlich auch von Waldtypen (Monokulturen, Laubwald, Mischwald, Nadelwald), nur mit Hilfe multitemporaler, überlagerter Datensätze durchführen.

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

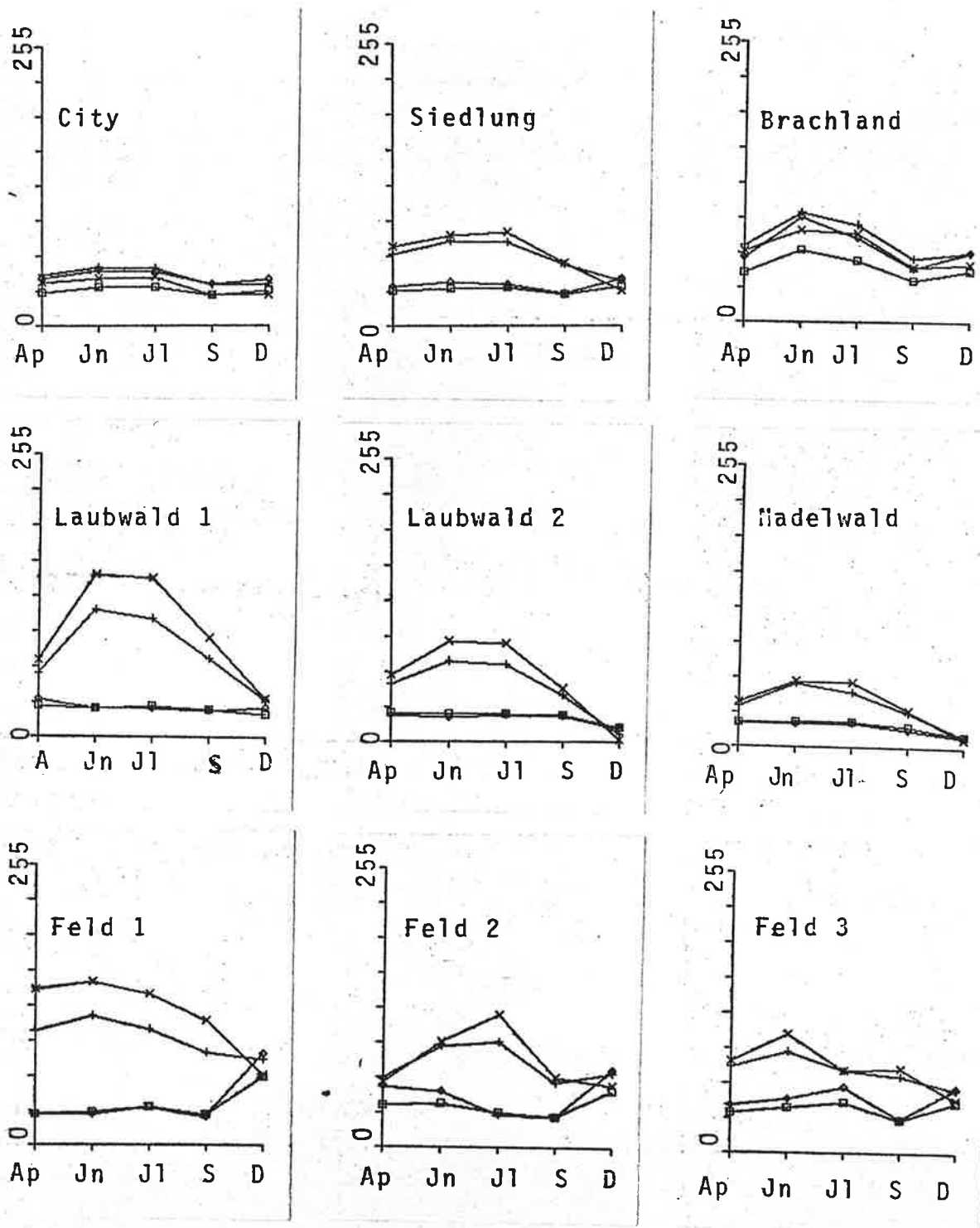


Abbildung 7.16: Spektralmuster für ausgewählte Pixel einzelner Klassen.
 Multitemporale Werte in den MSS - Kanälen
 □ Kanal 4; ◇ Kanal 5; + Kanal 6; × Kanal 7

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

CLASSIFICATION OF TRAINING AREAS														
4 FEATURES	10 CLASSES										REJECTION DISTANCE			100.00
CITY	0	389	15	0	0	0	0	7	0	1	11	423	91.96	
SIEDLUNG	0	12	340	0	19	0	0	0	0	9	3	383	88.77	
LAUBW1	0	0	0	116	11	0	0	0	0	0	0	127	91.34	
LAUBW2	0	0	4	2	152	1	0	0	0	4	0	163	93.25	
NADELWAL	0	0	0	2	0	118	0	0	0	0	0	120	98.33	
FELD1	0	0	0	0	0	0	92	0	0	10	0	102	90.20	
FELD2	0	4	0	0	0	0	0	123	1	0	11	139	88.49	
FELD3	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	11	35	68.57	
FELD4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	32	0	33	96.97	
BRACHLAN	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	51	54	94.44	
SUM	0	405	360	120	182	119	92	130	28	56	87	1579	91.01	

CLASSIFICATION OF TRAINING AREAS														
8 FEATURES	10 CLASSES										REJECTION DISTANCE			10.00
CITY	0	413	4	0	0	0	0	0	0	0	6	423	97.64	
SIEDLUNG	0	7	376	0	0	0	0	0	0	0	0	383	98.17	
LAUBW1	0	1	0	126	0	0	0	0	0	0	0	127	99.21	
LAUBW2	0	0	0	0	163	0	0	0	0	0	0	163	100.00	
NADELWAL	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	120	100.00	
FELD1	0	0	0	0	0	0	102	0	0	0	0	102	100.00	
FELD2	0	0	0	0	0	0	0	139	0	0	0	139	100.00	
FELD3	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	35	100.00	
FELD4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0	33	100.00	
BRACHLAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	54	100.00	
SUM	0	421	380	126	163	120	102	139	35	33	60	1579	98.86	

Tabelle 7.6: Klassifizierung der Trainingsgebiete - 10 Klassen
Vergleich monotemporal (oben) - multitemporal (unten)

7.6.2 Klassifizierung

Folgende Merkmalssätze wurden für die Klassifizierungsversuche verwendet:

- (a) April Kanäle 4,5,6,7
- (b) Juni Kanäle 4,5,6,7
- (c) Juli Kanäle 4,5,6,7
- (d) September Kanäle 4,5,6,7
- (e) April 1. und 2. Hauptkomponente
- (f) multitemporal jeweils 1. und 2. Hauptkomponente

In Tabelle 7.7 werden die Klassifizierungen mit den Merkmalssätzen (a) und (d), (b) und (c), (a) und (e) sowie zur Veranschaulichung des Effektes der Vergrößerung der Rückweisungsschwelle der Merkmalssatz (a) mit 2 verschiedenen Werten für t verglichen. Die Klassifizierung erfolgte in allen Fällen nach der Maximum - Likelihood - Methode. Da für das betrachtete Gebiet für Juni und Juli die Bilddaten bereits am Rand des Bildes liegen, fehlen hier Resultate in der Nordwestecke. Daher wurden die für die Sätze (a) und (d) klassifizierten Bilder in dem entsprechenden Bereich für den Vergleich nicht berücksichtigt, um eine einheitliche Bezugsbasis zu erhalten. Insgesamt wurden etwa 200 000 Bildpunkte behandelt, was einer Fläche von 500 km² entspricht.

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

COMPARISON OF CLASSIFICATION FOR FEATURES
APRIL/SEPTEMBER T = 5

F1/F2	Ø	1	2	3	4	5	6	SUM	PERC
Ø	5706.	71.	6181.	2121.	588.	7497.	144.	22308.	11.05
1	465.	4899.	4247.	952.	11.	356.	655.	11585.	5.74
2	5303.	1322.	42232.	1276.	10.	16812.	605.	67560.	33.47
3	12577.	76.	9512.	32543.	1994.	291.	0.	56993.	28.23
4	1243.	2.	42.	9414.	10243.	0.	0.	20944.	10.38
5	384.	1.	1571.	11.	0.	13464.	10.	15441.	7.65
6	244.	868.	3369.	26.	0.	498.	2023.	7028.	3.48
SUM	25922.	7239.	67154.	46343.	12846.	38918.	3437.	201859.	
PERC	12.84	3.59	33.27	22.96	6.36	19.28	1.70		

a

COMPARISON OF CLASSIFICATION FOR FEATURES
JUNI/JULI T = 5

F1/F2	Ø	1	2	3	4	5	6	SUM	PERC
Ø	1436.	75.	1272.	1054.	75.	627.	49.	4588.	2.27
1	192.	6919.	1279.	828.	29.	36.	415.	9698.	4.80
2	1225.	2084.	31703.	4622.	6.	8590.	611.	48841.	24.20
3	2331.	455.	4906.	57100.	1577.	447.	7.	65823.	33.10
4	338.	8.	3.	3544.	5619.	0.	0.	9512.	4.71
5	3134.	205.	12175.	781.	6.	33851.	554.	50706.	25.12
6	858.	520.	4310.	1350.	3.	2349.	2301.	11691.	5.79
SUM	9514.	10266.	55648.	69279.	7315.	45900.	3937.	201859.	
PERC	4.71	5.09	27.57	34.32	3.62	22.74	1.95		

b

COMPARISON OF CLASSIFICATION FOR FEATURES
APRIL T=3 / APRIL T=5

F1/F2	Ø	1	2	3	4	5	6	SUM	PERC
Ø	22308.	4669.	44875.	31223.	9094.	11407.	3118.	126694.	62.76
1	0.	6916.	0.	0.	0.	0.	0.	6916.	3.43
2	0.	0.	22685.	0.	0.	0.	0.	22685.	11.24
3	0.	0.	0.	25770.	0.	0.	0.	25770.	12.77
4	0.	0.	0.	0.	11850.	0.	0.	11850.	5.87
5	0.	0.	0.	0.	0.	4034.	0.	4034.	2.00
6	0.	0.	0.	0.	0.	0.	3910.	3910.	1.94
SUM	22308.	11585.	67560.	56993.	20944.	15441.	7028.	201859.	
PERC	11.05	5.74	33.47	28.23	10.38	7.65	3.48		

c

COMPARISON OF CLASSIFICATION FOR FEATURES
APRIL T=5 / APRILPCT T=4

F1/F2	Ø	1	2	3	4	5	6	SUM	PERC
Ø	15669.	152.	1293.	3995.	129.	958.	112.	22308.	11.05
1	598.	8290.	1168.	788.	0.	0.	741.	11585.	5.74
2	13468.	344.	52808.	915.	0.	7.	18.	67560.	33.47
3	1551.	6.	77.	54861.	498.	0.	0.	56993.	28.23
4	281.	0.	0.	5393.	15270.	0.	0.	20944.	10.38
5	2248.	0.	0.	0.	0.	13193.	0.	15441.	7.65
6	271.	346.	20.	14.	0.	0.	6377.	7028.	3.48
SUM	34086.	9138.	55366.	65966.	15897.	14158.	7248.	201859.	
PERC	16.89	4.53	27.43	32.68	7.88	7.01	3.59		

d

Tabelle 7.7: Vergleich verschiedener Klassifizierungen
6 Klassen

Der Vergleich April/September zeigt zwar eine annähernd gleiche Zahl an unklassifizierten Punkten, jedoch scheint nur etwa ein Viertel dieser Punkte in beiden Resultaten als nicht zuweisbar auf. Extrem hoch scheint die Zahl von 12 577 Punkten, die im April unklassifiziert blieben und im September der Klasse Laubwald zugeordnet wurden. Dies

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

dürfte auf die fehlende Belaubung von Baumbeständen zu dem recht frühen Zeitpunkt zurückzuführen sein. Für die einer Klasse zugeordneten Punkte ergibt sich ein recht uneinheitliches Bild, das sich im Auftreten hoher Werte außerhalb der Hauptdiagonale äußert. Einen extremen Fall steht die Zahl von 16 812 Punkten dar, die im April als Siedlung, im September jedoch als Felder erscheinen. Zum einen scheint hier die Abgrenzung der Trainingsgebiete nicht scharf genug, zum anderen spielt sicherlich der Vegetationsstand zu den verschiedenen Zeitpunkten eine große Rolle. Einzig die Klasse Nadelwald ist hinreichend abgegrenzt, um von den anderen, ausgenommen dem Laub/Mischwald, differenziert werden zu können.

Vergleicht man die Resultate für die nur 18 Tage voneinander aufgenommenen Bilder von Juni und Juli, erscheint das Ergebnis übereinstimmender zu sein. Neben einem geringen Anteil an nicht klassifizierten Punkten ist nur die unterschiedliche Bewertung der Klassen Siedlung und Felder auffallend hoch. Da die Trainingsgebiete der Klasse Siedlung auch teilweise Wiesen und verschiedene Vegetationsarten (Hausgärten) umfassen, sind die Daten offenbar mit einem früheren Vegetationsstadium von Nutzpflanzen (hier Mais) zu verwechseln. Nadelwald scheint, wenn man einen geringen Mischwaldanteil berücksichtigt, wieder als die am eindeutigsten feststellbare Klasse auf.

Die Gegenüberstellung der Resultate der Merkmale des Aprilbildes mit den vollen 4 Kanälen einerseits und den ersten beiden Hauptkomponenten andererseits ergibt unter Berücksichtigung der verschieden großen Rückweisungsschwellen eine einigermaßen befriedigende Übereinstimmung. Unschärfen der Abgrenzung zwischen den Besiedlungsklassen bzw. den Waldklassen sind in jedem Fall erwartbar, sofern nicht ein entsprechender Aufwand an Feldarbeit geleistet wird. Die Hauptkomponententransformation führt hier bei der vorliegenden stärkeren Streuung innerhalb der Trainingsgebiete und durch die Vernachlässigung von etwa 5 Prozent der vorhandenen Information zu Differenzen in der Zuordnung.

Die unterschiedlichen Rückweisungsschwellen in Tabelle 7.7 (d) ergeben eine drastische Verringerung der Anzahl unklassifizierter Punkte von 63 Prozent auf 11 Prozent. Es muß hier offen bleiben, ob die größere Zuordnungsrate die Anteile der einzelnen Klassen verändert.

Tabelle 7.8 vergleicht die Resultate für Einzelbilder. In Übereinstimmung mit in der Literatur für Klassifizierungen von Bildern eines einzigen Zeitpunktes berichteten Ergebnissen scheinen nur die bei hohem Sonnenstand aufgenommenen Bilder Juni und Juli für die Auswertung brauchbar zu sein. Einzelne Klassen, etwa Besiedlung oder Nadelwald, können auch von früher oder später im Jahr aufgenommenen Bildern klassifiziert werden, wenn der Sonnenstand entsprechend berücksichtigt wird; im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzung werden jedoch solche Daten, für sich allein betrachtet, zu keinen befriedigenden Ergebnissen führen, da etwa im April noch viele Felder als Brachland erscheinen und im September die meisten bereits abgeerntet sind.

Die Ergebnisse der multitemporalen Klassifizierung mit zehn Klassen sind in Tabelle 7.9 prozentuell und in absoluten Werten angegeben. Für die Darstellung in Abbildung 7.17 wurden die vier Feldklassen

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

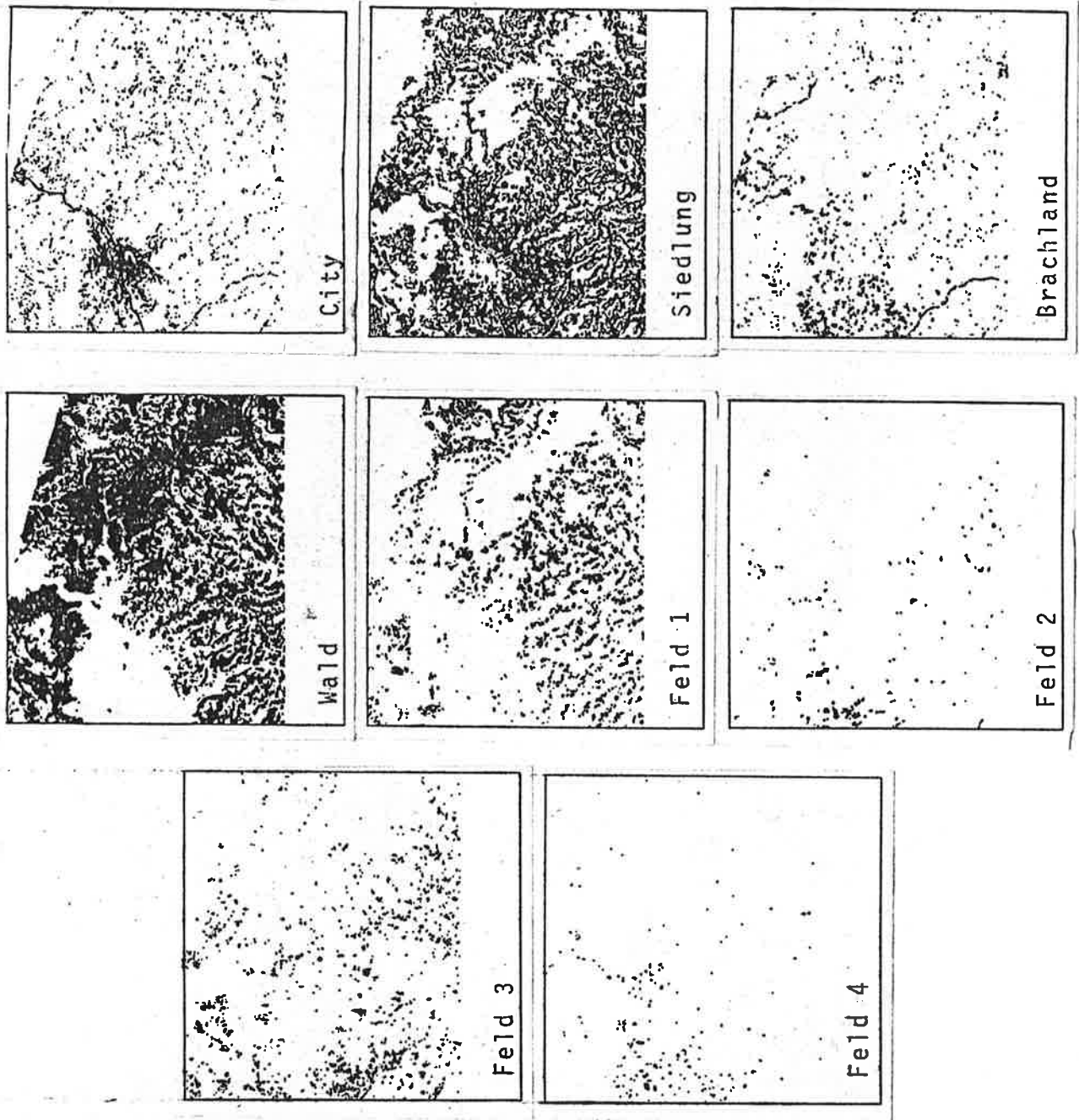


Abbildung 7.18: Klassifizierungsergebnis für die einzelnen Klassen.

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

zusammengezogen und in derselben Farbe kodiert. Eine Über den Vergleich in dieser Tabelle hinausgehende Bewertung der Genauigkeit konnte mangels entsprechender Bodenbedeckungs- und Nutzungsdaten in diesem Rahmen nicht erfolgen. Die Auszüge der einzelnen Klassen sind, nach entsprechender Glättung aufgrund von Nachbarschaftsbeziehungen, in Abbildung 7.18 als Binärbilder dargestellt.

7.6.3 Darstellung

Das Resultat der multitemporalen Klassifizierung wurde mit Hilfe des bereits in Abschnitt 5.1.2 beschriebenen Verfahrens einem digitalen Höhenmodell Überlagert. Dabei wurde zur Verbesserung des optischen Eindrucks eine synthetische Beleuchtung verwendet. Die

Klasse	April	Juni	Juli	September	April Hauptkompon.
Unklassif.	11.05	2.27	4.71	12.84	16.89
City	5.74	4.80	5.09	3.59	4.53
Siedlung	33.47	24.20	27.57	33.27	27.43
Laubwald	28.23	33.10	34.32	22.96	32.68
Nadelwald	10.38	4.72	3.62	6.36	7.88
Felder	7.65	25.12	22.74	19.28	7.01
Brachland	3.48	5.79	1.95	1.70	3.58

Tabelle 7.8: Resultate der Klassifizierung für Einzelbilder
(6 Klassen, in Prozent)

Klasse	Pixel	Prozent
City	10099	5.00
Siedlung	65800	32.55
Laubwald 1	29651)	14.67)
Laubwald 2	55724)	27.56)
Nadelwald	11270	5.57
Feld 1	18381)	9.09)
Feld 2	1240)	0.61)
Feld 3	4478)	2.36)
Feld 4	496)	0.25)
Brachland	4740	2.34
Summe	202179	100.00

Tabelle 7.9: Resultat der Klassifizierung multitemporal
(10 Klassen)

BESCHREIBUNG UND BEARBEITUNG EINES TESTDATENSATZES

Beleuchtungswerte, aufgefaßt als prozentuelle Verhältnisse zu dem maximal möglichen Wert (spiegelnde Reflexion), wurden zur Modifikation der Farbkomponenten der Farben, in denen die jeweiligen Klassen dargestellt werden sollten, herangezogen. Zum Beispiel setzt sich die "ideale" Farbe Gelb (hier für Felder verwendet), im RGB-System aus (255,255,0) zusammen; dann wird für einen Punkt mit 70 Prozent der maximalen Beleuchtung die Intensität entsprechend auf (179,179,0) herabgesetzt und als solche dargestellt (Abbildung 7.19).

Die Präsentation von Resultaten in dieser Form soll die Möglichkeiten des Einsatzes der Datenverarbeitung bei der Herstellung thematischer Karten zeigen, wenn entsprechende Datensätze zur Verfügung stehen. Die Überlagerung mit topographischer Information ist ein weiterer Schritt, der bei Vorliegen entsprechender aufbereiteter Daten mit geringem Aufwand durchgeführt werden kann. Für den Anwender der Methoden mag noch von Interesse sein, daß sich durch die Annahme geeigneter Beobachterstandpunkte die Daten stereoskopisch darstellen lassen und so weiteren Betrachtungen zugänglich sind.

7.6.4 Diskussion

Die vorgeführten Versuche zur maschinellen Klassifizierung haben die Grenzen eines großteils formalen Vorgehens gezeigt. Eine Erhöhung der Genauigkeit in speziellen Studien ist erreichbar, wenn weitere Anstrengungen unternommen werden:

- (a) eine sorgfältige Auswahl der Trainingsgebiete in Verbindung mit Feldaufnahmen und Luftbildinterpretationen zu treffen;
- (b) die Merkmale zu bestimmen, die zur Klassifizierung herangezogen werden; hier sind noch weitere Erfahrungen mit einer hierarchischen Vorgangsweise zu sammeln;
- (c) die Resultate anhand von erhobenen Vergleichsdaten zu überprüfen.

Die Hilfsmittel zur Unterstützung dieser Aufgaben sind durch die Arbeit hergestellt und stehen zur Verfügung. Die Ergebnisse zeigen, daß sie durchaus jenen anderer Autoren entsprechen.

ABSCHNITT 8

ANWENDUNG BEI DER ERFASSUNG DES NATURRAUMPOTENTIALS

Ein Beitrag von

G. Suetter und Th. Untersweg

Institut für Umweltgeologie und Angewandte Geographie
der Forschungsgesellschaft Joanneum

8.1 ALLGEMEINES

Die Bedeutung der Fernerkundung im Anwendungsbereich Geologie - Hydrologie - Bodenkunde - Vegetation liegt vor allem in den Anfangsstufen einer Untersuchung.

Die Satellitenbilder bieten den Vorteil weiträumiger Übersichten, sie liefern Informationen über Strukturen und - untergeordnet - über Gesteinstypen. Letztere Informationen sind aber nur in vegetationslosen Gebieten zu erlangen.

Durch die Photointerpretation erlangt man weiters Kenntnis über die Geomorphologie und Landbedeckung. Durch die multispektrale Aufnahmetechnik können Bereiche unterschiedlicher Reflexionscharakteristika ausgeschieden werden. Wesentlich ist jedoch, daß alle aus Satellitenbildern gewonnenen Daten einer Überprüfung im Gelände bedürfen, wobei sich der Vorteil ergibt, diese Überprüfung an genau festgelegten Testgebieten durchführen zu können.

Da etwa zwei Drittel der Erdoberfläche vegetationsbedeckt sind, kann die Geologie weitgehend nur über Interpretation der Messungen der Vegetation bearbeitet werden.

Die lithologische Kartierung sollte nur durch die Kombination aller erreichbaren Informationen durchgeführt werden. Dies sind

ANWENDUNG BEI DER ERFASSUNG DES NATURRAUMPOTENTIALS

- (a) Bilder verschiedener spektraler Wellenlängenbereiche
- (b) Stereobilder aus dem sichtbaren Bereich des Spektrums
- (c) spektrale Reflexionswerte
- (d) thermische Bilder (Tag und Nacht).

Auf Grund der schwachen bis nicht existierenden stereoskopischen Wirkung der Landsat-Bilder sind diese für eine klassische morphologische Analyse nicht sehr nützlich. Die wesentlichsten Aussagen können auf dem Gebiet des Entwässerungssystems getroffen werden, die in weiterer Folge wieder Hinweise auf geologische Strukturen liefern.

Zukünftige Satellitendaten höherer Auflösung und wirkungsvollerer Stereogeometrie versprechen jedoch eine wesentliche Stärkung der Anwendbarkeit für Naturraumerhebungen.

8.2 GEOLOGIE - HYDROGEOLOGIE

In Übersichtsbearbeitungen ermöglichen es Landsat-Aufnahmen, mit nur wenigen Bildern ganze Gebirgszüge und ihre Struktur zu erfassen. Als Ergebnis ist eine Lineamentkarte zu konstruieren, die als Arbeitshypothese in einer tektonischen Kartierung bzw. als ein Parameter bei der Erstellung von Risikofaktorenkarten dienen kann. Weiters kann eine solche Lineamentkarte eine Grundlage für Fragen der Hydrogeologie und technischen Geologie darstellen.

Als Anwendungsbeispiele seien hier Arbeiten von Tollmann (1977) angeführt, der im gesamten Bereich der Ostalpen und der Böhmisches Masse großräumige Bruchstrukturen erfassen konnte; auch Gupta (1977) erarbeitete aus der Krümmung geomorphologischer Gegebenheiten das Alter und den Bewegungssinn regionaler Störungszonen. Daten aus Satellitenbilddauswertungen fließen neuerdings auch in Risikofaktorenkarten der österreichischen Geologischen Bundesanstalt (z.B. Schäffer, 1983) ein.

Besonderes Interesse erlangt die genaue Kenntnis dieser Lineationen vor allem deshalb, da sich oft Vererzungen im Bereich von Störungen bzw. Störungszonen finden.

Eine weitere Nutzung der Landsat-Aufnahmen, nämlich zur Konstruktion geologischer Karten, ist in unseren Breiten zur Zeit noch nicht möglich. Dies ist vor allem auf Grund der Vegetationsbedeckung, des oft kleinflächigen Wechsels der Lithologie, durch das stark akzentuierte Relief, usw. gegeben. Zu den Schwierigkeiten einer geologischen Kartierung aus LANDSAT-Aufnahmen führen Blodget und Brown (1982) verschiedene einschränkende Faktoren an, die hier auszugsweise aufgelistet werden:

ANWENDUNG BEI DER ERFASSUNG DES NATURRAUMPOTENTIALS

- Sonnenstand : eine lithologische Klassifikation ist nur bei hohem Sonnenstand möglich; Strukturinformationen sind besser bei tiefem Sonnenstand zu interpretieren;
- Verwitterungsgrad
- Bodenbildung
- Vegetation
- Maßstab : nur sinnvoll in Maßstäben 1:200 000.

Diese Faktoren erschweren bereits in ariden Gebieten die Auswertung wesentlich, was bedeutet, daß es in humiden Bereichen nahezu aussichtslos ist, eine lithologische Klassifikation durchzuführen.

Dieselben Einschränkungen werden von ROBINOVE (1979) auch bei der Klassifikation von Geländeeinheiten angegeben; auch er weist auf eine bevorzugte Verwendung der Aufnahmen in ariden bis semiariden Gebieten hin.

8.3 HYDROLOGIE

Die häufigsten Anwendungsbereiche der Fernerkundung mittels LANDSAT-Aufnahmen liegen in der Kartierung der Grundlagendaten für die Wasserwirtschaft. Als wesentlichste Parameter können dabei die flächenhafte Ausdehnung von Schnee und Eis, die Schneegrenze, die Oberflächenbeschaffenheit von Schnee und Eis erfaßt werden. In weiterer Folge ist die Ausweisung von Hochwassergebieten möglich.

Im Zuge der Untersuchung von Wasserflächen ist eine Klassifikation des Gewässers nach Trübeklassen sowie der Nachweis von Algenvorkommen in Seen, Seichtwassergebieten, Einleitung von Abwässern, u.a.m. möglich.

Auch diese Ergebnisse, die eine reine Merkmalsklassifikation darstellen, bedürfen einer Überprüfung im Gelände, wobei wiederum der Vorteil zum Tragen kommt, daß diese Untersuchung nur an einzelnen ausgewählten Punkten durchgeführt werden muß.

8.4 BODENKUNDE

Fernerkundung mittels Satelliten-Aufnahmen im Bereich der Bodenkunde bringt nur mit Einschränkungen brauchbare Ergebnisse. Die Erkennung von Bodentypen, der Bodenfeuchte und Bodenschwere ist nur im indirekten Weg über die Vegetation, die Rückschlüsse erlaubt, möglich. Eine direkte Beurteilung läßt sich nur im Fall von Bodenerosion durchführen, wobei allerdings ein wichtiger Parameter die Auflösung der Aufnahmen ist.

ANWENDUNG BEI DER ERFASSUNG DES NATURRAUMPOTENTIALS

8.5 VEGETATION

Für Untersuchungen der Vegetation bieten Satelliten-Aufnahmen die größten Möglichkeiten. Vorrangig können folgende Unterscheidungsmerkmale und Klassen erarbeitet werden:

- Vegetationstyp
- Dauer der Vegetationsperiode (mit Hilfe multitemporaler Aufnahmen)
- räumliche Ausdehnung von Vegetationstypen
- Schätzung des Holzbestandes
- Schädigungsgrad des Holzbestandes
- Kahlschlagüberwachung
- Auswirkung von Katastrophen (Windbruch, Muren, etc.)
- Datenermittlung für Immissionskataster

Der große Vorteil der Fernerkundung in der Bearbeitung der Vegetation liegt in der multitemporalen Bildfolge und in der Großflächigkeit der einzelnen Aufnahmen. Aber auch Einzelbilder liefern hier relevante Aussagen, wie dies am Beispiel der Abbildung 8.1 gezeigt wird.

8.6 LANDNUTZUNG

Die unter anderem für die Landes- und Regionalplanung wichtige Fragestellung der Landnutzung erhält durch die Möglichkeit der laufenden Aufnahmewiederholung stets aktuelles Datenmaterial. Wesentlich ist der Vergleich verschiedener Jahreszeiten, welcher vor allem in der landwirtschaftlichen Landnutzung gute Ergebnisse bringt (Abbildungen 8.2 und 8.3). Weitere Merkmale von Bedeutung sind, abhängig von der Auflösung:

- Siedlungsdichte
- infrastrukturelle Merkmale
- Abbaustellen von Sand, Schotter, Lehm, Steinen
- Bergbaue
- Halden

8.7 KLIMATOLOGIE

Aus klimatischer Sicht liegen bisher auf Grund der umfangreichen Arbeit von Gossmann (1980) gute Unterlagen über die Verwendbarkeit von Satellitenbildern vor; speziell handelt es sich dabei um den HCM-Satelliten, der im April 1978 gestartet wurde (Einstellung September 1980) und dessen Umkreisung so gewählt wurde, daß er Österreich zweimal pro Tag (jeweils gegen 1 Uhr bzw. gegen 13 Uhr) überfliegt. Das Auflösungsvermögen im Nadir liegt bei ca. 500 m und gestattet somit noch Aussagen im mesoklimatischen Bereich. Dabei spielt zweifellos der Aufnahmebereich im thermischen Infrarot eine wesentliche Rolle. Die thermischen Bilder geben Aufschluß über die Oberflächentemperaturverhältnisse. Bei gleichzeitiger Referenzmessung der Lufttemperatur an Stationen bzw. bei Meßfahrten können flächendeckende Klimabearbeitungen vor allem hinsichtlich des Parameters "Kaltluftgefährdung" durchgeführt werden. Desgleichen sind Aussagen

ANWENDUNG BEI DER ERFASSUNG DES NATURRAUMPOTENTIALS

über das Temperaturverhalten von Großstädten möglich (Ausprägung von "Wärmeinseln").

In der Steiermark wären HCMM-Aufnahmen deshalb von Interesse, da durch Meßfahrten und Sonderstationsnetze nur ein Teil des jeweiligen Gebietes erfaßt werden kann; der verbleibende Rest wird mittels Analogieschluß ergänzt.

Bei einheitlichen Oberflächen wie Wald wird die Umsetzung Oberflächentemperaturverhältnisse - Lufttemperatur relativ leicht möglich sein. Dies zeigen auch die Beispiele von Endlicher (1980) aus dem Kaiserstuhl. Für die anderen Flächen - Wiesen, Wein, Siedlungen - benötigt man die Referenzmessungen, die jedoch bei derartigen Meßprogrammen ohnedies immer erfolgen.

8.8 DISKUSSION

Zu verschiedenen Anlässen wurde in der Vergangenheit die Bedeutung von Satellitenbildern unterstrichen, gleichzeitig jedoch betont, die Ergebnisse hinsichtlich ihrer Interpretation mit Vorsicht zu werten; dies gilt speziell für die bisherigen Landsataufnahmen mit einer Auflösung von 70 - 80 m, womit Aussagen für wenig strukturierte Gebiete möglich sind, jedoch für Gebiete wie die Steiermark die Anwendungsmöglichkeiten begrenzt bleiben. Die gute Verwendbarkeit in Einzelfällen, etwa der HCMM-Daten wurde verschiedentlich aufgezeigt.

Hinsichtlich der Probleme der Bildgeometrie und von Störungseinflüssen, etwa der Atmosphäre bestehen viele Lösungen (vgl. die Arbeit von Grossmann (1980), die letztlich eine gute Umsetzung der Satellitendaten in eine Karte garantieren. Die heutige Computertechnik und Bildverarbeitung gestatten ferner mit färbiger Kontrastverstärkung einen optimalen Veranschaulichungsgrad. Als Beispiel sei die Falschfarbendarstellung von Wärmedaten mit blau für kalte und rot für warme Oberflächen genannt. Eine weitere wertvolle Art der Datenwiedergabe verschmilzt Karteninformation mit dem Satellitenbild.

Abschließend kann bemerkt werden, daß durch die Anwendung von Satellitenbildern für die Erstellung von Naturraumpotentialkarten in bestimmten Fachbereichen eine wesentliche Erleichterung und Beschleunigung der Arbeit erreicht werden könnte. Einschränkung muß aber betont werden, daß in einigen Disziplinen mit dem derzeitigen Kenntnisstand und den technischen Beschränkungen der geometrischen Auflösung die Anwendung noch nicht sinnvoll erscheint.

Die wesentlichsten Anwendungsbereiche sind vor allem die Landnutzung, die Vegetation, die Hydrologie und Geologie (mit Einschränkungen) und die Klimatologie, wobei jedoch darauf hingewiesen wird, daß alle aus der Fernerkundung gewonnenen Ergebnisse, entsprechend den klassischen Konzepten der Photointerpretation, einer Überprüfung an ausgewählten Punkten im Gelände bedürfen, aber auch eine wesentliche Erleichterung und Beschleunigung der Untersuchungen mit sich bringen.

ABSCHNITT 9

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden Methoden entwickelt, die die derzeitigen Möglichkeiten des Einsatzes der Datenverarbeitung in der Analyse von Fernerkundungsbildern widerspiegeln. Besonderer Wert wurde auf die Erschließung neuer Informationen durch die Einbeziehung bereits vorhandener, im Kartenform vorliegender Daten gelegt. Der Synergismus, also das Zusammenwirken der

- (a) von Satelliten gelieferten Meßdaten und
- (b) aus Karten abgeleiteten thematischen Bildern,

läßt sich bei vielen Problemstellungen als wirksames Hilfsmittel einsetzen, um neue Informationen schnell aus bestehenden Daten gewinnen zu können.

Das Wechselspiel, das durch ein in hohem Maße interaktives, computerunterstütztes System zwischen dem Interpreten und den aus einer, hier als 'geokodiert' eingeführten Datenbank, entnommenen Informationen stattfindet, erschließt neue Möglichkeiten, Aussagen über unsere Umwelt zu gewinnen.

Diese Arbeit konnte freilich nur gewisse Grundlagen liefern, auf die aufbauend eine Weiterentwicklung notwendig ist. Die grundsätzlichen Methoden hierfür stehen nun zur Verfügung und sind anhand von Beispielen demonstriert worden.

Zielrichtungen für die weiteren Bemühungen sollen im folgenden kurz umrissen werden:

Für viele Anwendungen, vor allem im Bereich kleinräumiger Untersuchungen, ist die Auflösung bestehender Fernerkundungssysteme möglicherweise noch zu gering. Daten neuer Sensoren (Thematic Mapper, SPOT) sind in naher Zukunft zu erwarten. Der bestehende Methodenvorrat kann auch auf diese Daten erfolgsversprechend angewandt werden. Die zu erwartenden Datenmengen setzen voraus, daß entsprechende Verarbeitungskapazitäten zur Verfügung stehen. Die Fortschritte auf dem Gebiet der Elektronik lassen hier auf dem Gebiet der Speichertechnik und der Prozessoren - hier wieder vor allem der Parallelprozessortechnik - eine Lösung greifbar erscheinen.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In den Erdwissenschaften bestehende Modelle zur Untersuchung von Zusammenhängen verschiedenartiger Faktoren können durch die Bereitstellung von geokodierten Daten und entsprechenden automatisationsgestützten Methoden effizient überprüft werden. Zur weiteren Entwicklung müssen hier von den potentiellen Anwendern Anforderungen formuliert werden:

- (a) zur Erweiterung des Methodenvorrates;
- (b) zu den Inhalten von Datenbanksystemen.

Entsprechend diesen Anforderungen sollen die bestehenden Programmsysteme ausgebaut und umfassende Datensätze für den Zugriff bereitgestellt werden.

Es ist zu erwarten, daß in den nächsten Jahren der Bestand an maschinell bearbeitbaren Informationen laufend ansteigt. Damit steigt auch das Potential an Analyse- und Auswertungsmöglichkeiten. Die laufende Überwachung von Umwelterscheinungen in Wechselwirkung mit bereits bekannten Tatsachen und durch die Fernerkundung mit Hilfe von durch Satelliten regelmäßig geliefertem Bildmaterial erscheint hier als ein anzustrebendes Ziel.

Mit dieser Arbeit wurde dafür eine Basis geschaffen.

ABBILDUNGEN

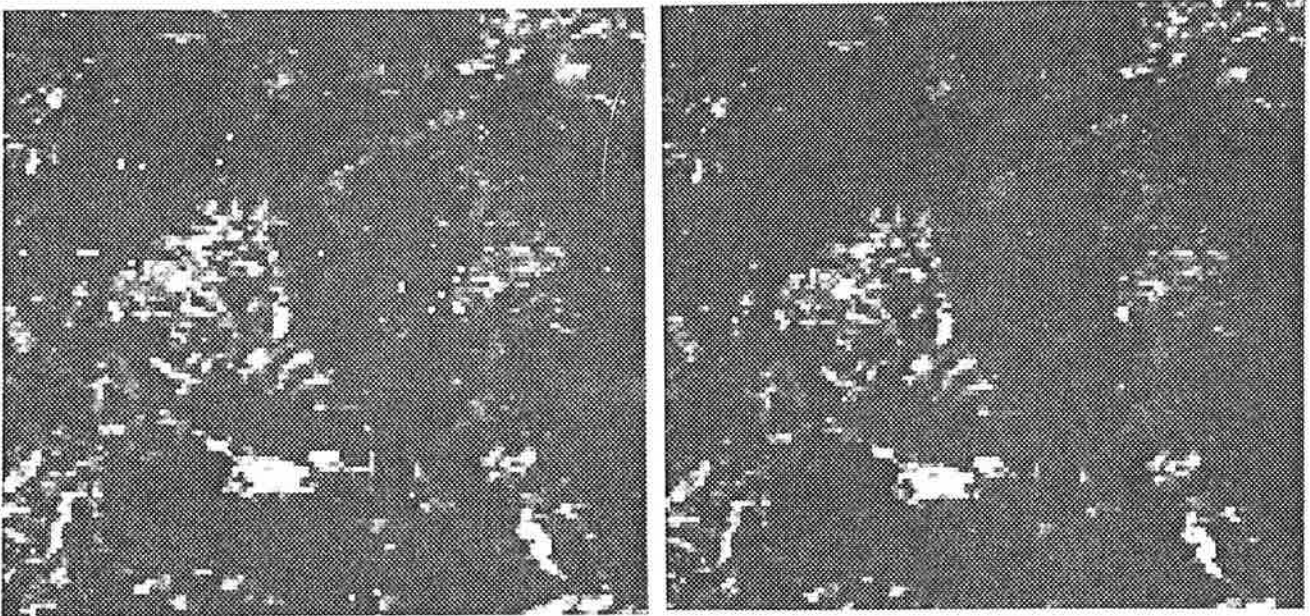


Abbildung 3.8: Beispiel für Spike-Rauschen.
(a) Verrauschtes Bild (abnorm hohe Bildwerte) (b) Nach Korrektur
(LANDSAT-MSS Ausschnitt GRAZ, Kanal 7; unentzerrt)

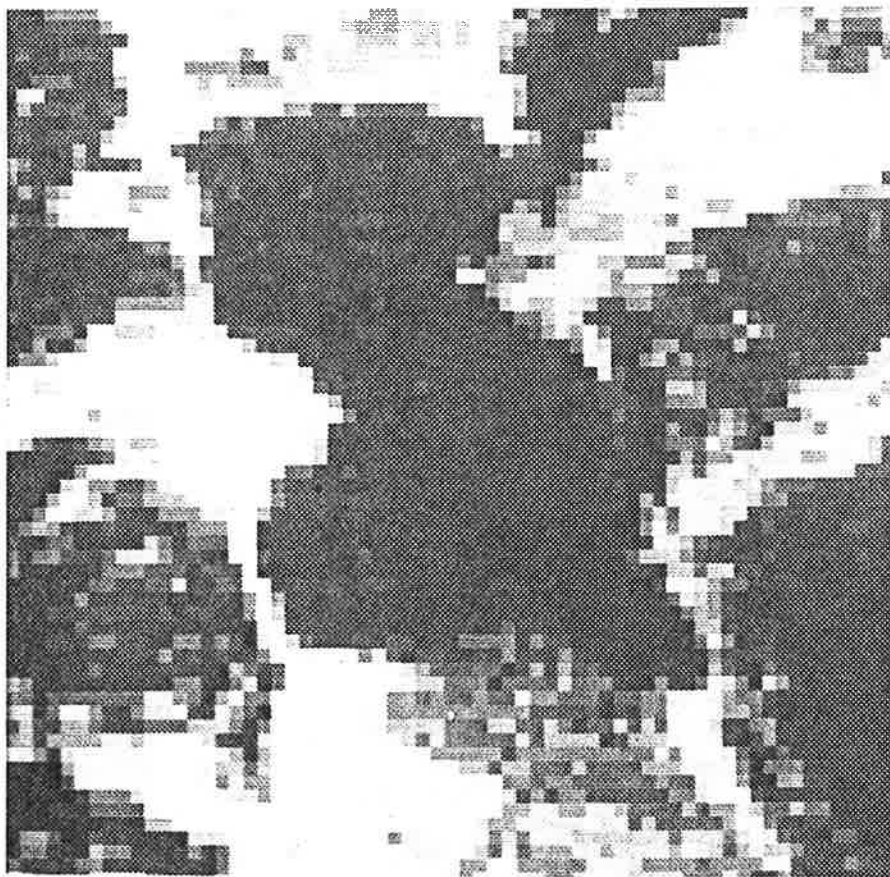


Abbildung 3.10: Streifenmuster auf einer Wasserfläche, das durch
die unterschiedliche Empfindlichkeit der einzelnen
Sensoren entsteht (kontrastverstärkt).

ABBILDUNGEN

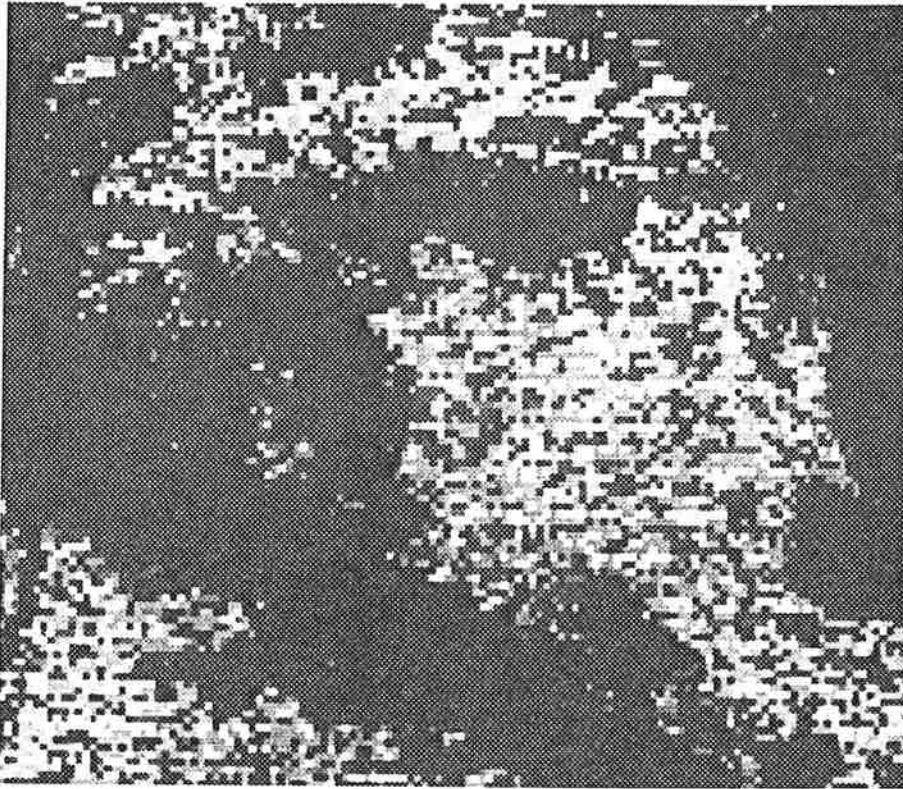


Abbildung 3.11: Nach der Histogrammanpassung verbleiben Restfehler, die bei komplexeren Verarbeitungsschritten sichtbar werden (Ratiobild, kontrastverstärkt)

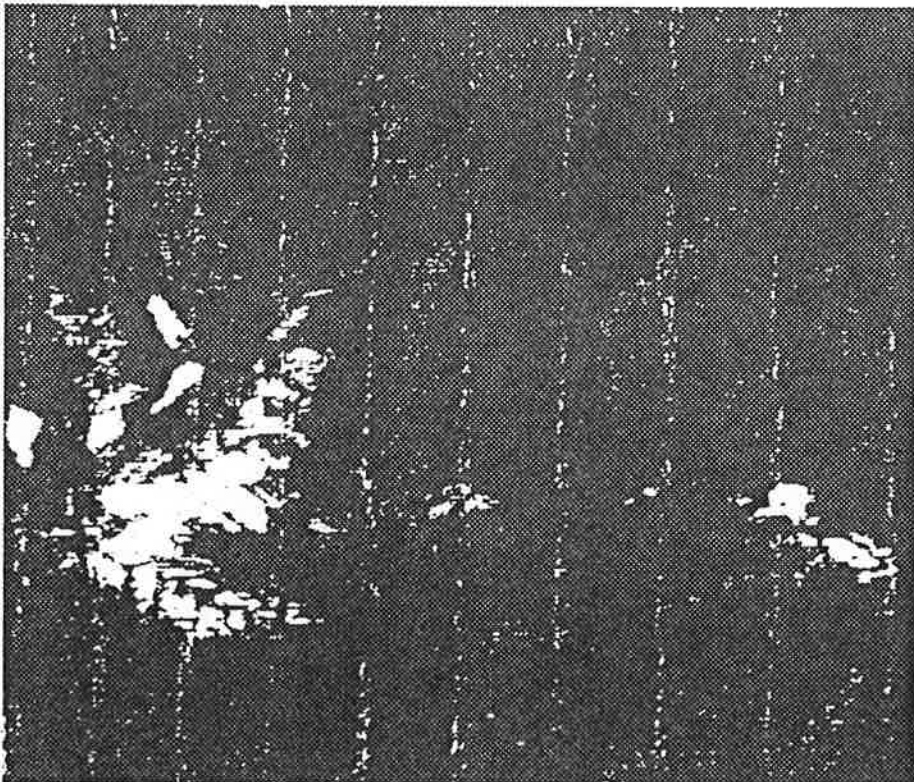


Abbildung 3.12: Periodisches Auftreten von Streifen schräg zur Abtastrichtung (kontrastverstärkt)

ABBILDUNGEN

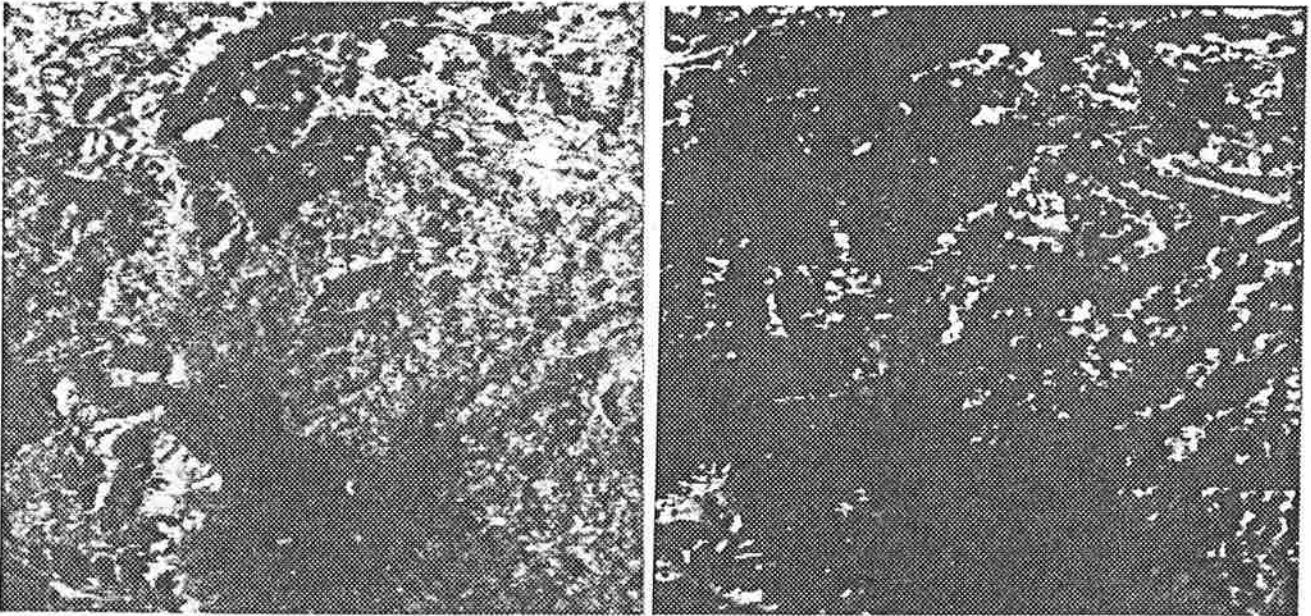


Abbildung 3.14: Einfluß des Sonnenstandes auf die Bildwerte.
(a) 14. Juni, Sonnenhöhe 57° (b) 30. Dezember, Sonnenhöhe 15°
(LANDSAT-MSS Ausschnitt GRAZ, Kanal 7; unentzerrt;
Vergrößerungsfaktor 2)

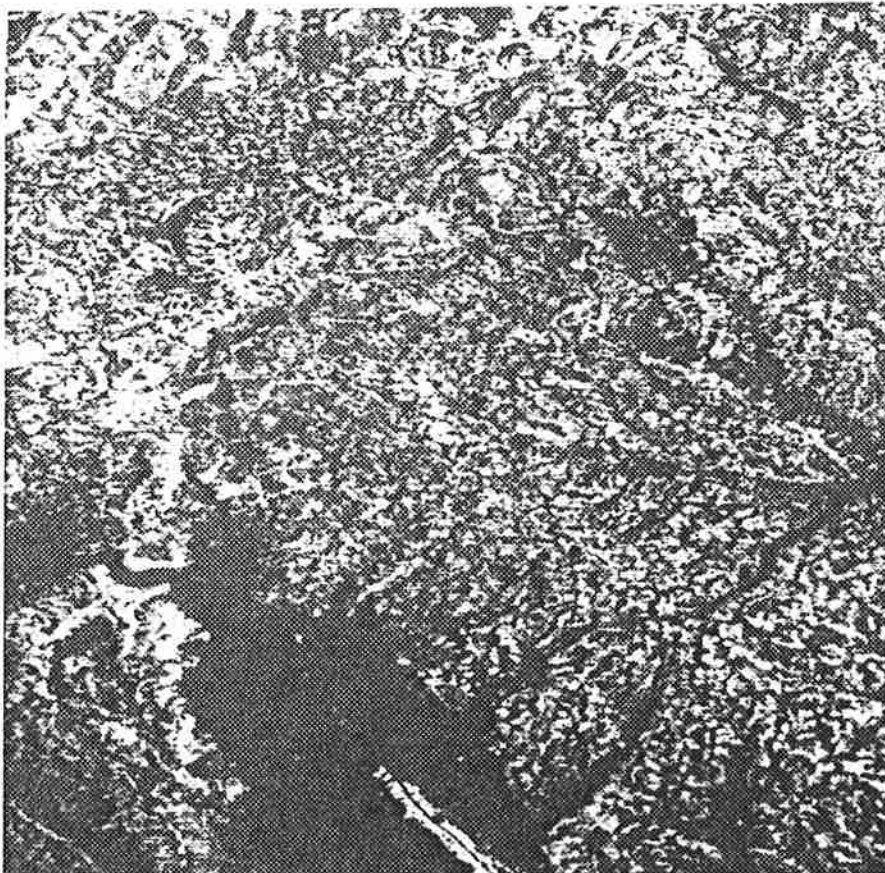


Abbildung 3.15: Ratiobild nach Gleichung (3.14) mit $a = 50$, $b = 0$.
(LANDSAT-MSS Ausschnitt GRAZ, Juni, Kanäle 7/5; unentzerrt)

ABBILDUNGEN

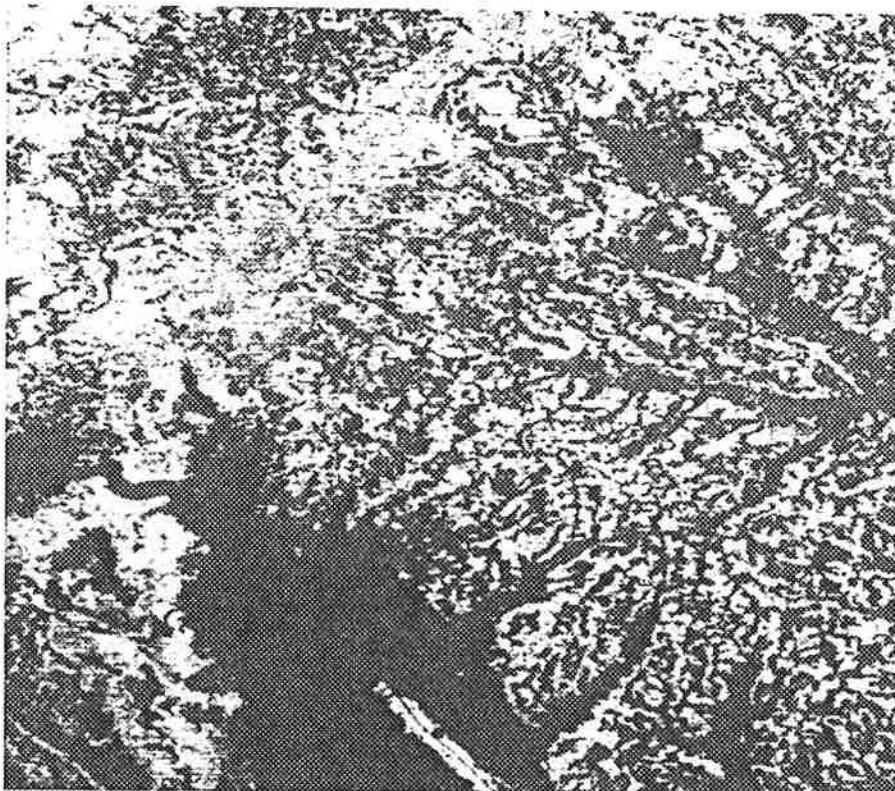


Abbildung 3.16: Ratiobild nach Subtraktion der geschätzten atmosphärischen Einflüsse laut Gleichung (3.15). (LANDSAT-MSS Ausschnitt GRAZ, Juni, Kanäle 7/5; unentzerrt)

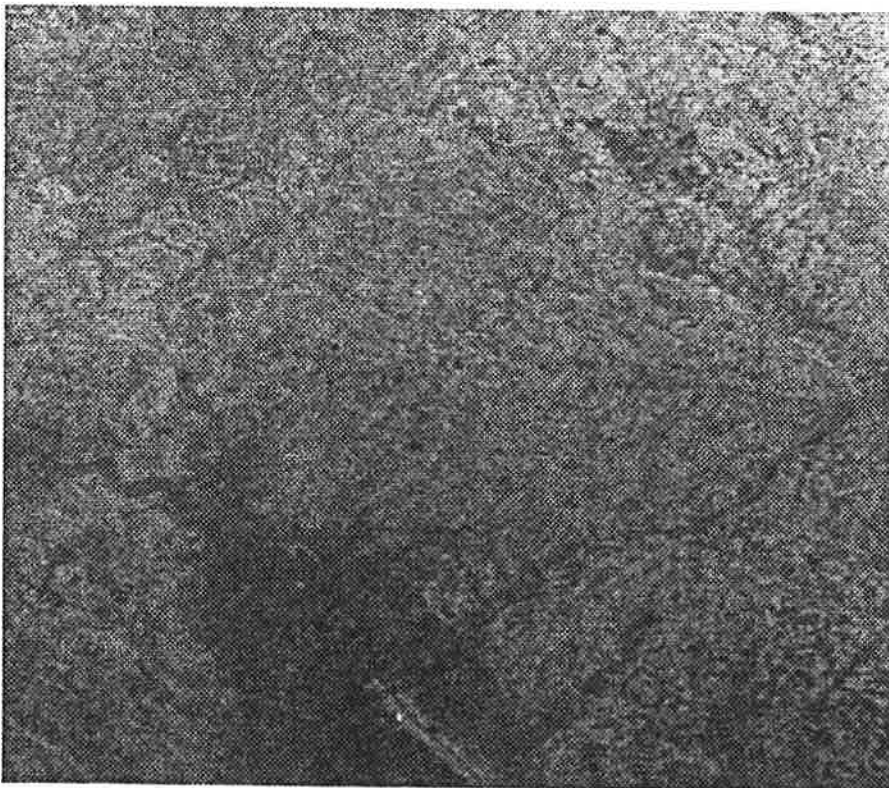


Abbildung 3.17: Normiertes Ratiobild nach Gleichung (3.16). (LANDSAT-MSS Ausschnitt GRAZ, Juni, Kanäle 7/5; unentzerrt)

ABBILDUNGEN

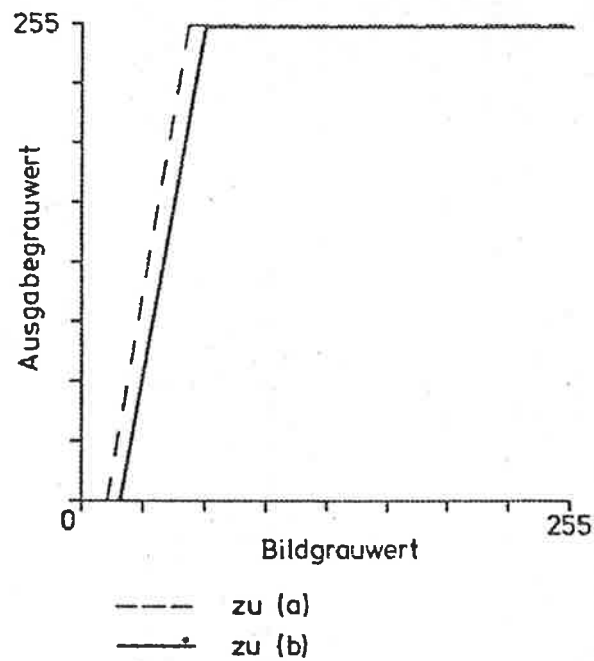
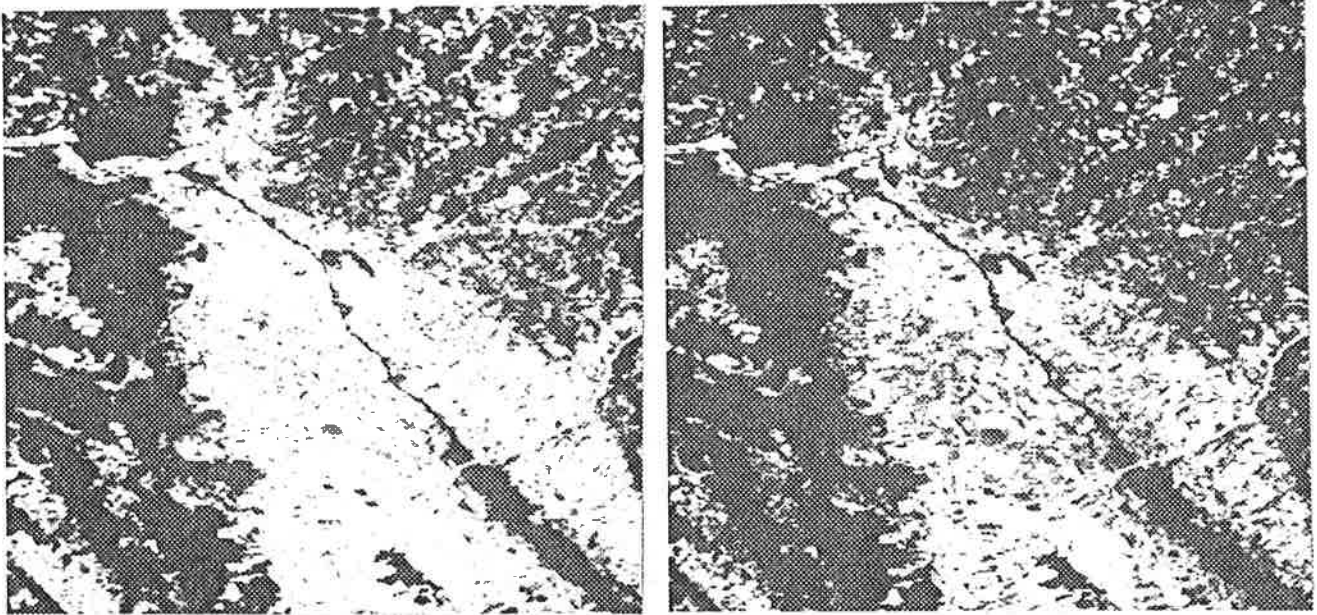


Abbildung 3.18: Kontrastverstärkung nach Gleichung (3.20).
(a) Linear zwischen Mittelwert + 2 Standardabweichungen
(b) Linear zwischen 1 % und 99 % der kumulierten Grauwertverteilung
(c) Vergleich der entsprechenden Lookup-Tabellen
(LANDSAT-MSS Ausschnitt GRAZ, Kanal 5; unentzerrt;
Vergrößerungsfaktor 2)

ABBILDUNGEN

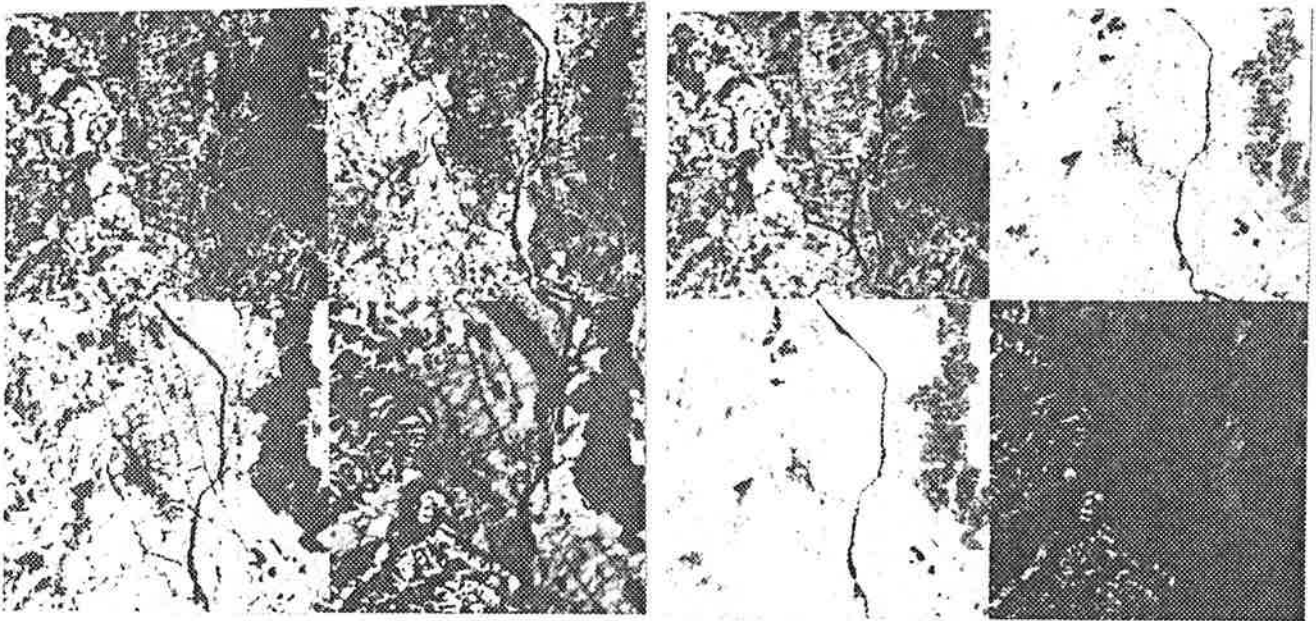


Abbildung 3.19: Vergleich von (a) individueller und (b) gemeinsamer Kontrastverstärkung. Die Beleuchtungsunterschiede zu den verschiedenen Zeitpunkten sind deutlich sichtbar. Zeitpunkte der Aufnahmen: April (links oben), Juni (rechts oben), Juli (links unten) und Dezember (rechts unten). (LANDSAT-MSS Ausschnitt LEIBNITZ, Kanal 7; entzerrt)

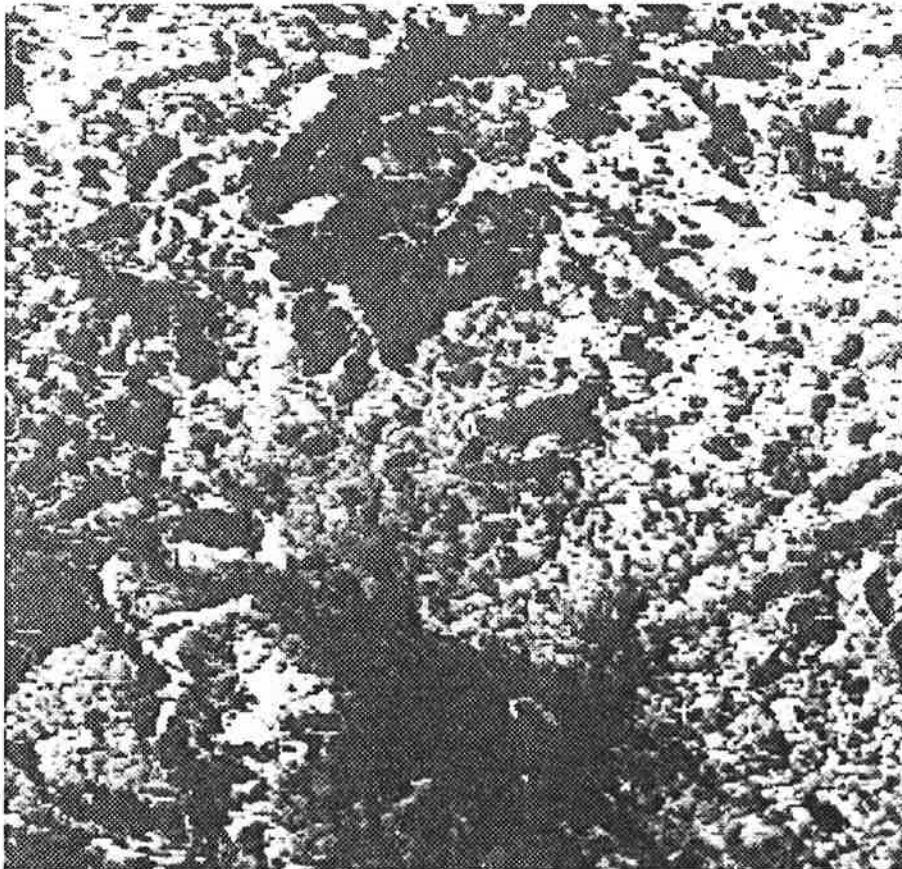


Abbildung 3.22: Kantenverstärkung des Bildes von Abbildung 3.14(a) durch Subtraktion eines Kantenbildes (Roberts) vom Original. (LANDSAT-MSS Ausschnitt GRAZ, Juni, Kanal 7; unentzerrt)

ABBILDUNGEN

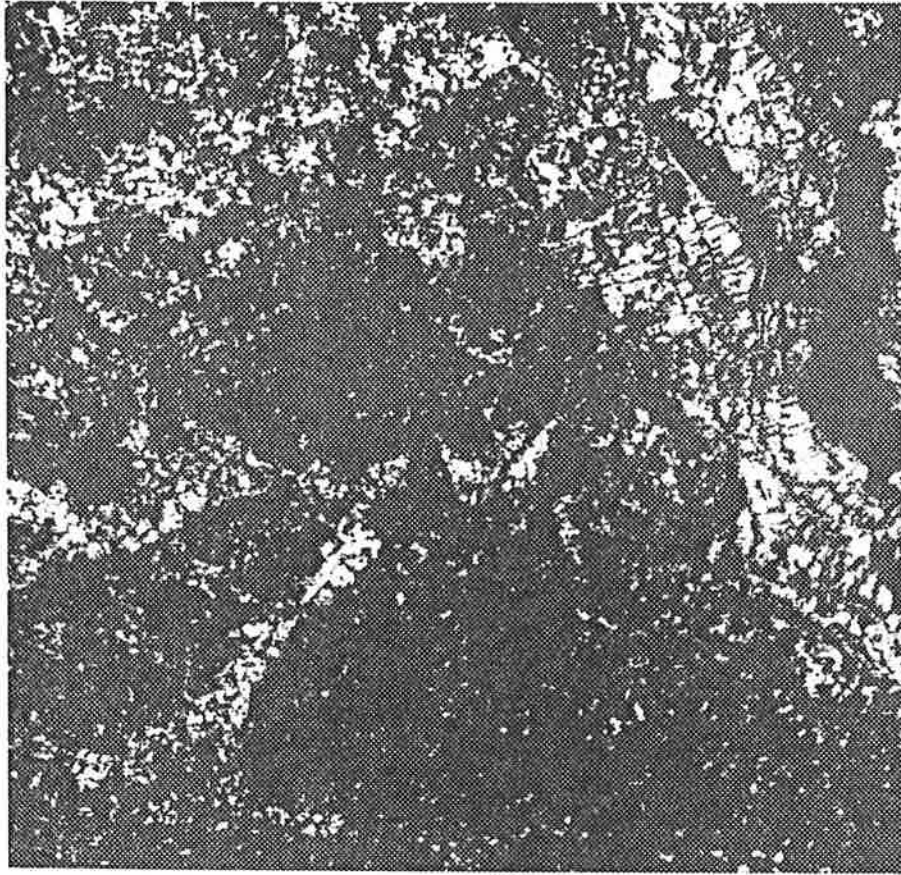


Abbildung 3.27: Differenzbild zwischen den Kanälen 7 im Juni und Juli. Hohe Differenzen deuten auf eine starke Änderung in der Vegetation hin. (LANDSAT-MSS Ausschnitt LEIBNITZ ; entzerrt, kontrastverstärkt)

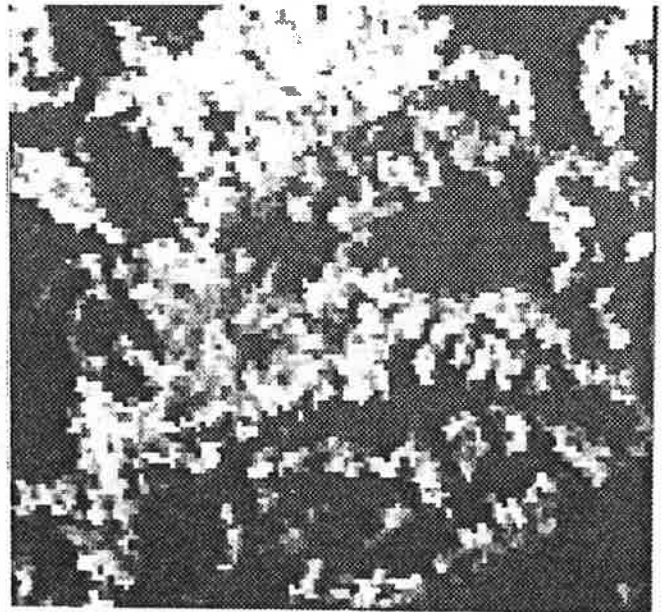
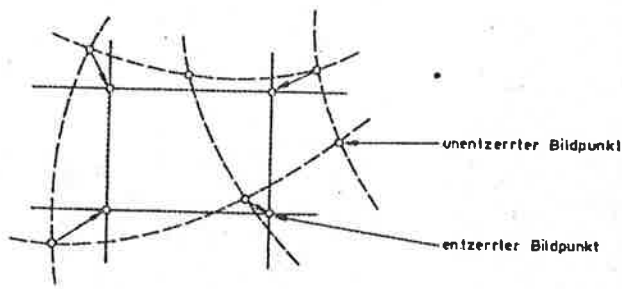


Abbildung 3.32: Entzerrung nach der Methode des nächsten Nachbarn. (a) Der Grauwert des Ergebnisbildes wird aus dem Grauwert desjenigen Punktes bestimmt, der im Ausgangsbild am nächsten liegt. (b) Ergebnis (LANDSAT-MSS Ausschnitt GRAZ, Kanal 7; Vergrößerungsfaktor 4)

ABBILDUNGEN

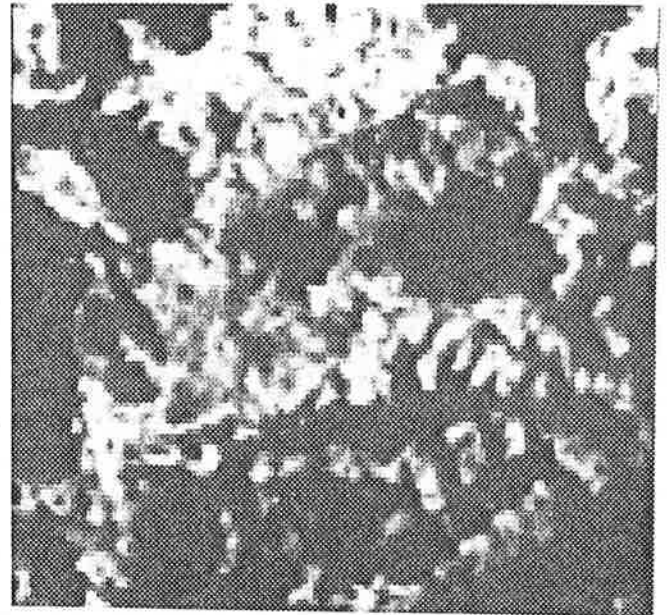
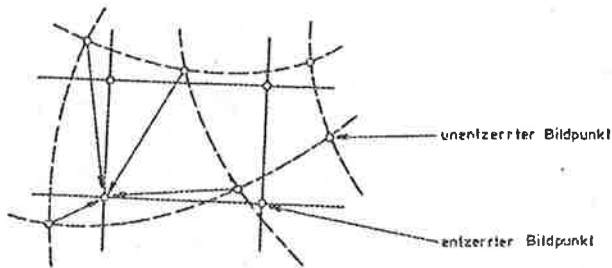


Abbildung 3.33: Entzerrung durch bilineare Interpolation.
 (a) Der Grauwert des Resultatbildes wird durch das gewichtete Mittel der 4 im Ausgangsbild nächstliegenden Bildpunkte bestimmt. (b) Ergebnis (LANDSAT-MSS Ausschnitt GRAZ, Kanal 7; Vergrößerungsfaktor 4)

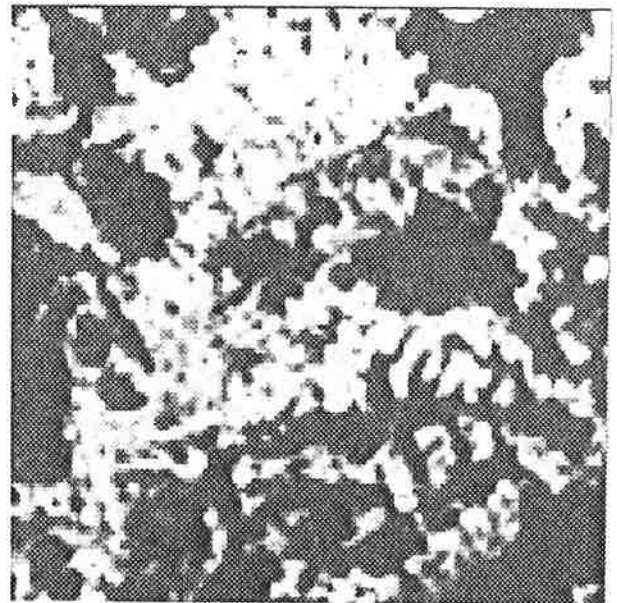
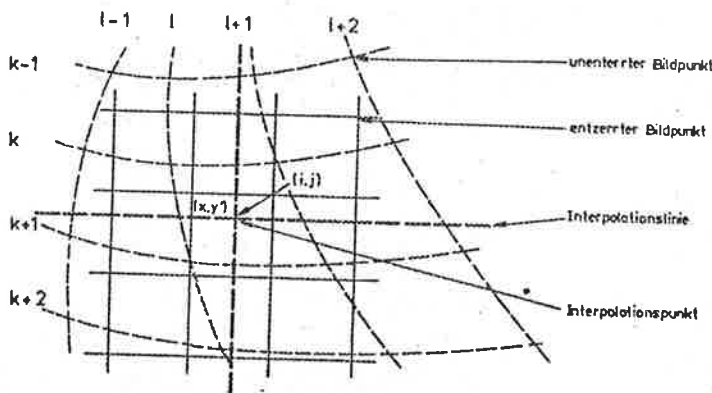


Abbildung 3.34: Entzerrung durch bikubische Interpolation.
 (a) Für die Bestimmung des Resultatgrauwertes werden 16 Punkte des Ausgangsbildes herangezogen. (b) Ergebnis (LANDSAT-MSS Ausschnitt GRAZ, Kanal 7; Vergrößerungsfaktor 4)

ABBILDUNGEN

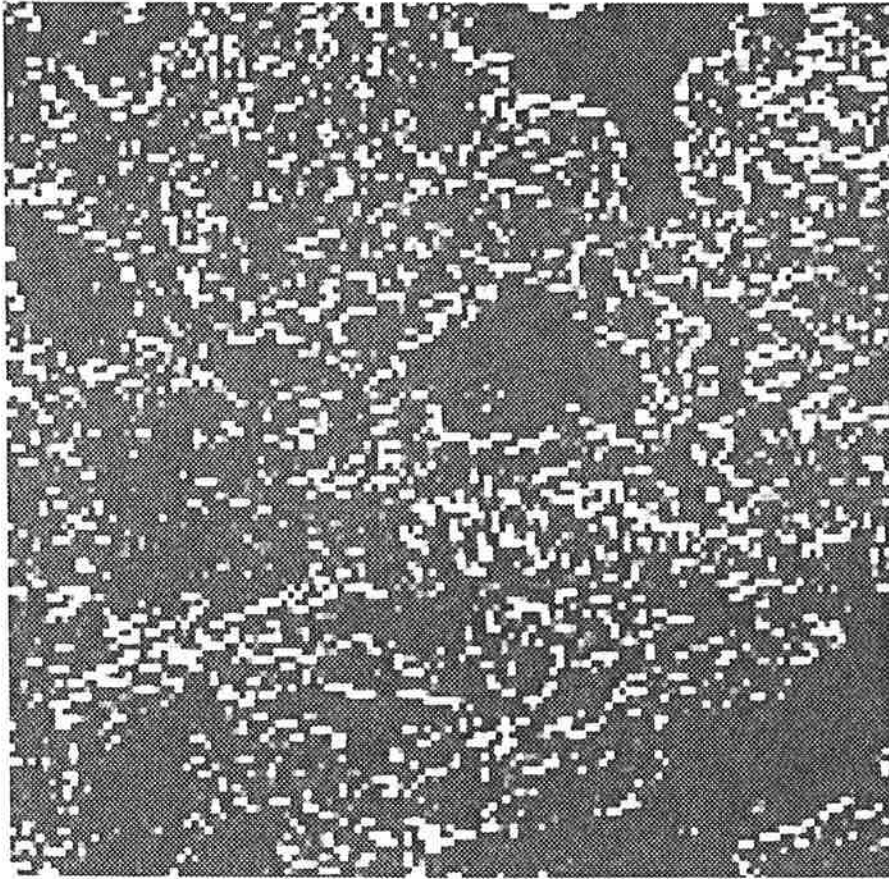


Abbildung 3.35: Differenz zwischen einem nach der Methode des nächsten Nachbarn und einem mit bilinearer Interpolation entzerrten Bildes. Größere Abweichungen treten bevorzugt an den Grenzen zwischen homogenen Bildbereichen auf.
(LANDSAT-MSS Ausschnitt GRAZ, Kanal 7; Vergrößerungsfaktor 4)

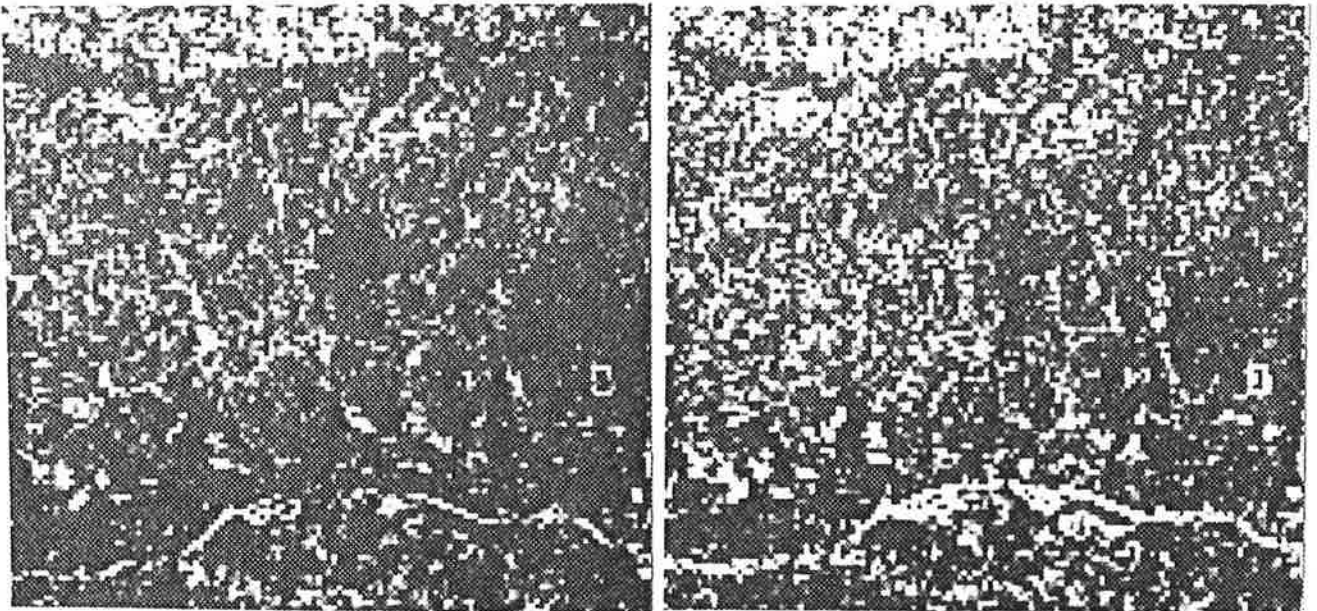


Abbildung 3.36: Beispiel für eine Kantenstruktur. Aus einem Kantenbild nach Laplace werden in 8 x 8 Pixel großen Bereichen
(a) Mittelwerte und (b) Standardabweichungen bestimmt.
(LANDSAT-MSS Ausschnitt BAD RADKERSBURG, April, Kanal 7)

ABBILDUNGEN

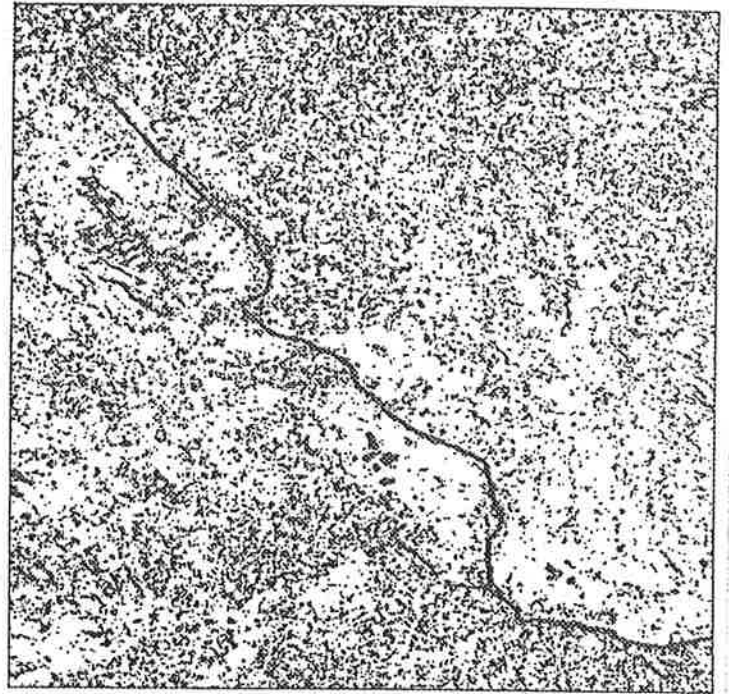
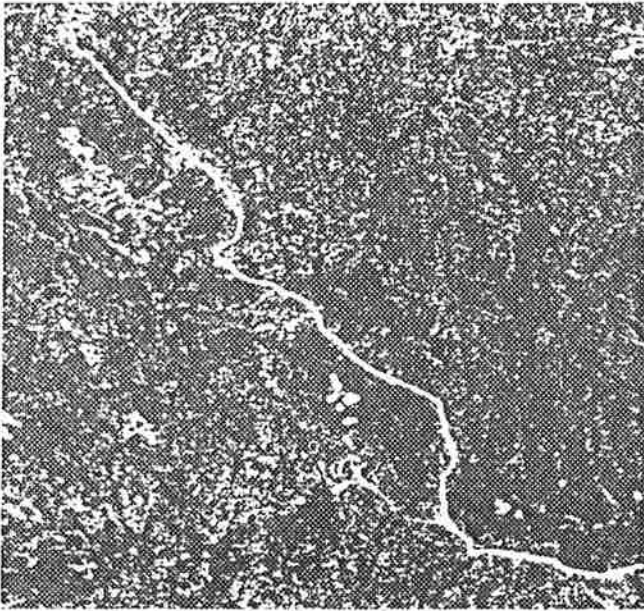


Abbildung 3.37: (a) Kantenbild (Laplace) und (b) Binärbild, in dem die Lage von 20 % der höchsten Kantenwerte angegeben ist. (LANDSAT-MSS Ausschnitt LEIBNITZ, Kanal 7; unentzerrt)

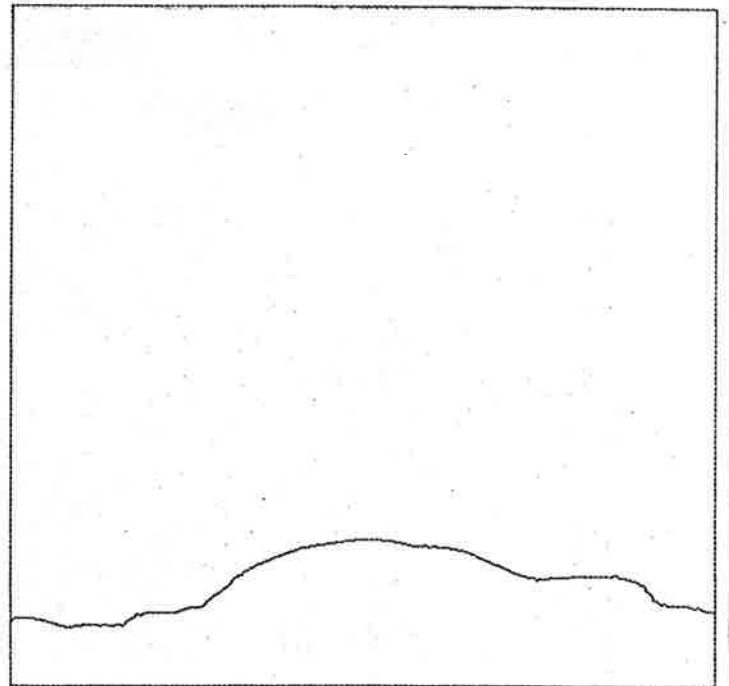
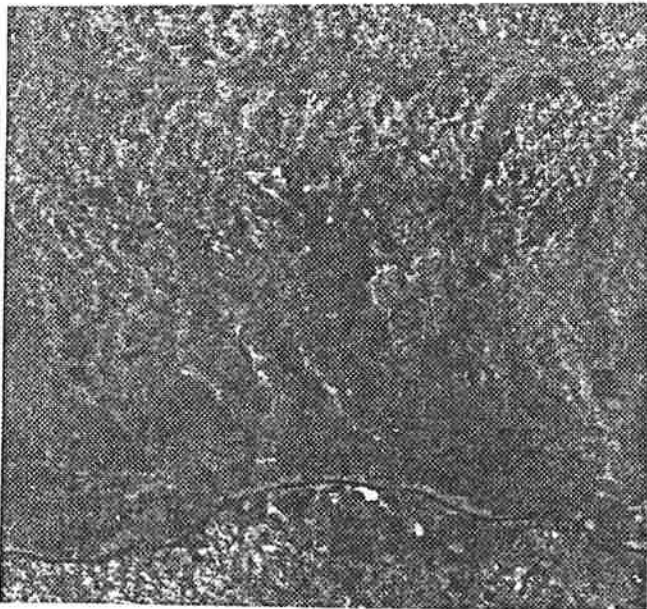


Abbildung 3.38: Beispiel für eine Linienverfolgung. (a) Ausgangsbild (b) gefundene Linie (Flußlauf) (LANDSAT-MSS Ausschnitt BAD RADKERSBURG, Kanal 7; unentzerrt)

ABBILDUNGEN

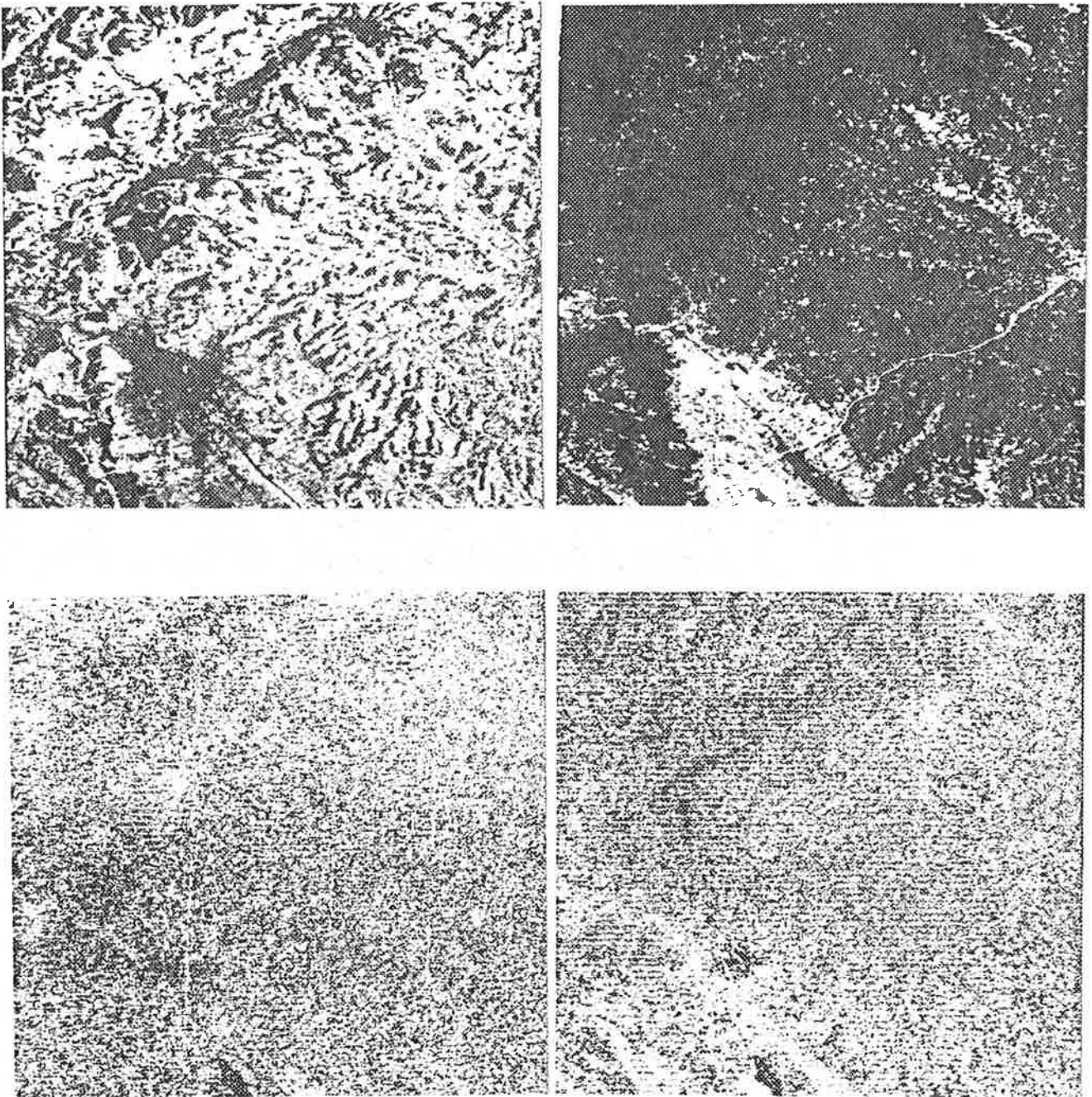


Abbildung 4.4: Hauptkomponententransformation.
(a)-(d) Die vier aus einem MSS-Bild errechneten Hauptkomponenten.
(c) und (d) repräsentieren nur noch einen geringen Anteil der
Bildinformation. (LANDSAT-MSS Ausschnitt GRAZ, unentzerrt)

ABBILDUNGEN

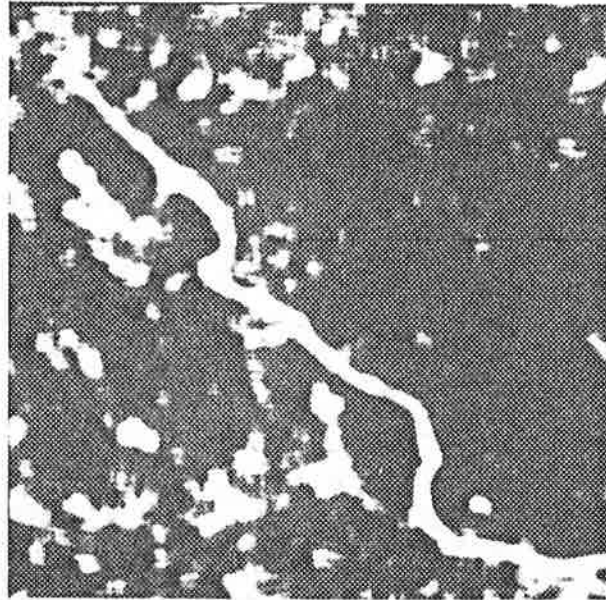


Abbildung 4.9: Zählung der Nachbarn eines Binärbildpunktes in einer 15 x 15 Umgebung für Abbildung 3.37(b).

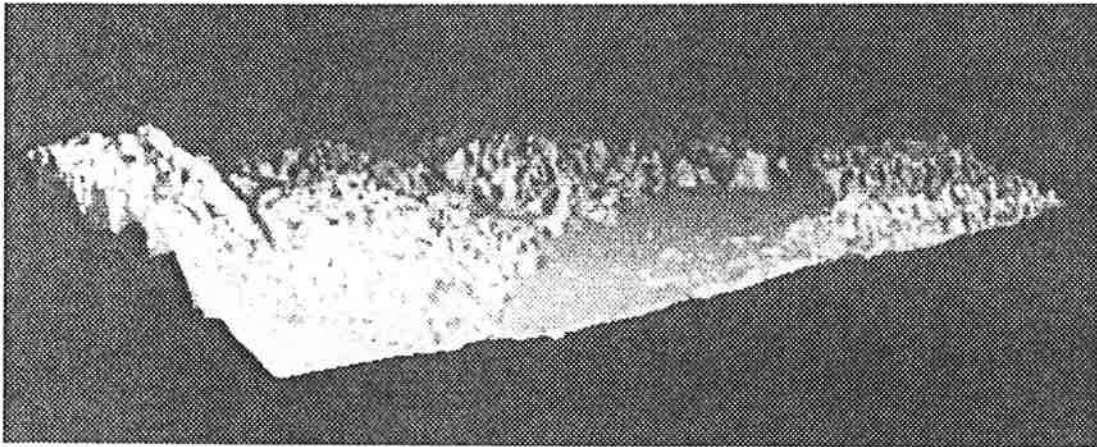


Abbildung 5.4: Aus einem digitalen Geländemodell abgeleitetes Bild in perspektiver Darstellung mit synthetischer Beleuchtung. (ÖK 50, Blatt 190, LEIBNITZ)

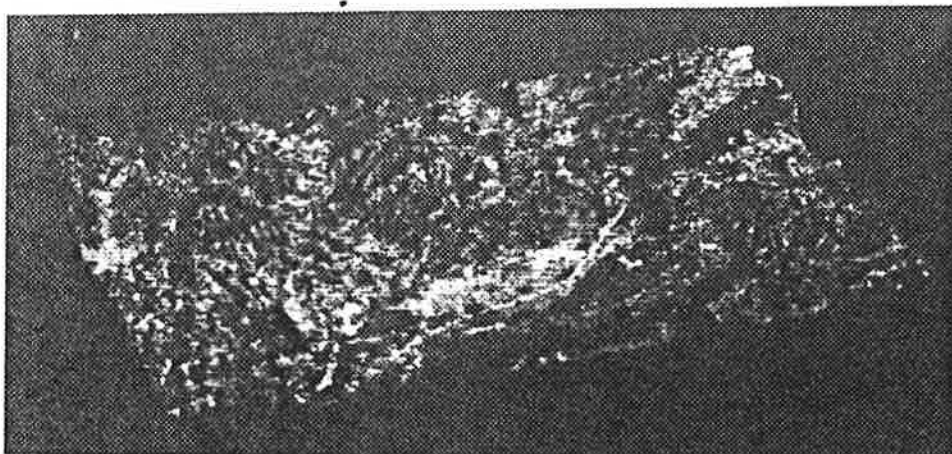


Abbildung 5.5: Perspektive Darstellung von Bilddaten mit Hilfe eines digitalen Geländemodells. (LANDSAT-MSS, Juli, Kanal 4, Ausschnitt LEIBNITZ)

ABBILDUNGEN

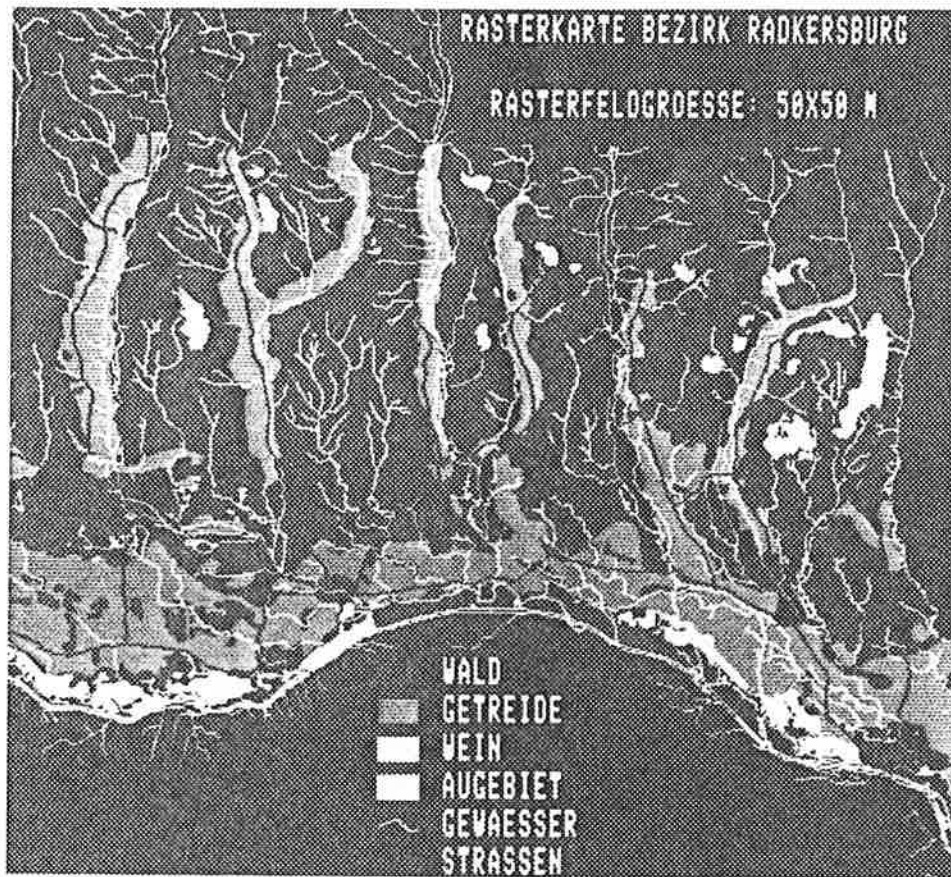


Abbildung 5.8: Überführung von Karteninformation in vektorieller Form in einen Raster. Bezirk BAD RADKERSBURG, Topographie und Landnutzung

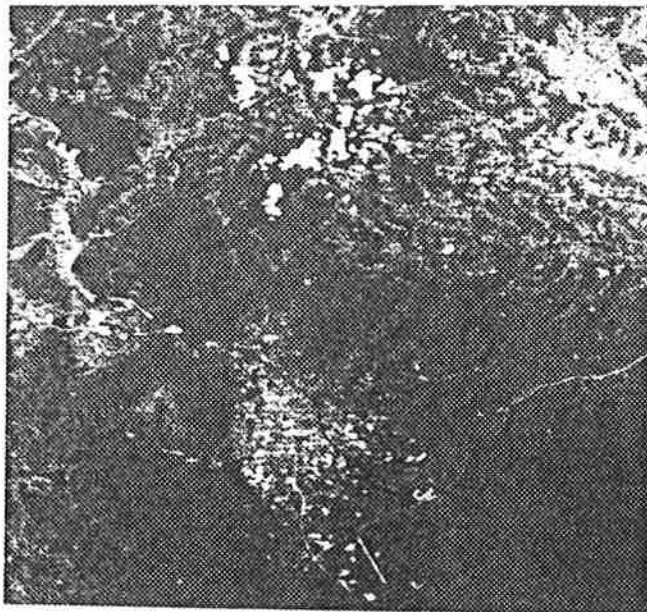


Abbildung 7.2: LANDSAT RBV Bild, Ausschnitt Graz.
(1536 x 1536 Pixel, verkleinert)

ABBILDUNGEN

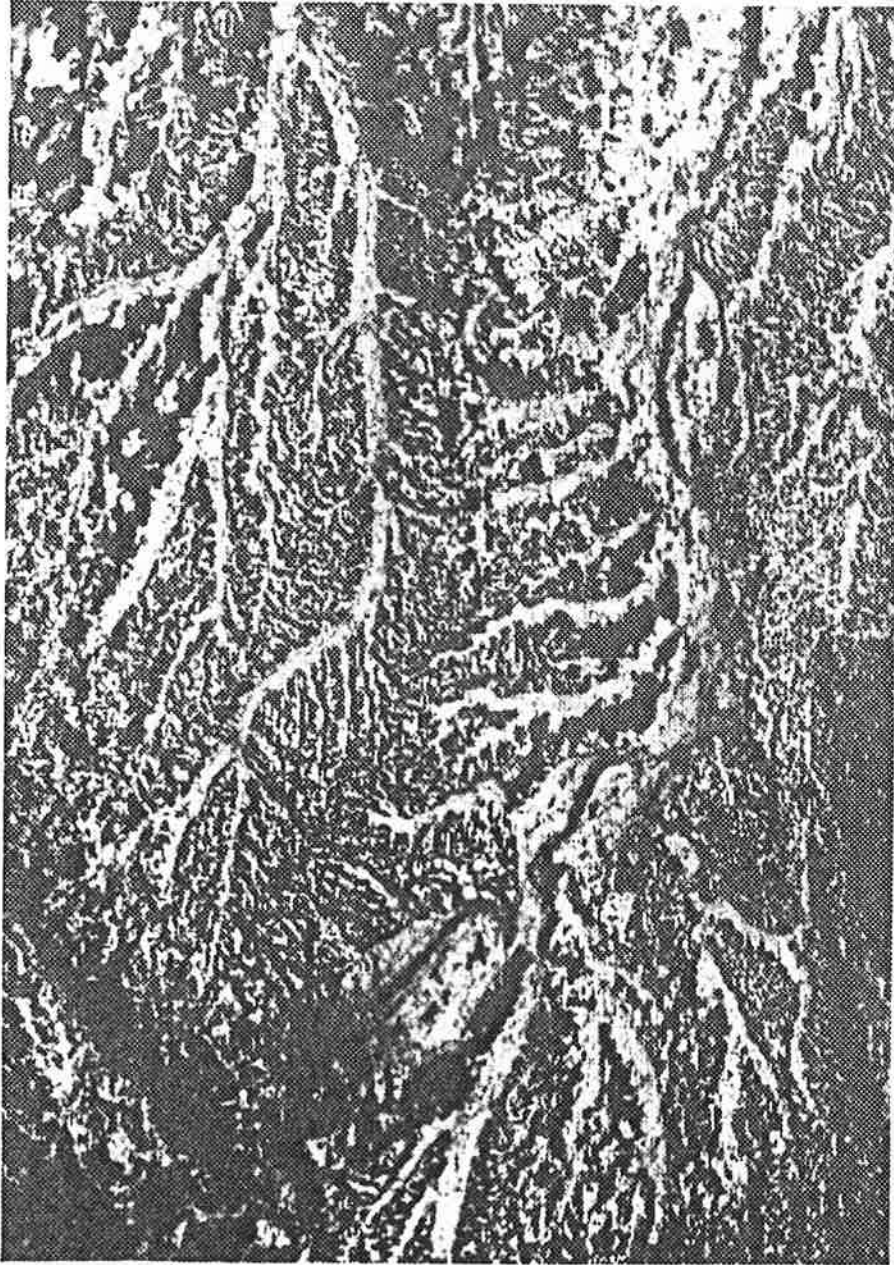


Abbildung 7.4: Ein dem Ausschnitt aus Abbildung 7.3 entsprechender Teil des MSS - Bildes Dezember; Kanal 7. Das Grazer Becken liegt in der Mitte der linken Hälfte.

ABBILDUNGEN

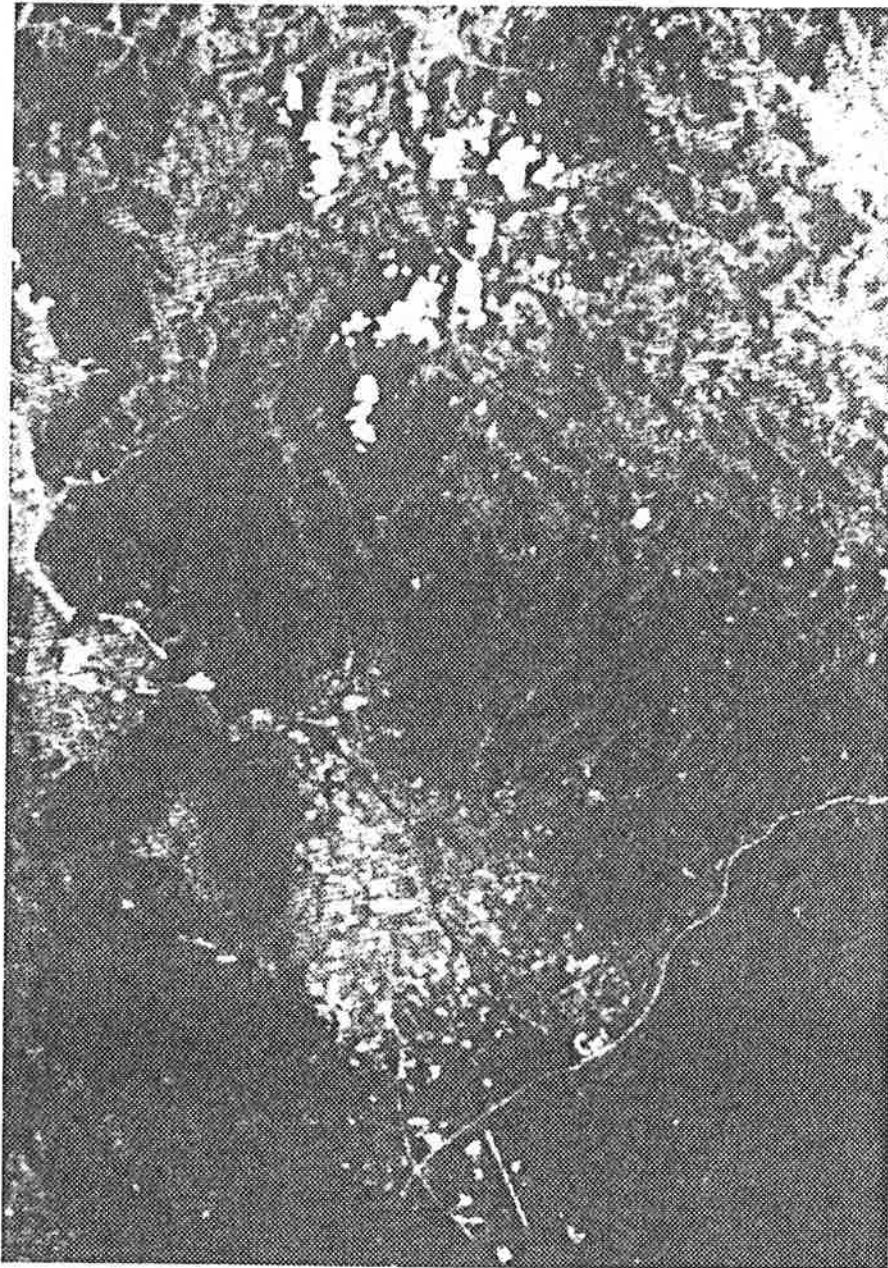


Abbildung 7.9: Entzerrtes RBV - Bild, Ausschnitt GRAZ.
(vgl. das Originalbild in Abbildung 7.2)

ABBILDUNGEN

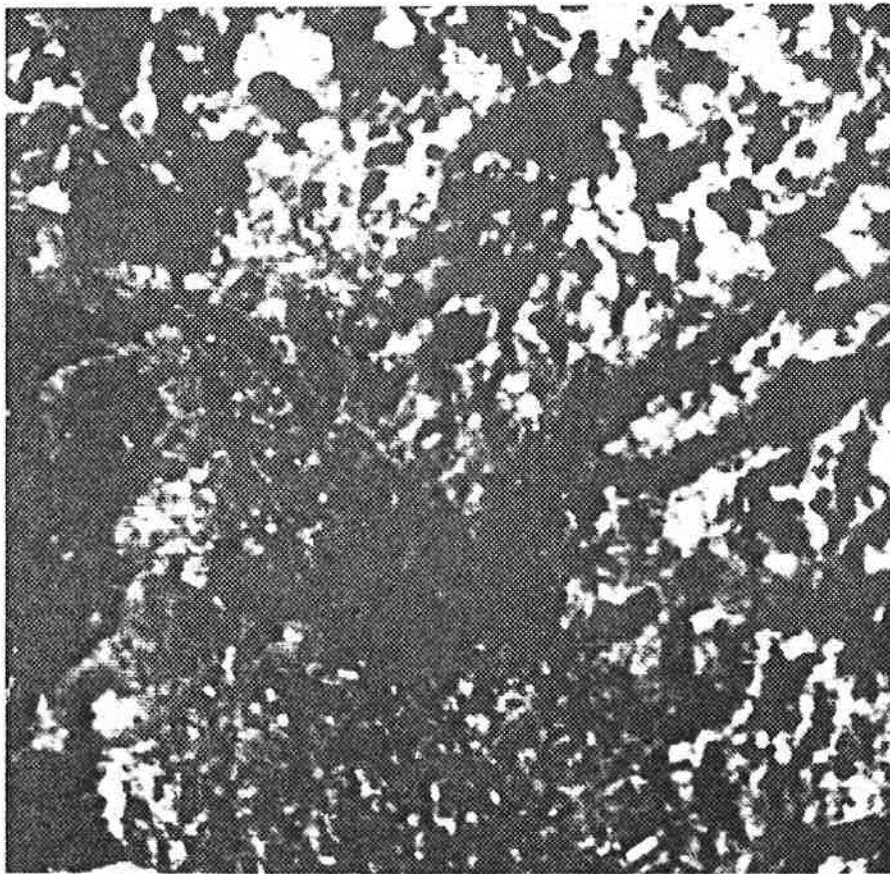
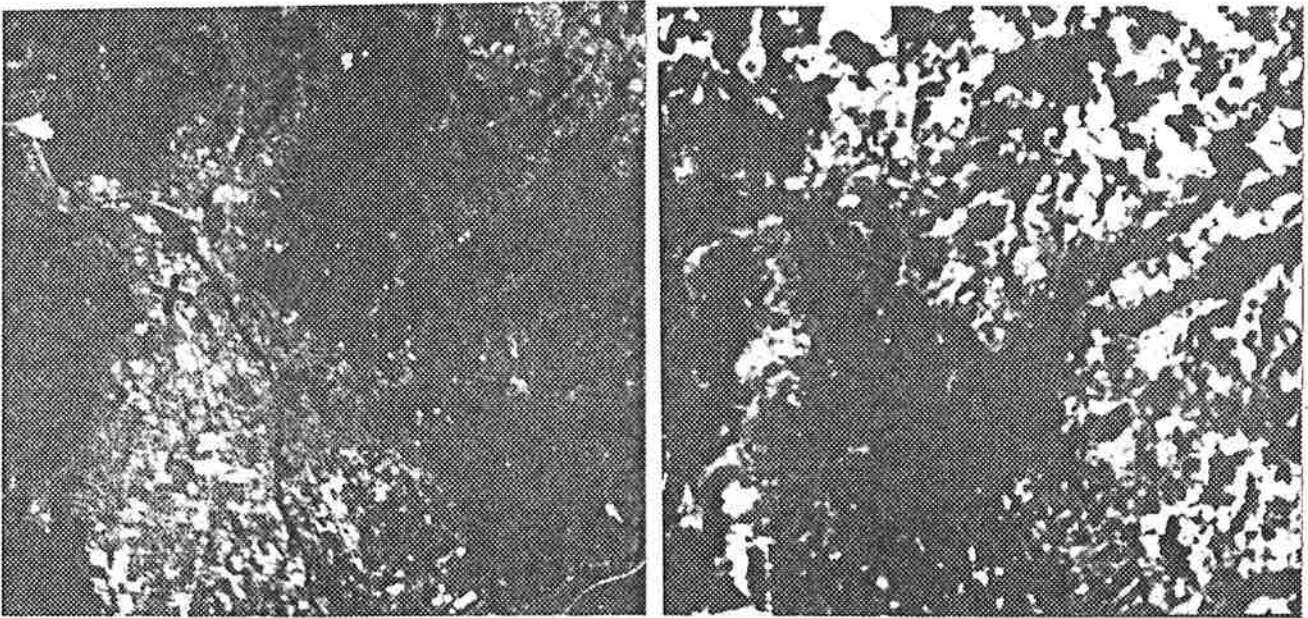


Abbildung 7.10: Überlagerung von MSS - und RBV - Bild als Beispiel
für die Verknüpfung multispatialer Bilddaten.
(a) RBV, Bildpunktgröße $25 \times 25 \text{ m}^2$
(b) MSS, Bildpunktgröße $50 \times 50 \text{ m}^2$, zweifach vergrößert
(c) Addition von (a) und (b) (im Original in Farbe überlagert)

ABBILDUNGEN

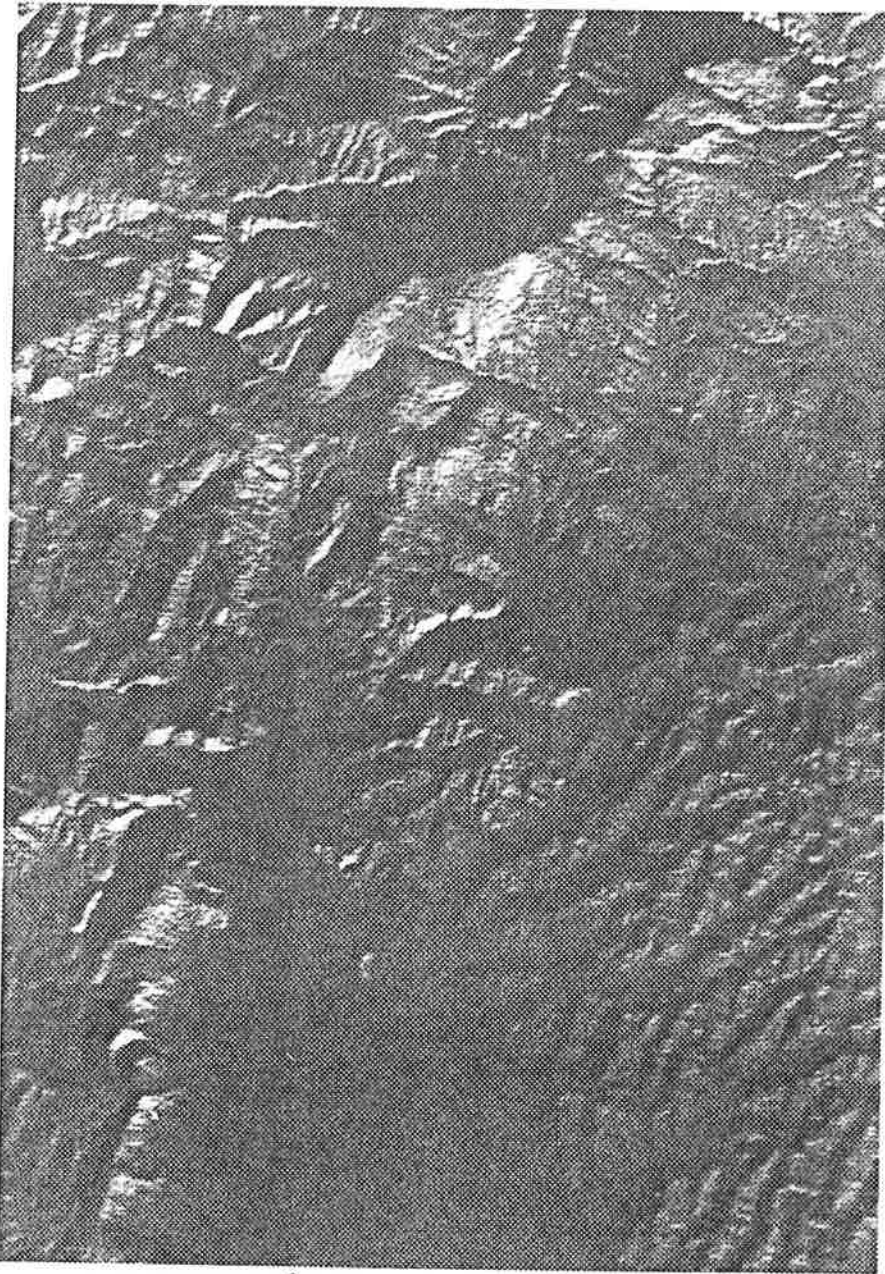


Abbildung 7.14: Simulierte Beleuchtung mit Sonnenstand 30.Dezember.
(OK 50, Blatt 164, GRAZ)

FARBABBILDUNGEN

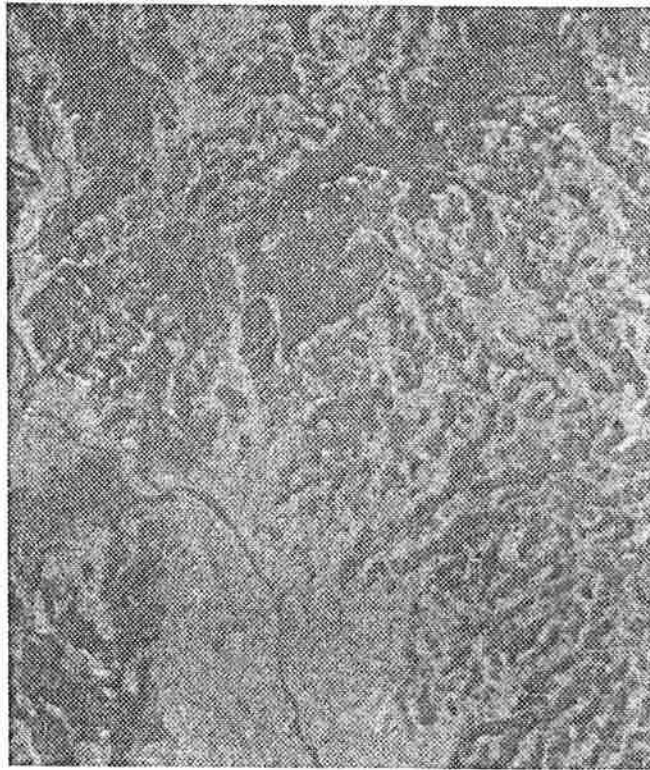


Abbildung 3.23: Standard-Falschfarbendarstellung. Kanal 7 rot, Kanal 5 grün, Kanal 4 blau in additiver Farbmischung. Die Kanäle wurden einzeln kantenverstärkt. (LANDSAT-MSS, April, Ausschnitt GRAZ, entzerrt)

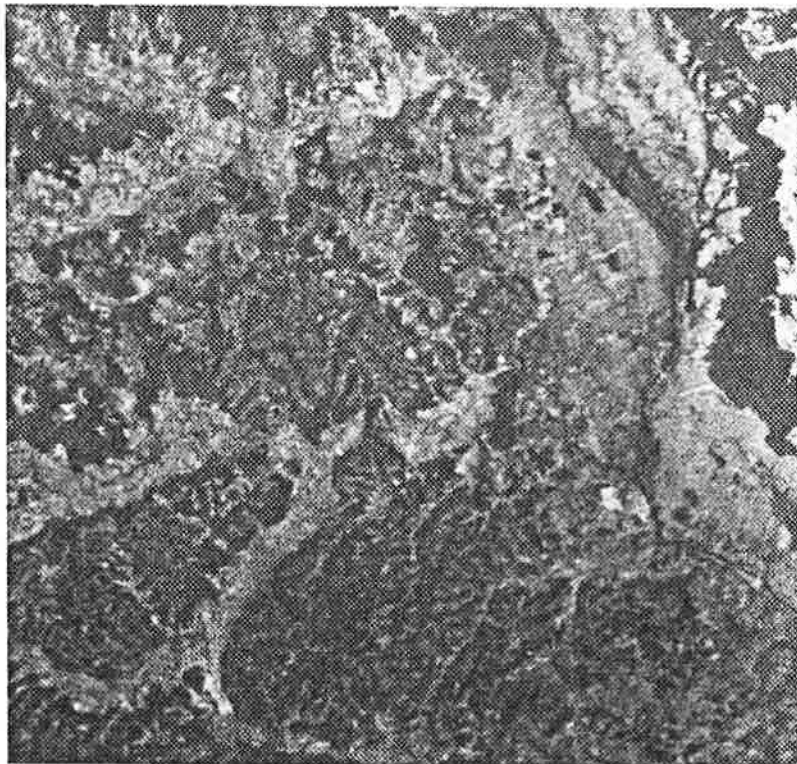


Abbildung 3.24: Durch die Darstellung von Kanal 5 in rot, Kanal 4+7 in grün und Kanal 4 in blau lassen sich die natürlichen Farben annähern. (LANDSAT-MSS, April, Ausschnitt LEIBNITZ, entzerrt)

FARBABBILDUNGEN

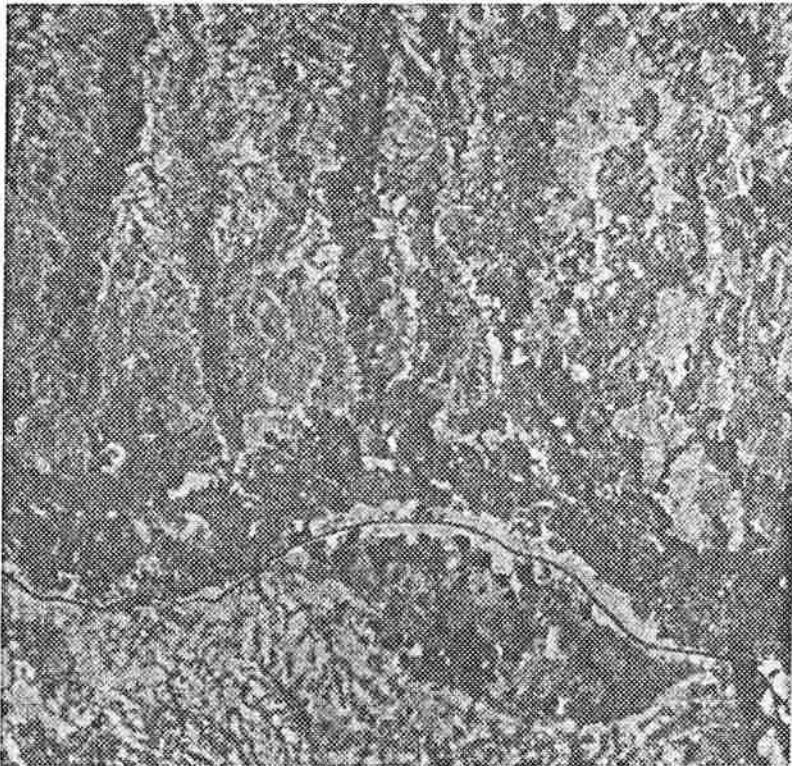


Abbildung 3.25: Farbdarstellung unter Verwendung von Ratiobildern. Hier sind die Ratios 7/6 in rot, 6/5 in grün, 5/4 in blau dargestellt. (LANDSAT-MSS, Juni, Ausschnitt BAD RADKERSBURG, entzerrt)

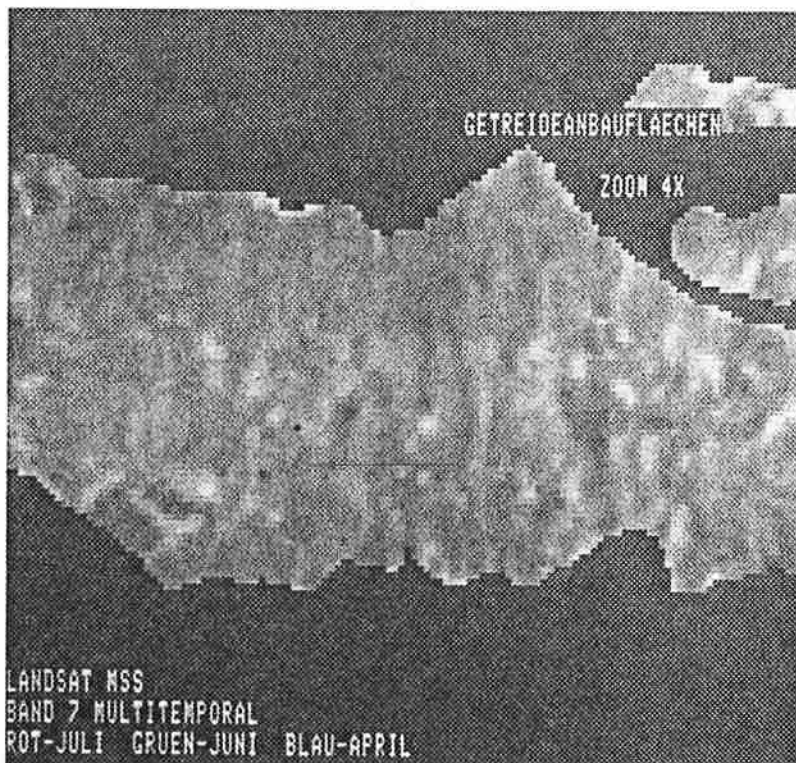


Abbildung 3.26: Gemeinsame Darstellung von zu verschiedenen Zeitpunkten aufgenommenen Bildern. rot - Juli; grün - Juni; blau - April. Zu dieser Darstellung ist die geometrische Überlagerung der einzelnen Bilder notwendig. Hier wurde außerdem eine aus einer thematischen Karte übernommene Maske verwendet, um Anbauflächen besonders hervorzuheben. (LANDSAT-MSS, Kanal 7, Ausschnitt BAD RADKERSBURG, vergrößert)

FARBABBILDUNGEN

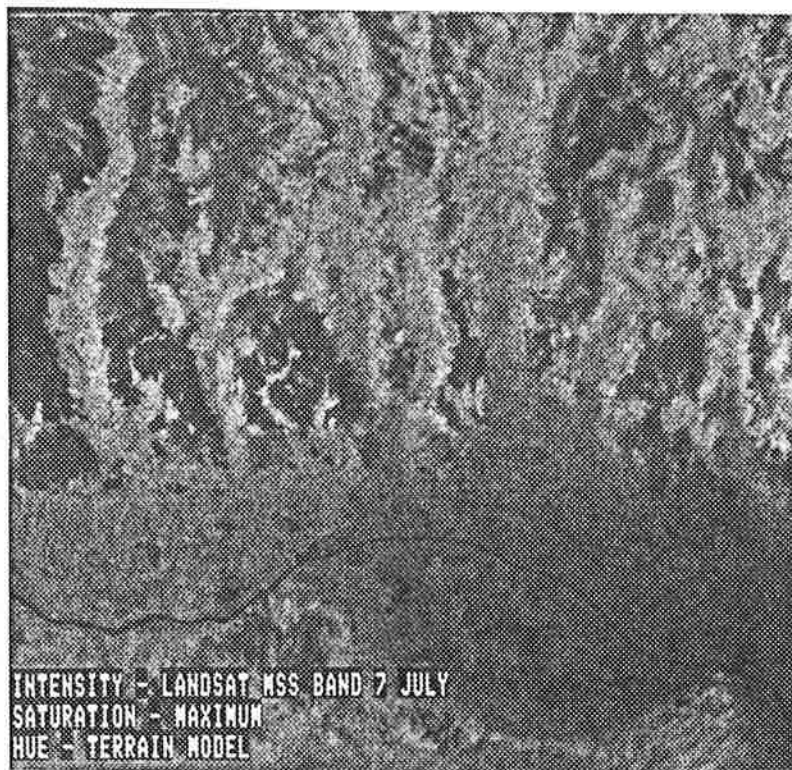


Abbildung 3.29: Überlagerung eines Bildes mit dem digitalen Geländemodell. Dabei wurde die in Abschnitt 3.4. beschriebene IHS-RGB - Transformation benutzt. Die Intensität wird durch die Bildwerte des MSS-Bildes (Juli, Kanal 7, Ausschnitt BAD RADKERSBURG) bestimmt; die Sättigung maximal angenommen, die Farbfolge blau, grün, rot, magenta gibt die Geländehöhen an.

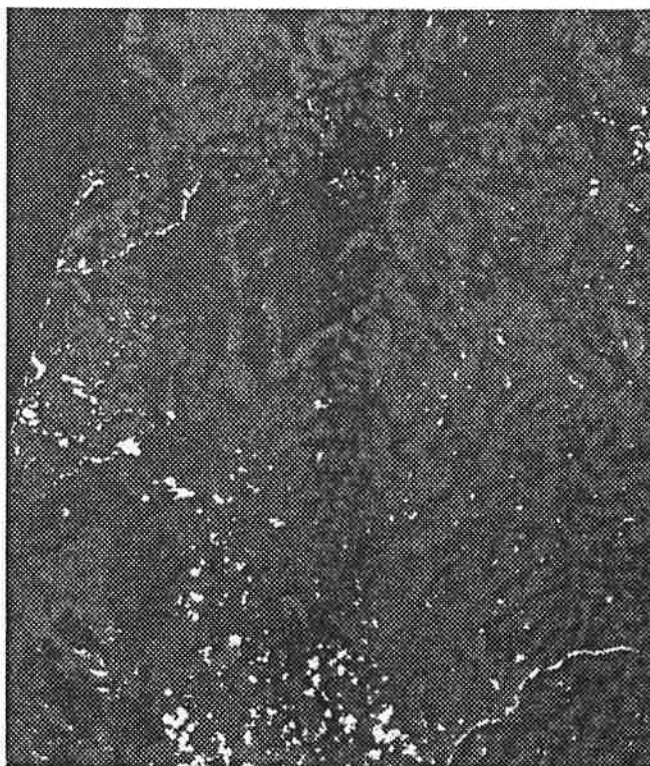


Abbildung 7.17: Ergebnis einer Testklassifizierung mit multitemporalen Merkmalen für den Ausschnitt GRAZ. Farben: dunkelrot - dichte Bebauung; orange - Siedlung; gelb - landwirtschaftliche Nutzung; hellgrün - Laub - und Mischwald; dunkelgrün - Nadelwald; weiß - Brachland

FARBABBILDUNGEN

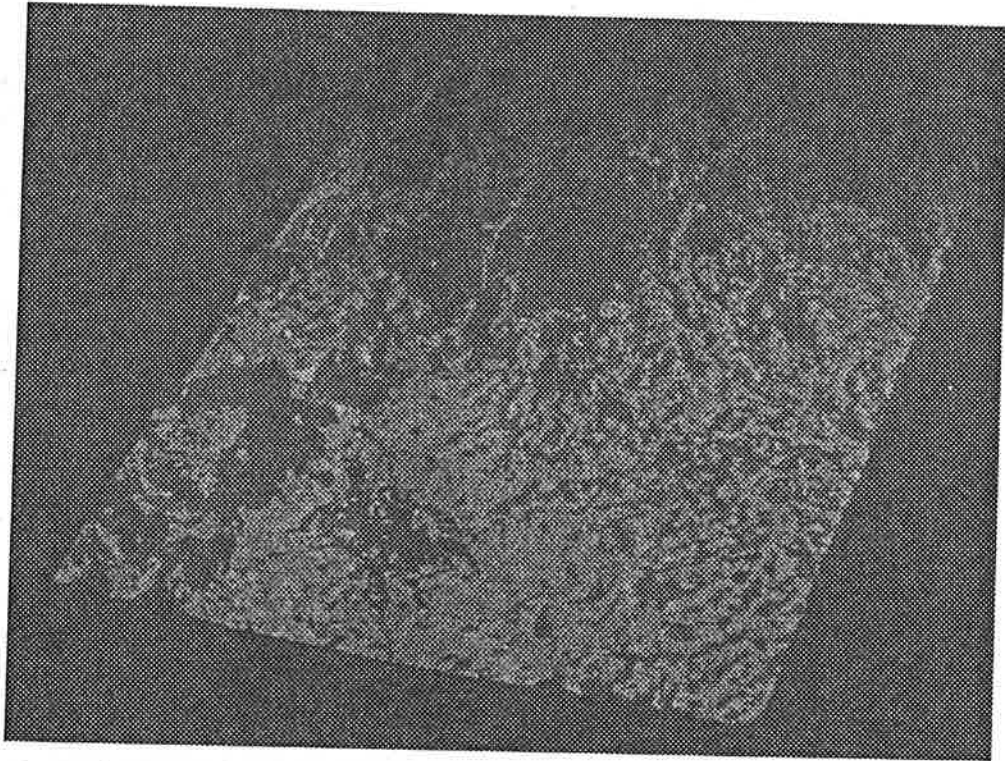


Abbildung 7.19: Darstellung des Klassifizierungsergebnisses in perspektiver Ansicht mit Hilfe eines digitalen Höhenmodells.

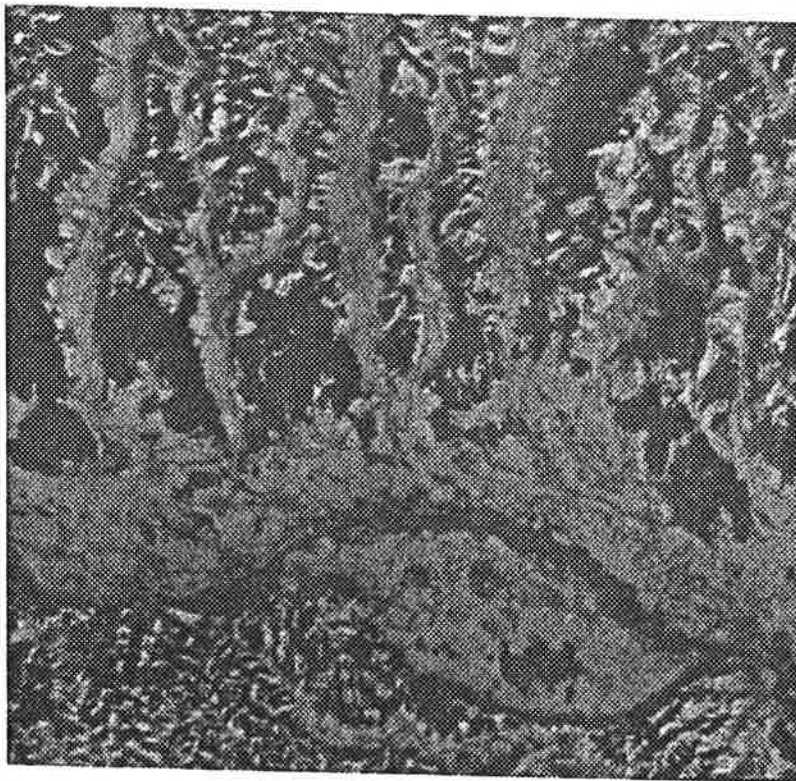


Abbildung 8.1: LANDSAT-MSS, Dezember, Ausschnitt BAD RADKERSBURG
In dieser Aufnahme sind eindeutig Gebiete mit einer hochstämmigen
Vegetation zu erkennen, wobei bedingt durch die Schneebedeckung
auch gut die kleinen, gewässerbegleitenden Wälder zur Geltung kommen.

FARBABBILDUNGEN

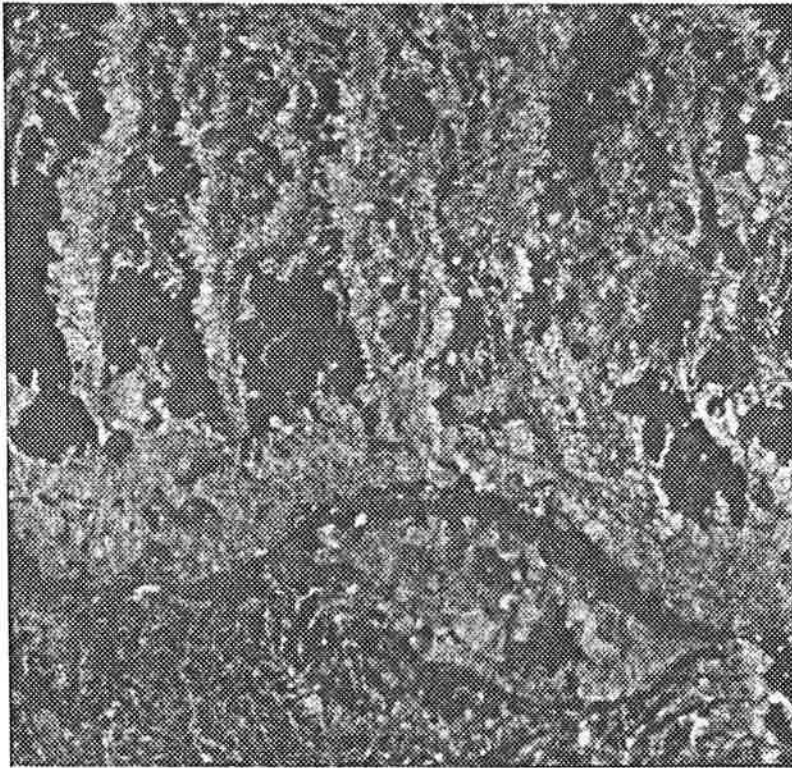


Abbildung 8.2: Multitemporale Überlagerung von LANDSAT-MSS Bildern. Kanal 5, Ausschnitt BAD RADKERSBURG, rot-April; grün-Juni; blau-Juli. Deutliche Differenzierung der Landnutzung. Klar sind verbaute Gebiete, landwirtschaftlich genutzte Flächen, Wälder (mit deutlicher Unterscheidung der Auwälder von den Wäldern im tertiären Hügelland) sowie Gewässer zu erkennen. Innerhalb der Waldflächen lassen sich einzelne Waldtypen unterscheiden.

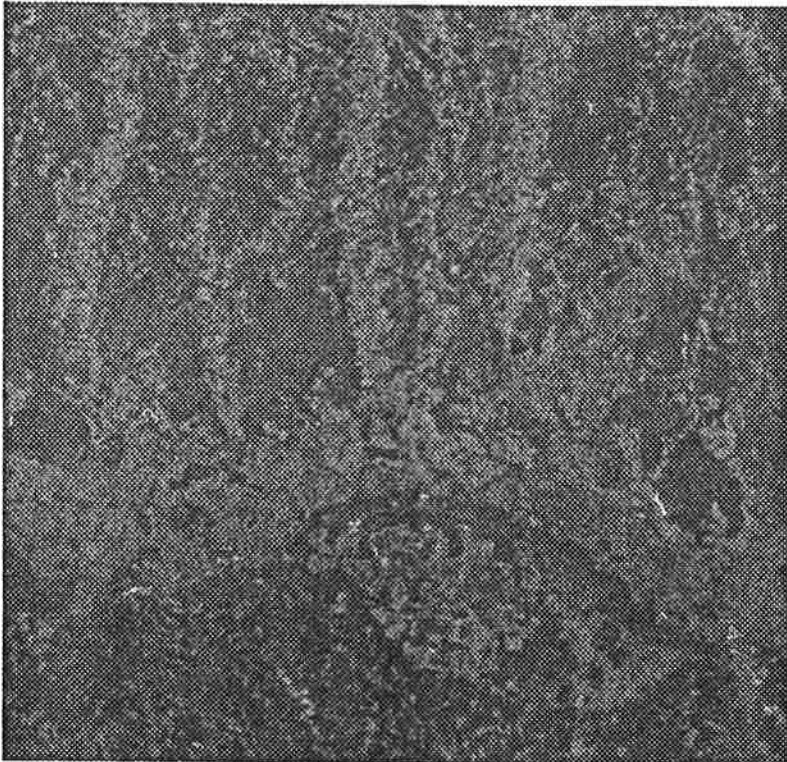


Abbildung 8.3: Farbtransformation der ersten beiden Hauptkomponenten des Multispektralbildes vom 16. 6. 81, Ausschnitt BAD RADKERSBURG. Zu den schon in Abbildung 8.2 dargestellten Interpretationen werden noch deutlicher die verschiedenen Waldtypen gezeigt. Außerdem können bei den Gewässern mehrere Klassen unterschieden werden.

LITERATUR

- ANDREWS H., HUNT B. (1977): Digital Image Restoration. Prentice - Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- ANUTA P. (1977): Computer Assisted Analysis Techniques for Remote Sensing Data Interpretation. Geophysics, Vol. 42, No. 3.
- ANTONISSE H.J. (1981): Image Segmentation in Pyramids. Techn. Report TR-1045, University of Maryland.
- ARL-Nachrichten (1981): Expertengespräch Digitale Bildverarbeitung. Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Band 23, Hannover.
- ASP (1975): American Society of Photogrammetry. Manual of Remote Sensing. 2 Bde. Falls Church, Virginia.
- ASP (1980): American Society of Photogrammetry. Manual of Photogrammetry. 4. Auflage. Falls Church, Virginia.
- AUTOCARTO - Tagungen (seit 1978): Jährliche Tagung über neue Entwicklungen der automatischen Kartographie und des Geoinformationswesens. ASP, Falls Church, Virginia.
- BAKER T.C. (1982): Update on a System for Large Area Crop Inventory from Remotely Sensed Data. MPRSD, Juli 1982.
- BARROW H.G. u.a. (1977): Experiments in Map-Guided Photo-Interpretation. Proc. 5th Intern. Joint Conference on Artificial Intelligence. MIT, Cambridge, Mass., August 1977.
- BAUMGART J., QUIEL F. (1981): Einfluß verschiedener Klassifizierungsparameter auf die Landnutzungskartierung mit LANDSAT-Daten. Bildmessung und Luftbildwesen, Heft 2/1981.
- BATSON R.M., EDWARDS K., ELIASON E.M. (1976): Synthetic Stereo and LANDSAT Pictures. PERS Vol. 42 No. 10.
- BERK T., BROWNSTON L., KAUFMAN A. (1982): A Human Factors Study of Color Notation Systems for Computer Graphics. Comm. ACM, Vol. 25, No. 8.
- BESSE L., SEIDEL K., KÜBLER O. (1981): Large Scale Multipurpose Interactive Image Processing Facility at ETH-Zürich. Proc. SPIE, Vol. 301.
- BLUM E. (1982): Ein interaktives Verfahren zur Klassifikation von multivariaten Fernerkundungs-Bilddaten. Zürcher Geographische Schriften No. 6, ETH Zürich.
- BRADY M. (1982): Computational Approaches to Image Understanding. ACM Computing Surveys, Vol. 14, No. 1.
- BROWN A. (1982): A New ITC Colour Chart Based on the Ostwald Colour System. ITC Journal 1982-2.
- BRYANT N.A., ZOBRIST A.L. (1976): IBIS: A Geographic Information System Based on Digital Image Processing and Image Raster Datatype. MPRSD, Juni 1976.
- BUCHANAN M.D., PRENDERGRASS R. (1980): Digital Image Processing: Can Intensity, Hue and Saturation Replace Red, Green and Blue? Electro-Optical Systems Design, March 1980.
- CLARK B.P. (1982): Quality Control for Remotely Sensed, Digitally Processed Imagery. Symp. ISPRS Comm. II., Ottawa, Sept. 1982, Int. Arch. Photogrammetry Vol. 24-II.
- COLVOCORESSES A.P. (1982): The Economic Feasibility of Operational Earth Sensing from Space. Symp. ISPRS Comm. IV, Washington D.C., August 1982.

- DAILY M.I. u.a. (1979): Geologic Interpretation from Compositing Radar and LANDSAT Imagery. PERS Vol.45, No. 8.
- DANIELSSON P., LEVIALDI S. (1981): Computer Architectures for Pictorial Information Systems, IEEE Computer, Vol. 14, No. 11.
- DEHN M.(1981): Multispektral Texturanalyse. Bildmessung und Luftbildwesen, Heft 4/1981.
- DENNERT-MÖLLER E. u.a. (1982): Das digitale Bildverarbeitungssystem MOBI-DIVAH. Bildmessung und Luftbildwesen, Heft 6/1982.
- DEVIJVER P.A., KITTLER J. (1982): Pattern Recognition: A Statistical Approach. Prentice - Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- DIARRA G. (1983): RECTIF - A Digital Image Rectification System. DIBAG-Bericht Nr. 10, Forschungszentrum Graz.
- DIARRA G. (1984): The Production of a Registered Data Set of Remote Sensing Imagery and Map Data. DIBAG-Bericht Nr. 13, Forschungszentrum Graz.
- DIERKE Weltraumbild-Atlas (1981): Westermann, Braunschweig.
- DOSIERE P., JUSTICE C. (1983): Spatial and Radiometric Resolution of the LANDSAT-3 RBV System. Int. J. Remote Sensing, Vol. 4, No. 2.
- DTM - SYMPOSIUM (1981): Tagungsband, zu beziehen durch ASP, Falls Church, Virginia.
- DUDA R., HART P. (1973): Pattern Classification and Scene Analysis. Wiley, New York.
- EHLERS M. (1982): Vergleich verschiedener Zielfunktionen zur digitalen Korrelation bei künstlich verrauschten Bildern. Vortrag beim Arbeitskreis für numerische Photogrammetrie der DGPF, Köln, Oktober 1982.
- ELIASON P.T., SODERBLOM L.A., CHAVEZ P.S. (1981): Extraction of Topographic and Spectral Albedo Information from Multispectral Images. PERS, Vol. 48, No. 11.
- EVANS W.F. (1974): Marking ERTS Images with a Small Mirror Reflector. PERS Vol. 40, No. 6.
- FEIGIN G., BEN-YOSEF N. (1983): Line Thinning Algorithm. Proc. SPIE, Vol. 397.
- FIEDLER R. (1979): Beitrag zur automatischen Untersuchung und Erkennung von Texturen in digitalisierten Bildern aus der Fernerkundung. Forschungsbericht der DFVLR-FB 79-08.
- FISCHLER M.K., TENENBAUM J.M., WOLF H.C. (1981): Detection of Roads and Linear Structures in Low Resolution Aerial Imagery Using a Multisource Knowledge Integration Technique. Computer Graphics and Image Processing Vol. 15 p. 201-223.
- FU K.S., MUI J.K. (1981): A Survey on Image Segmentation. Pattern Recognition Vol.13 p. 3-16.
- FU K.S. (1982): Syntactic Pattern Recognition and Applications. Prentice - Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- FUSCO L. (1982): Integrated Quality Monitoring: The Earthnet Approach. Symp. ISPRS Comm. II., Ottawa, Sept. 1982, Int. Arch. Photogrammetry Vol. 24-II.
- GILGEN H.J. (1981): Bezugnahme von MSS-Daten auf bestehende digitale Datenbanken. Zürcher Geographische Schriften No. 5, ETH Zürich.
- GÖPFERT W. (1981): Ein Entzerrungsverfahren zur Herstellung digitaler Orthophotos. Bildmessung und Luftbildwesen, Heft 2/1981.
- GÖPFERT W. (1983): Persönliche Mitteilung

- GOETZ, A.F.H. u.a. (1975): Application of ERTS Images and Image Processing to Regional Geologic Problems and Geologic Mapping in Northern Arizona. Jet Propulsion Laboratory, Techn. Report 32-1597, Pasadena, Kalifornien.
- GONZALEZ R.C., WINTZ P. (1977): Digital Image Processing. Addison-Wesley, Reading, Mass.
- GORDON F. (1983): The Time-Space Relationship Among Data Points from Multispectral Scanners. Int. J. Remote Sensing, Vol. 4, No. 3.
- GÖTTING H.R. (1982): Fernerkundung mit LANDSAT sowie die Verarbeitung der Daten zur Herstellung einer Landnutzungskarte des Landkreises Tübingen im Maßstab 1:50 000. Forschungsbericht der DFVLR-FB 82-30.
- GRANLUND G.H. (1980): Feedback Processing of Image Information In: Gelsema, Kanal (Hrsg.) Pattern Recognition in Practice, North Holland Publishing Company, Amsterdam-New York-Oxford.
- GROCH W.D. (1980): Automatisierung der Extraktion linienhafter Objekte aus Grauwertbildern. Dissertation Univ. Karlsruhe.
- GUERTIN F.E., SHAW E. (1981): Definition and Potential of Geocoded Satellite Imagery Products. Presented Paper, 7th Canadian Symposium on Remote Sensing, Winnipeg, Manitoba, Sept. 1981.
- GURNEY C.M., TOWNSHEND J.R.G. (1983): The Use of Contextual Information in the Classification of Remotely Sensed Data. PERS, Vol. 49, No. 1.
- HABERÄCKER P. (1977): Untersuchungen zur Klassifizierung multispektraler Daten aus der Fernerkundung. Forschungsbericht der DFVLR-FB 77-72.
- HABERÄCKER u.a. (1979): Auswertung von Satellitenaufnahmen zur Gewinnung von Flächennutzungsdaten. Schriftenreihe 'Raumordnung' des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau 06.039/1979, Bonn.
- HALL E.L. (1982): Computer Image Processing and Recognition. Academic Press, New York.
- HARALICK R.M. u.a. (1976): KANDIDATS Image Processing System. MPRSD, Juni 1976.
- HARALICK R.M. (1979): Statistical and Structural Approaches to Texture. Proc. IEEE Vol. 67.
- HARALICK R.M. (1981): Some Neighbourhood Operators. In: Onoe u.a. (Hrsg.), Real-Time/Parallel Computing, Plenum Press, New York, London.
- HAYDN R. u.a. (1982): Application of the IHS Color Transform to the Processing of Multisensor Data and Image Enhancement. Presented Paper Intl. Symp. on Remote Sensing of Arid and Semi-Arid Lands, Cairo, Egypt, Jan. 1982.
- HELAVA U., CHAPELLE W. (1972): Epipolar Scan Correlation. Bendix Technical Journal, Vol. 5, No. 1, S. 19-23.
- HENDERSON C.E. (1981): Normalisation of LANDSAT MSS-Data Using Digital Elevation Models. ASP-ACSM Fall Technical Meeting Sept. 1981.
- HOFFER R.M. (1967): Interpretation of Remote Multispectral Imagery of Agricultural Crops. Lab. for Agricultural Remote Sensing, Vol.1, Research Bulletin No. 831, Purdue University, West-Lafayette, Indiana.
- HOLBEN B. JUSTICE C. (1981): An Examination of Spectral Band Ratioing to Reduce the Topographic Effect on Remotely Sensed Data. Int. J. Remote Sensing, Vol. 2, No. 2.

- HUMMEL R.A., ZUCKER S.W. (1980): On the Foundation of Relaxation Labelling Processes. Proc. 5th Int. Conf. on Pattern Recognition, IEEE, Dec. 1980.
- HUNT B.R., KÜBLER O. (1983): Optimal Theory of Multispectral Image Restauration. Proc. SPIE, Vol. 397-65.
- ITTEN K.I. (1980): Grossräumige Inventuren mit LANDSAT-Erderkundungssatelliten. Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Bonn.
- JANSA J., ZIERHUT H. (1981): Eine österreichische Satellitenbildkarte. Österr. Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie, 69.Jg., 1981/Heft 2.
- JANSA J. (1982): PRESDO - Ein Computerprogramm für die Rektifizierung von Scannerbildern. In: Schneider, Schuster (Hrsg.) Bildverarbeitung: Datenstrukturen Anwendungen. Schriftenreihe der ÖCG, Nr. 15.
- JUSTICE C., WHARTON S.W., HOLBEN B.N. (1981): Application of Digital Terrain Data to Quantify and Reduce the Topographic Effect on LANDSAT Data. Int. J. Remote Sensing, Vol.2, No. 3.
- KAINZ W., RANZINGER M. (1983): DESBOD - A Geographical Information System. Proc. CAMP 83, Berlin, März 1983.
- KARPLUS W.J., COHEN D. (1981): Architectural and Software Issues in the Design and Application of Peripheral Array Processors. IEEE Computer, Vol. 14, No. 9.
- KAZMIERCZAK H. (Hrsg., 1980): Erfassung und maschinelle Verarbeitung von Bilddaten. Springer, Wien - New York.
- KITTLER J. (1977): Feature Selection Methods Based on the Karhunen-Loeve Expansion. In: Fu, Whinston (Hrsg.) Pattern Recognition-Theory and Application. Nordhoff Intern. Publishing, Leyden.
- KONECNY G. (1976): Mathematical Models and Procedures for the Geometric Restitution of Remote Sensing Imagery. Presented Paper ISP Comm. III., Helsinki.
- KONECNY G., SCHUHR W., WU J. (1982): Untersuchungen über die Interpretierbarkeit von Bildern unterschiedlicher Sensoren und Plattformen für die kleinmaßstäbige Kartierung. Bildmessung und Luftbildwesen, Heft 6/1982.
- KOWALIK W.S., LYON R.J.P., SWITZER P. (1983): The Effect of Additive Radiance Terms on Ratios of LANDSAT Data. PERS, Vol. 49, No. 5.
- KRAUS K. (1979): Zur Theorie der Klassifizierung multispektraler Bilder. Bildmessung und Luftbildwesen, Heft 4/1979.
- KRATKY N. (1972): Photogrammetric Solution for Precision Processing of ERTS Images. Intern. Congress of Photogrammetry, Ottawa.
- KROPATSCH W., LEBERL F. (1981): Automated Registration of Scanned Satellite Imagery with a Digital Map Data Base. DIBAG-Bericht Nr. 1, Forschungszentrum Graz.
- KROPATSCH W. (1982): Knowledge-Based Image Segmentation of CT-Images. In: Schneider, Schuster (Hrsg.) Bildverarbeitung: Datenstrukturen, Anwendungen. Schriftenreihe der ÖCG.
- KUGLER J., WAHL F. (1979): Kantendetektion mit lokalen Operatoren. In: Foith (Hrsg.) Angewandte Szenenanalyse, Informatik - Fachberichte 20, Springer, Berlin.
- LANDGREBE D., PHILLIPS T. (1967): A Multichannel Image Data Handling System for Agricultural Remote Sensing. LARS Techn. Report 062667, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- LARSYS (1973): LARSYS System Manual, Purdue University, West Lafayette, Indiana.

- LAUER D.T., TODD W.J. (1981): Land Cover Mapping with Merged LANDSAT RBV and MSS Stereoscopic Images. ASP-ACSM Fall Technical Meeting, Sept. 1981.
- LEBERL F. (1982): The Applicability of Satellite Remote Sensing to Small and Medium Scale Mapping. Proc. EARSEL- ESA Symposium, Igls, Austria, April 1982.
- LEBERL F., OLSON D. (1982): Raster Scanning for Operational Digitizing of Graphical Data. PERS, Vol. 48, No. 4.
- LEBERL F., RAGGAM J., RANZINGER H. (1983): Zur Nutzung multispektraler Satellitendaten. Osterr. Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie, 71.Jg., Heft 1.
- LICHTENEGGER I., SEIDL K., KÜBLER O. (1978): Methoden zur Überlagerung von LANDSAT-Bildern für multitemporale Landnutzungskartierungen. Bildmessung und Luftbildwesen, Heft 2/1978.
- LITTLE J.J. (1980): Automatic Registration of LANDSAT Images Using Features Selected from Digital Terrain Models. Proc. CSCSI/SCEIO, Victoria, Canada, May 1980.
- MANTOCK J.M., FUKMAGA K. (1980): A Two-Dimensional Display for Multiclass Multivariate Data. In: Gelsema, Kanal (Hrsg.) Pattern Recognition in Practice, North Holland Publishing Company, Amsterdam-New York-Oxford.
- MERGERSON J.W. et al (1982): AGRISTARS DCLC Four State Project MPRSD, Juli 1982.
- MINNAERT M. (1961): The Solar System, Vol. III. University of Chicago Press.
- MOIK J.G. (1980): Digital Processing of Remotely Sensed Images. NASA SP-431, Washington D.C.
- NAGY G. (1982): Advances in Information Techniques. MPRSD.
- NATHAN R. (1966): Digital Video Data Handling Report. JPL, Techn. Report 32-877, Pasadena, Kalifornien.
- NIEMANN H. (1983): Klassifikation von Mustern. Springer, Berlin - Heidelberg - New York.
- NEUMANN B. (1981): 3-D Information aus mehrfachen Ansichten. In: Modelle und Strukturen, Informatik - Fachberichte 49, Springer, Berlin - Heidelberg - New York.
- NIBLACK W. (1981): The Central Point Library Building System. PERS, Vol. 47, No. 12.
- OSWALD H., KROPATSCH W., LEBERL F. (1982): A Perspective Projection Algorithm with Fast Evaluation of Visibility for Discrete Three-Dimensional Scenes. IEEE-ISMI '82, No. 82CH 1804-4, S.464-468.
- OSWALD H., RAETZSCH H. (1983): A System for Generation and Display of Digital Elevation Models. Geo-Processing, im Druck.
- PAVLIDIS T. (1982): Algorithms for Graphics and Image Processing. Springer, Berlin-Heidelberg.
- PELED A. (1979): A Low-Cost Image Processing Facility. In: Stucki (Hrsg.), Advances in Digital Image Processing, Plenum Press, New York, London.
- PÖPPL S.J. (1979): Affinitäten und Abstandsmaße von Verteilungen zur Schätzung von Fehlklassifikationswahrscheinlichkeiten. In: Foith (Hrsg.) Angewandte Szenenanalyse, Informatik-Fachberichte 20, Springer, Berlin-Heidelberg-New York.
- POTTER J.L. (1983): Image Processing on the Massively Parallel Processor. IEEE-Computer, Vol. 16, No. 1.

- PRATT W.K. (1978): Digital Image Processing; J. Wiley, New York.
- PESSL P. (1983): Kenntnisgestützte Liniensuche in digitalen Bildern. Diplomarbeit, TU Graz, DIBAG-Bericht Nr. 7, Forschungszentrum Graz.
- PRESTON K.Jr. (1980): Image Manipulative Languages. A Preliminary Survey. In: Gelsema, Kanal (Hrsg.), Pattern Recognition in Practice, North Holland, Amsterdam-New York-Oxford.
- RANZINGER H. (1981): DIBAG - Ein portables Bildverarbeitungssystem. In: Leberl, Ranzinger (Hrsg.). Bildverarbeitung und Mustererkennung in Österreich. Schriftenreihe der ÖCG.
- RANZINGER H. (1982): Digitale Bildkorrelation auf einem parallelen Bildverarbeitungsprozessor. Vortrag beim Arbeitskreis für Numerische Photogrammetrie der DGPF, Köln, Okt. 1982.
- RANZINGER H., KROPATSCH W. (1983): Recognition of Areal Features for Map-Guided Image Analysis. Proc. SPIE, Vol. 397-01.
- RANZINGER H. (1983): Image Processing with an Array Processor. Proc. SPIE Vol. 397-59.
- REBILLARD P., EVANS D. (1983): Analysis of Coregistered LANDSAT, SEASAT and SIR-A Images of Varied Terrain Types. Geographical Research Letters, Vol. 10, No. 4.
- REEVES A.P., ROSTAMPOUR A. (1982): Computational Cost of Image Registration with a Parallel Binary Array Processor. IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-4, No. 4.
- ROBINSON G.S. (1976): Edge Detection by Compass Gradient Masks. Computer Graphics and Image Processing. Vol. 6, p. 492-501.
- ROSENFELD A., PFALTZ J.L. (1968): Distance Functions on Digital Pictures. Pattern Recognition, Vol. 1, No. 1.
- ROSENFELD A., KAK A.C. (1976, 1982): Digital Picture Processing. 1., 2. Auflage, 2 Bände, Academic Press, New York.
- ROSENFELD A. (1983): Parallel Image Processing Using Cellular Arrays. IEEE Computer, Vol. 16, No. 1.
- SAINT G. et al. (1983): Comparison of SPOT - HRV and LANDSAT 4-TM for Crop Inventory. MPRSD, Juni 1983.
- SAMET H. (1981): An Algorithm for Converting Rasters to Quadrees. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-3, No. 1.
- SCHOWENGERDT R.A. (1980): Reconstruction of Multispatial, Multispectral Image Data Using Spatial Frequency Content. PERS, Vol. 46, No.10.
- SCHUHR W. (1976): Digitale Entzerrung multispektraler Bilder. Bildmessung und Luftbildwesen, Heft 5/1976.
- SCLOVE S.L. (1982): Application of the Conditional Population Mixture Model to Image Segmentation. Techn. Report No. A 82-1, Univ. Illinois at Chicago Circle.
- SEIDEL K., ADE F., LICHTENEGGER J. (1982): Augmenting LANDSAT MSS-Data with Topographic Information for Enhanced Registration and Classification. IEEE Digest IGARSS 1982.
- SHIBATA T., FREI W., SUTTON M. (1981): Digital Correction of Solar Illumination and Viewing Angle Artefacts in Remotely Sensed Images. MPRSD, Juni 1981.
- SLATER P.N. (1980): Remote Sensing-Optics and Optical Systems. Addison-Wesley, Reading, Mass.
- SMITH J.A., LIN T.L., RANSON K.J. (1980): The Lambertian Assumption and LANDSAT Data. PERS Vol. 47, No. 9.

- SOLOMON H. (1977): Data Dependent Clustering Techniques. In: Van Ryzin (Hrsg.) Classification and Clustering, Academic Press, New York.
- STÄNZ K. (1978): Atmosphärische Korrekturen von Multispektraldaten des Erderkundungssatelliten LANDSAT-2. Diss. Univ. Zürich, Juris Druck und Verlag, Zürich.
- SWAIN P.H., DAVIS S.M., (Hrsg.), (1978): Remote Sensing: The Quantitative Approach. Mc-Graw Hill, New York.
- SWAIN P.H., SIEGEL H.J., SMITH B.W. (1980): Contextual Classification of Multispectral Remote Sensing Data Using a Multiprocessor System. IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-18, No. 2.
- STEINER D. (1980): Minicomputer-Based Geographical Data Processing System. In: Freeman H., Pieroni G.G. (Hrsg.) Map Data Processing, Academic Press, New York.
- TANAKA S., SUGA Y. (1979): Landscape Drawing from LANDSAT MSS-Data. PERS Vol. 45, No. 10.
- TENENBAUM J.M., u.a. (1979): Map-Guided Interpretation of Remotely Sensed Imagery. Pattern Recognition and Image Processing 2/1979. X
- TISCHLER G., KIENEGGER E., RANZINGER H. (1984): Landschaftsbewertung "Region LEIBNITZ". DIBAG-Bericht Nr. 12, Forschungszentrum Graz.
- TRIENDL E. u.a. (1982): DIBIAS-Handbuch. DFVLR, Oberpfaffenhofen.
- TOU J.T., GONZALEZ R.C. (1974): Pattern Recognition Principles. Addison-Wesley Publishing Company, London.
- VERDIN J., (1983): Corrected vs Uncorrected LANDSAT-4 MSS Data. NOAA LANDSAT Data Users Notes, Issue 27, Juni 1983.
- WIE P.W., STEIN M. (1977): A LANDSAT Digital Image Rectification System. IEEE Trans. Geoscience Electronics, Vol. GE-15, No.3.
- WIESEL J. (1977): DIDAK; A Digital Image Processing System. Proc. Intern. Symposium on Image Processing, Graz, Austria.
- WIESEL J. (1982): Passpunktbestimmung und geometrische Genauigkeit bei der relativen Entzerrung von Abtastdaten. Diss. TU Karlsruhe, DGK-Reihe C, Nr. 268.
- YETTIG L., LANDGREBE D. (1976): Classification of Multispectral Image Data by Extraction and Classification of Homogeneous Objects. IEEE Trans. Geoscience Electronics, Vol GE-14, S.19-26.
- YOU K.C., FU K.S. (1976): An Approach to the Design of a Linear Binary Tree Classifier. MPRSD, 1976.
- ZOBRIST A.L., NAGY G. (1981): Pictorial Information Processing of LANDSAT Data for Geographical Analysis. IEEE Computer, Vol. 14, No. 11.

LITERATUR ZU ABSCHNITT 8

- BECKEL L. (1976): Österreich im Satellitenbild. O. Müller, Salzburg.
- BECKEL L. (1981): Entwicklung und Stand der Fernerkundungstechnik von Satelliten und ihre Anwendung für Geographie und Kartographie. Geographische Mitteilungen 123, Wien.
- BECKEL L., SCHNEIDER S. (1975): Die Erde neu entdeckt. Hase u. Köhler, Mainz.
- BLODGET H.W., BROWN G.F. (1982): Geological Mapping by Use of Computer-Enhanced Imagery in Western Saudi Arabia. U.S.G.S. Professional Paper 1153, Washington.
- BORMANN P. (1980): Erdfernerkundung. Veröff. Zentralinst. Physik d. Erde, Akad.Wiss. DDR, Potsdam.
- BUCHROITHNER M. (1983): Linz im Satellitenbild. Linzer Atlas, H. 7, Linz.
- ENDLICHER W. (1980): Geländeklimatologische Untersuchungen im Weinbaugebiet des Kaiserstuhls. Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 150, Offenbach am Main.
- GROSSMANN H. (1980): Satelliten-Thermalbilder. Ein neues Hilfsmittel geographischer Forschung? Die Analyse einer HCMM- Aufnahme der Oberrheinebene und ihrer Randgebirge. Diss., Freiburg im Breisgau.
- GUPTA R.P. (1977): Delineation of Active Faulting and Some Tectonic Interpretations in the Munich-Milan Section of the Eastern Alps. Use of LANDSAT-1 and 2 Imagery. Tectonophysics, Bd. 38, S. 297-315. Amsterdam.
- HILDEBRANDT G. (1981): Einsatz von Fernerkundungsverfahren in der Forstwirtschaft. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt 135, Wien.
- KONECNY G. (1982): Satellite Data Systems. Resources for the Twenty-first Century. U.S.G.S. Professional Paper 1193, Washington.
- MATURA A. (1981): Die Anwendung der Fernerkundung in der Geologie. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt 135, Wien.
- PETTINGER L.R. (1982): Digital Classification of LANDSAT Data for Vegetation and Land-Cover-Mapping in the Blackfoot River Watershed, SE Idaho. U.S.G.S. Professional Paper 1219, Washington.
- POLLANSCHÜTZ J. (1981): Großräumige Immissionszonenkartierung in Steiermark und Tirol mit Falschfarbenluftbildern. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt 135, Wien.
- REED W.E., LEWIS J.E. (1978): Land Use and Land Cover Information and Air-Quality Planning. U.S.G.S. Professional Paper 1099-B, Washington.
- ROBINOVE C.J. (1979): Integrated Terrain Mapping with Digital LANDSAT Images in Queensland, Australia. U.S.G.S. Professional Paper 1102, Washington.
- ROTT H. (1981): Fernerkundung von Schnee und Eis im Hochgebirge. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt 135, Wien.
- SCHÄFFER G. (1983): Die Karte der geologisch-geotechnischen Risikofaktoren der Republik Österreich 1:50 000 anhand des Beispiels von Blatt 66 Gmunden. Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 1983, Gmunden, 26.-30.Sept.1983.
- TOLLMANN A. (1977): Die Bruchtektonik Österreichs im Satellitenbild. N.Jb. Geol. Paläont. Abh., Bd. 153, S. 1-27, Stuttgart.
- ZIRM K.L. (1981): Fernerkundungsverfahren im Umweltschutz. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt 135, Wien.
- ZWATZ-MEISE V. (1981): Beispiele zur Anwendung der Fernerkundung in der Synoptik. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt 135, Wien.

ABKÜRZUNGEN

ACSM	American Congress of Surveying and Mapping
ASP	American Society of Photogrammetry
CACM	Communications of the Association for Computing Machinery
DFVLR	Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt
DGPF	Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung
IEEE	International Institute of Electrical and Electronical Engineers
IGARSS	International Geoscience and Remote Sensing Symposium
ISPRS	International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
ITC	International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences, Enschede, Niederlande.
JPL	Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California.
LARS	Laboratory for Applications of Remote Sensing. Purdue University, West Lafayette, Indiana.
MPRSD	Machine Processing of Remotely Sensed Data. Purdue University, West Lafayette, Indiana.
ÖCG	Österreichische Computer Gesellschaft
PERS	Photogrammetric Engineering and Remote Sensing
SPIE	Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers

D I B A G - BEFEHLSVORRAT

Mit * bezeichnete Befehle benötigen spezielle Geräte
Mit + bezeichnete Befehle sind auf das verwendete
Computersystem abgestimmt und müssen angepaßt werden

Lesen/Schreiben von Magnetbändern verschiedener Formate Umwandlung von Datenformaten

CT256	Computertomogramme
DEZDSK	Liste mit Dezimalwerten
LDSAT	LANDSAT MSS - NASA
OPTIN	Optronics - Abtasterdaten lesen
OPTOUT	Bild für Ausgabe auf Optronics - Filmschreiber aufbereiten
SAR	SAR-580 (Flugzeugradar)
SARTEST	Begleitinformation SAR-580
SEASAT	SEASAT JPL - Format
TELSAT	LANDSAT MSS Telespazio-Format
TELEHD	Begleitinformation LANDSAT - Telespazio-Format
TELRBV	LANDSAT RBV Telespazio-Format

Bilddarstellung

BDDEZ	Bild als Dezimalzahlen in Matrixform drucken
BDGRAY	* Bild auf elektrostatischem Drucker darstellen
PLOTFO	* Äquidensitenlinien zeichnen
PRINT	Bild als Grautondarstellung (8 Stufen) drucken mit automatischer Histogrammäqualisierung

Organisation

ASN	+ Zuordnung von Ein- und Ausgabegeräten
BDINFO	+ Information über vorhandene Bilder
BKW	+ Definition des zu bearbeitenden Bildes und Bildausschnittes für mehrere Verarbeitungen
COM	+ Einfügung von Kommentaren in das Protokoll
END	+ Beendigung der Arbeit mit DIBAG
EXIT	+ Unterbrechung der Arbeit mit DIBAG
HELP	+ Information über Programmfunktionen
KILLBD	+ Löschen eines Bildes
KILLBIN	+ Löschen der Masken-Arbeitsdatei
KILLHIS	+ Löschen der Histogramm-Arbeitsdatei
KILLLOK	+ Löschen der Lookup-Tabellen-Arbeitsdatei
KILLWORK	+ Löschen aller Arbeitsdateien
LOG	+ Ausgabe der Protokolldatei
WORK	+ Information über Inhalt der Arbeitsdateien

Binärbild- und Maskenbearbeitung

BINAREA	Flächen- und Schwerpunktsberechnung
BINCORR	Maskenkorrelation
BINDRU	Maske drucken
BINEX	Maske für Verarbeitung unwirksam machen
BINFIL	Inneres eines von der Maske umschlossenen Gebietes auffüllen
BININ	Maske für Verarbeitung wieder wirksam machen
BINOP	Logische Verknüpfung von Masken
BINSHI	Maske in ihrem Fenster verschieben
LIBIN	Maske von Bilddatei in Arbeitsdatei laden
LIMAS	Maske von Maskendatei in Arbeitsdatei laden
MASKBD	Bilddatei im Bereich der Maske auf einen bestimmten Wert setzen
NOTBIN	Logisches Komplement der Maske bilden
REGION	Regionenwachstum (region growing)
STOBIN	Maske von Arbeitsdatei in Bilddatei speichern
STOMAS	Maske von Arbeitsdatei in Maskendatei speichern

Bildmanipulation

CHEOPS	Aufbau einer Bildpyramide
COPYBD	Bild(ausschnitt) kopieren; Maske und Transformationstabelle, wenn vorhanden, werden berücksichtigt
DIRECT	Geometrische Transformation (Vergrößerung, Verkleinerung, Drehung)
GRKEIL	Graukeil (Referenzmuster mit aufsteigenden Bildwerten) in ein Bild einfügen
LADBGR	Bilddatei erzeugen und vorgegebene Konstante speichern
NOISE	Aufbringen von synthetischem Rauschen

Histogramme

GENHIS	Histogramm berechnen und auf Arbeitsdatei speichern
HIST2	Zweidimensionales Histogramm berechnen und als Bild speichern
LIHIS	Histogramm aus Bildzeile lesen
MINMAXBD	Minimum und Maximum des Bildes berechnen
PLOHIS	Histogramm zeichnen
PRIHIS	Histogramm drucken (Balken als Druckzeichen)
SPAHIS	Spaltenhistogramm eines Binärbildes
STOHIS	Histogramm in Bildzeile schreiben
ZEIHIS	Zeilenhistogramm eines Binärbildes

Lookup-Tabellen

HISLOK	Transformation zur Angleichung des Histogramms an eine vorgegebene Verteilung berechnen
LOK	Lookup-Tabellenmanipulation
NEGATE	Umkehrung der Lookup-Tabelle
SETLOK	Setzen einer linearen Transformation

Filter im Ortsbereich

LAPABS	Laplace - Absolutbetragssumme
LAPLAC	Laplace
LAPPOS	Laplace - Absolutbetrag
MASK33	Allgemeiner 3x3 - Filter mit vorgebbaren Werten
RANGOP	Rangoperator
ROBABS	Roberts - Absolutbetrag
ROBERT	Roberts
ROBMAX	Roberts - Maximum
SMOOTH	Glättung mit Durchschnittsfilter
SOBABS	Sobel - Absolutbetrag
SOBEL	Sobel
SOBMAX	Sobel - Maximum

Bildverknüpfungen

ADIMAG	Linearkombination von Bildern
DIRCOS	Richtungscosinusbild
DIST	Distanzbildberechnung
RATIO	Ratiobildberechnung
THRESHOLD	Schwellwertbildung
VECLEN	Vektorlängenbild

Liniensuche

LINSEA	Liniensuche - Vorwärtsverfolgung
PASCOO	* Interaktive Vorgabe von Punkten der Linie
TRACK	Liniensuche - Rückverfolgung

Vektor-Raster-Umwandlung

POLBIN	Durch Vektoren gegebenes Polygon in Binärbild umformen, wahlweise auffüllen
POLFIT	Polygone glätten
POLGEN	Polygondatei aus Äquidensitenlinien generieren
POLINF	Polygondatei-Information ausgeben
POLPLO	* Polygone zeichnen

Schnittstelle zum Bildverarbeitungsprozessor DeAnza

ANZABD	* Bild vom Bildspeicher lesen und in DIBAG-Format auf Magnetplatte speichern
ANZLOK	* Lookup-Tabelle aus Tabellenspeicher lesen und in DIBAG-Arbeitsdatei speichern
ANZMAS	* Binärbild aus Graphic Overlay lesen und in DIBAG-Arbeitsdatei speichern
BDANZA	* Bildausschnitt eines Bildes im DIBAG-Format mit Wertebereich (0,255) in Bildspeicher schreiben
DISPLAY	* Bildausschnitt eines Bildes im DIBAG-Format mit Werten 0 oder 255 in Bildspeicher schreiben
LOKANZ	* Lookup-Tabelle aus DIBAG-Arbeitsdatei lesen und in Tabellenspeicher speichern
MASANZ	* Binärbild aus DIBAG-Arbeitsdatei lesen und in Graphic Overlay speichern

Geometrische Entzerrung

GRIGEN	Berechnung des Deformationsgitters
GRIANA	Kontrollausdruck des Gitters
PLOKNO	* Gitter auf Zeichengerät darstellen
RESAMP	Umbildung der Bildmatrix
CORREL	* Digitale Bildkorrelation

Behandlung von Digitalen Geländemodellen (GTM)

BDGTM	Bild in Digitales Geländemodell
GTMBD	Digitales Geländemodell lesen
OBERFL	Oberflächendatei zur Darstellung perspektiver Ansichten generieren
D3DISP	* Synthetische perspektive Ansicht eines Geländemodells mit verschiedenen Beleuchtungsmodellen; wahlweise Speicherung der Verzerrungsinformation
PQPARA	Bestimmung des lokalen Normalvektors
SLOPE	Bestimmung von Neigung und Expositur
VISBIN	Erzeugung einer Maske der sichtbaren Geländeteile
ILLUIM	Erzeugung einer synthetischen Beleuchtung

DEANZA - BEFEHLSVORRAT

EINZELFUNKTIONEN

Datentransfer zwischen Magnetplatte und Bildspeicher

SAVPIC	Bildspeicher nach Magnetplatte
SHOPIC	Magnetplatte nach Bildspeicher
SHO256	Anzeige von vier 256 x 256 Ausschnitten nebeneinander

Allgemeine Bildverarbeitung

ADATHR	Adaptiver Schwellwert
ARUTIL	Linearkombination von Bildern
AUTCOR	Autokorrelation Bild/Bild in einem Punkt
AUTOCR	Autokorrelation Bild/Ausschnitt für ganzes Bild
BASRLF	Einfacher Kantenoperator
CONVLV	Allgemeine Faltung, symmetrischer Operator
DIDXY	Einfacher Kantenoperator
DIST	Distanzbild
DVP	Interpreter für die Bildverarbeitungssprache
LAPLAC	Laplace Kantenoperator
MEDIAN	Medianapproximation unter 3x3 Maske
MINMAX	Minimum und Maximum unter nxn Maske
PCT	Hauptkomponententransformation - Berechnung
PCT1	Hauptkomponententransformation - Transformation
RATIO	Ratiobild
REGAVG	Texturparameter Mittelwert/Standardabweichung
ROBERT	Roberts Kantenoperator
SOBEL	Sobel Kantenoperator
THRESH	Interaktive Schwellwertbildung
VECLN	Vektorlängenbild

Binärbildverarbeitung

BINRNK	Rangoperator
BLOSHR	Vergrößerung / Verkleinerung der Maske (blow/shrink)
MASKCL	Löschen kleiner Strukturen
MASKOP	Allgemeine Binärbildtransformation
MASKWD	Berechnung des Fensters einer Maske
PCTBIN	Hauptkomponententransformation für Binärbilder
SHOBIT	Darstellung der Binärbildtransformationstabelle
SKELET	Skelettbildung

Datentransfer Bildspeicher - Bildspeicher

CLRMEM	Bildspeicher löschen
CPYMEM	Bildspeicher kopieren
FLICKR	Vertauschen zweier Bildspeicherinhalte
FLIP	Spiegelung / Drehung 90 Grad
SPLIT	Bildhälfte in andere Bildhälfte kopieren

Bildverstärkung

ENHANC	Automatische Bildung einer linearen Transformation zwischen 1% und 99% der Grauwertverteilung
EQUAL	Lineare Transformation um den Mittelwert
HILITE	Markierung von Grauwertbereichen
IHSRGB	Intensität - Sättigung - Farbton - Transformation in Rot - Grün - Blau - Darstellung
IP5MCC	Äquidensiten in Farbe
IP5UNI	Histogrammäqualisierung
JP5ITT	Interaktive Lookup-Tabellen - Manipulation
MANITT	Pseudofarbdarstellung und nichtlineare Transformation
PLOTIT	Graphische Darstellung der Lookup-Tabellen
PSEUDO	Pseudofarbdarstellung
REDRES	Quantisierungsänderung
SETITT	Transformationstabellenmanipulation
SETPCL	Farbauswahl für thematische Bilder
SFG	Setzen von Parametern für besondere Darstellungsformen
SPLICU	Bildschirmunterteilung in Fenster

Histogramme und Statistik

HISTO	Histogrammberechnung und graphische Darstellung
HIST2	Zweidimensionales Histogramm in Bildform
LINHIS	Zeilenhistogramm
ROBUST	Robuste Statistische Schätzungen
SNSHIS	Einzelhistogramme pro LANDSAT MSS Sensor
PIXVAL	Lokalisierung von Punkten, Anzeige von Grauwerten und Darstellung von Profilen
THRLIM	Schwellwertbestimmung durch Perzentilvorgabe

Bildvergrößerung (Zoom) und Verschiebung (Scroll)

INTPZM	Vergrößerung mit Interpolation
JSCRZM	Vergrößerung und Verschiebung
JSELZM	Vergrößerung
SMALL	Verkleinerung 512 x 512 Bild auf 256 x 256 Bild

Graphikspeicher

PLTMAP	Überlagerung von Kartendaten
REGDEF	Interaktive Definition von beliebigen Regionen
SETIT4	Transformationstabellenmanipulation
SETOV	Bildpunktmarkierung
TICKS	Überlagerung von Orientierungsmarken

Verschiedene Darstellungen

ANZBIN	Ausgabe eines Binärbildes auf elektrostatische Drucker
ANZCOL	Umwandlung eines Einzelbildes in Druckraster und Ausgabe auf dem elektrostatischen Drucker
ANZDEZ	Drucken eines Bildausschnittes in Dezimalwerten
BWLOOP	Anzeige der Farbkomponenten in Schwarz/Weiß
IMLOOP	Trickfilmdarstellung
WRSCAL	Einsetzen eines Referenzgrautonmusters in Bilddaten

Bildbeschriftung

EDITAN	Beschriftung
SHOWAN	Anzeige eines vorbereiteten Textes
SHOWPG	Anzeige eines Textes aus einer Textdatei
SAVEAN	Speichern eines Textes auf Magnetplatte

Klassifizierung

ANACLA	Darstellung der Trainingsgebietsstatistiken
ANAHIS	Analyse der Mehrfachklassifizierungen
BILANZ	Tabelle über Verteilung der Klassen in Rasterfeldern
CLADIS	Distanzmaße zwischen Klassen pro Merkmal
CLUSTA	Berechnung von Klassenstatistiken
CMPCLA	Vergleich von Klassifikationsresultaten
JMDIST	Clusterdistanzen
MAXCLA	Umgebungsabhängige Reklassifizierung
MAXLIK	Maximum Likelihood Klassifikator
MINDIS	Minimum Distance Klassifikator
PAREPI	Parallelepiped Klassifikator
PIXLST	Trainingsgebietsliste
PIXSTA	Trainingsgebietsstatistik
PLTFEA	Graphische Darstellung von Merkmalswerten
PXVLST	Zuordnung der Werte der Merkmale zu Trainingsgebieten
RECLAS	Auflösung von Mehrfachklassifizierungen
SCATTER	Zweidimensionales Streudiagramm
SHOCLU	Schnelle Parallelepipedklassifizierung
TESTMD	Klassifizierung von Trainings- oder Testdaten
TESTML	Klassifizierung von Trainings- oder Testdaten
TESTPE	Klassifizierung von Trainings- oder Testdaten

Darstellung von Geländemodellen

CLASSDTM	Perspektive Ansicht eines thematischen Bildes
COLDTM	Perspektive Ansicht eines dem Höhenmodell überlagerten Bildes
CONTOURS	Errechnung von Höhenschichtlinien

Verschiedenes

COLTAB	Tabelle für Farbauswahl
QUADER	Testbild, Verknüpfungstabelle
SELCP	Interaktive Paßpunktbestimmung
TESTPAT	Testbild für Belichtungskalibrierung

Verwaltung

STATUS	Anzeige des Systemstatus
SWITCH	Schalter für verschiedene Systemfunktionen
SYSINT	Initialisierung des Systems

DURCH KOMBINATION VON EINZELFUNKTIONEN MÖGLICHE VERARBEITUNGEN,
DIE ALS FESTE BEFEHLSFOLGE ZUR VERFÜGUNG STEHEN

MAINCLASS Menugesteuerte Klassifikation

***** CLASSIFICATION *****

SHOW IMAGES	...	1
DEFINE TRAINING AREAS	...	2
INTERACTIVE CLASSIFICATION	...	3
DEFINE FEATURES	...	4
FEATURE VECTORS AND STATISTICS	...	5
CLASSIFY TRAINING AREA	...	6
CLASSIFY THE WHOLE IMAGE	...	7
SCATTER PLOT AND/OR FEATURE CLASSIFICATION	...	8
SHOW CLASSIFICATION RESULTS	...	9
SMOOTH CLASSES	...	10
COMPARE CLASSIFICATION RESULTS	...	11
INFORMATION ABOUT CLASSIFICATION	...	12
PLOT OF CLASSIFICATION RESULTS	...	13
DELETE CLASSIFICATION RESULTS	...	14
CLEAN CLASSIFICATION RESULTS	...	15

LANDSAT Manipulation von LANDSAT-MSS-Bildern

***** LANDSAT IMAGE PROCESSING *****

GENERATE .PIC FILES	...	1
SHOW IMAGE	...	2
HISTOGRAM	...	3
SENSOR HISTOGRAM	...	4
VECTOR LENGTH IMAGE	...	5
PCT TRANSFORM	...	6
SPECIAL PCT TRANSFORM	...	7
ALL CHANNEL RATIO IMAGES	...	8
SPECIAL RATIO IMAGES	...	9
DIFFERENCE IMAGES	...	10
AVERAGE IMAGE	...	11
RADIOMETRIC CORRECTION	...	12
SPIKE CORRECTION	...	13
SHOW SELECTED IMAGES	...	14
LIST EXISTING IMAGES	...	91
SYSINT	...	99

CRISP	Kanten- und Kontrastverstärkung
LIMITS	Minimum und Maximum der Bildspeicher
SPICOR	Korrektur des Spikeraussehens
MASKOP	Binärbildtransformation
DVPProg	Programminterpretierer für den Bildverarbeitungsprozessor