

ISSN 0514-8790

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN DER DDR
Forschungsbereich Geo- und Kosmoswissenschaften
ZENTRALINSTITUT FÜR PHYSIK DER ERDE

Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde

Nr. 106

Teil 2



5. KONFERENZ

FERNERKUNDUNG

Stand und Entwicklungstendenzen

Fernerkundung und Geoinformatik

Karl-Marx-Stadt, 20.-24. Juni 1988

Beiträge zur Konferenz

Wissenschaftliche Redaktion: Dr. sc. J. Höpfner, Dr. K.-H. John

Technische Bearbeitung: H. Sandler, S. Stüwe

Herausgeber: Der Direktor des Zentralinstituts für Physik der Erde

Als Manuskript gedruckt Potsdam 1989

III-12-12 Ag 521/554/89

Akademie der Wissenschaften der DDR
Zentralinstitut für Physik der Erde

Bereich III

1989.819



Geräte und Verfahren zur photogrammetrischen Erfassung territorialer Informationen

J. PIETSCHNER

Technische Universität Dresden, Sektion Geodäsie und Kartographie

Zusammenfassung

Auch bei Übergang von analogen zu digitalen Datenbasen behält die Photogrammetrie ihre dominierende Rolle bei der Erfassung territorialer Informationen. Nachteilig für die in der DDR gegenwärtig dazu einsetzbaren analogen Stereokartiergeräte oder einfachen Digitalisiervorrichtungen ist, daß die gewonnenen digitalen Daten nicht strukturiert oder vorverarbeitet werden. Günstig ist daher der Einsatz analytischer Auswertegeräte, die in den letzten Jahren in Verbindung mit digitalen peripheren Komponenten und zusätzlicher Software zu interaktiven graphischen Arbeitsplätzen entwickelt wurden.

Summary

Also in transition from analogue to digital databases photogrammetry keeps its dominant position for collecting territorial information. A disadvantage for the now in the GDR applied analogue stereoplotters or simple digitizing devices is that digital data are not collected in structural form and are not preprocessed. More favourable is therefore the use of analytical plotters which were developed in the last years in connection with digital peripheral components and additional software as interactive graphical workstations.

Резюме

И при переходе от аналоговых баз данных к цифровым фотограмметрия сохраняет свою ведущую роль в сборе территориальной информации. Недостатком используемых в настоящее время в ГДР аналоговых стереоприборов для картоирования является тот факт, что полученные в цифровой форме данные не подвергаются структурированию и предварительной обработке. По этой причине предпочтительным является использование аналитических приборов для обработки информации, разработанных в последнее время в сочетании с периферийными цифровыми компонентами и образующих интерактивные графические рабочие места.

1. Einleitung

Der große Informationsgehalt von Luftbildern und die dadurch gegebenen günstigen Voraussetzungen zur Mechanisierung und Automatisierung von Teilprozessen der Luftbildaufnahme und -auswertung waren entscheidende Voraussetzung dafür, daß Geräte und Verfahren der Aerophotogrammetrie weltweit seit Jahrzehnten dominierend bei der Herstellung topographischer Karten eingesetzt werden. Charakteristisch für diesen Entwicklungsabschnitt war die analoge Informationsverarbeitung und die Datenausgabe in Form einer Rohkartierung auf einem Zeichentisch. Das Finalerzeugnis Karte entstand erst nach relativ aufwendigen manuellen örtlichen Erkundungs- und Meßprozessen sowie häuslichen Zeichen- und Reproduktionsprozessen. Gegenwärtig vollzieht sich auch in unserem Land ein rascher Wandel auf dem Gebiet von Technik und Technologie der Kartenherstellung und ist dadurch gekennzeichnet, daß

- traditionelle Verfahren der photogrammetrischen Informationsgewinnung in zunehmendem Maße durch Methoden der Fernerkundung ergänzt werden,
- territoriale Informationen in Form digitaler Datenbasen wie z.B. digitales Gelände- bzw. Höhenmodell, digitale Karte, Landinformationssystem u.a. dargestellt werden.

Grundlage moderner territorialer Informationssysteme ist der räumliche Bezug auf eine in der Regel in einem einheitlichen Koordinatensystem definierte Vektordarstellung. Um die verschiedenen Nutzerbereichen zugeordneten Datenmengen zu einer einheitlichen Datenbasis zusammenfügen bzw. wahlweise Kombinationen treffen zu können, werden Referenzdaten benötigt, deren Primärdaten mit hoher Genauigkeit erfaßt werden müssen. Aus photogrammetrischer Sicht eignen sich dazu eindeutig definierte topographische Gegenstände, die unter Beachtung des zur Aufnahme genutzten Bildmaßstabs auch gut luftsichtbar sind. Die Bestimmung solcher Referenzpunkte kann durch Aerotriangulation oder durch stereoskopische Ausmessung von Bildpaaren erfolgen. Die Verwendung liegenchaftsrechtlicher Darstellungen als Referenzdaten ist aus photogrammetrischer Sicht ungünstig, da zur Datenerfassung ein zusätzlicher Signalisierungsaufwand vor der Luftbildaufnahme notwendig ist.

Auch bei Übergang zu digitalen Informationssystemen ist die Datenerfassung der wichtigste und zugleich aufwendigste Prozeß bei der Gewinnung territorialer Informationen geblieben, und es erscheint daher eine Analyse gerechtfertigt, ob die Photogrammetrie dabei weiterhin ihren führenden Platz behält.

2. Photogrammetrische Datenerfassung

Entsprechend den Nutzeranforderungen und dem Entwicklungsstand der Rechentechnik wurden die zur stereoskopischen Luftbildauswertung eingesetzten Geräte in den letzten beiden Jahrzehnten zusätzlich schrittweise mit digitalen Komponenten zur Datenerfassung und -aufbereitung sowie zur Rationalisierung der Meßprozesse ausgestattet. Neben der graphischen Ausgabe auf dem Zeichentisch wurde dadurch eine Registrierung von Objektpunkten in maschinenlesbarer Form möglich. Für die Präzisionspunktbestimmung stehen dafür in der DDR gegenwärtig die analogen Stereokartiergeräte STEROMETROGRAPH, TOPOCART und STEREO-PLOT mit Anschlußmöglichkeiten für Datenerfassungsgeräte (Coordinometer, Magnetbandstation, Digitalrechner, u.a.) zur Verfügung. Zur Punktbestimmung durch analytische Aerotriangulation kann der Präzisionsstereokomparator DICOMETER in Verbindung mit einem Coordinometer und einem Digitalrechner genutzt werden. Bei geringeren Genauigkeitsanforderungen, insbesondere auch bei der Gewinnung thematischer Informationen kann die photogrammetrische Auswertung durch optisch - mechanische oder Differentialentzerrung erfolgen. Digitale Daten können hier nachträglich durch eine manuelle Analog-Digitalwandlung der entzerrten Bilder gewonnen werden. Dafür stehen als Standardgeräte das Digitalisiergerät HDG K 6402 bzw. bei geringerer Genauigkeitsanforderung das graphische Tablett K 6405 (VEB Komb. Robotron) zur Verfügung. Auch das Kartenergänzungsgerät KARTOFLEX ist zur Lösung der genannten Aufgabe einsetzbar, da es eine serielle Schnittstelle für den Rechneranschluß besitzt. Die Datenerfassung kann dabei vorteilhaft mit der Bildinterpretation verbunden werden. Schließlich sei auf die Möglichkeit der Digitalisierung graphischer Vorlagen mit Hilfe der Gerätekombination Zeichentisch eines Stereokartiergerätes-Datenerfassungsgerät (Coordinometer) verwiesen.

Auch nichtentzerrte Luftbilder genähert ebenen Geländes können unter Verwendung von Referanzpunkten mit dem Kartoflex partiell rechnergestützt entzerrt und anschließend digitalisiert werden. Der Entzerrungsprozeß kann aber auch zusammen mit der Digitalisierung von einem zusätzlich angeschlossenen Mikrorechner ausgeführt werden, was allerdings entsprechende Software zur projektiven Transformation voraussetzt. Schließlich sei auch auf die Möglichkeit verwiesen, unter Verwendung standardisierter digitaler Komponenten nutzungsgerechte Gerätesysteme selbst zusammenzustellen. Solche zum Teil außerhalb des photogrammetrischen Gerätebaus entstandenen Lösungen, die z.B. aus der Kombination Digitalisieretafeln, Rechner und Plotter bestehen, finden in der Industriephotogrammetrie bereits praktische Anwendung, setzen aber wiederum entsprechende Software voraus.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß für die Gewinnung digitaler Daten bei der Luftbilddauswertung zwar ein dem Aufgabenspektrum angepaßtes Sortiment von Hardware existiert, daß aber alle bisher genannten Datenerfassungssysteme nicht den besonderen Anforderungen zum Aufbau digitaler Datenbanken angepaßt sind. Es ist lediglich möglich, die Koordinaten von Punkten, oft verbunden mit einer Kodierung oder Punktnummer zu gewinnen. Es erfolgt aber keine Strukturierung oder Vorverarbeitung der Meßdaten im Zusammenhang mit ihrer Erfassung. Das muß nachfolgend in gesonderten Rechenprozessen erfolgen.

3. Photogrammetrische Arbeitsetationen

Die rationelle Datenerfassung für digitale Informationssysteme macht es erforderlich, die photogrammetrische Auswertung nicht als isolierten Meßprozeß zu betrachten, sondern diesen in das Gesamtsystem Datenbank zu integrieren. Entsprechend dem internationalen Entwicklungsstand erfolgt das zweckmäßig durch ein System aufeinander abgestimmter peripherer Geräte, wobei das photogrammetrische Meßgerät nicht mehr die zentrale Rolle spielt, sondern der Digitalrechner, der das Informationssystem aufbaut und die digitalen Daten verwaltet, die nach Bedarf redigiert bzw. editiert werden können. Der hierfür notwendige gerätetechnische Aufwand und die erforderliche Software seien am Beispiel des für die photogrammetrische Analogauswertung

entwickelten Systems **Z e i s s D i g i t a l M a p p i n g** erläutert. Kernstück dieses Systems ist ein 16- oder 32-bit-Rechner mit einem Arbeitsspeicher von 5 Mbyte und Winchester-Speichern \geq 20 Mbyte. Die Datenerfassung erfolgt bei diesem System mittels spezieller Software durch Messung an Stereokartiergeräten, aber auch durch Arbeit an Digitalisierern und Scannern bzw. auf geodätischen Feldstationen. Dadurch können Daten unterschiedlicher Herkunft und unterschiedlichen Formate (Vektor- und Rasterformat) erfaßt und nach entsprechender Verarbeitung als digitale Daten abgelegt werden. Über ein Farbdisplay kann die Datenerfassung auf Vollständigkeit und Richtigkeit kontrolliert und gegebenenfalls interaktiv korrigiert werden. Schließlich kann in einem besonderen Programmteil die digitale Datenbank automatisch komplettiert und korrigiert werden. Die Herstellung einer digitalen Karte ist interaktiv mittels Menu-Technik möglich und kann wahlweise über Plotter analog ausgegeben oder digital auf Diskette oder Bandkassette abgespeichert werden.

Günstiger als die Nutzung analoger Stereokartiergeräte ist der Einsatz **a n a l y t i s c h e r A u s w e r t e g e r ä t e** für die Datenerfassung. Solche Geräte werden im photogrammetrischen Instrumentenbau etwa seit Mitte der 70er Jahre kommerziell angeboten. Zunächst handelte es sich hierbei nur um Stereokartiergeräte, bei denen das analoge Projektionssystem durch einen digitalen Prozeßrechner ersetzt wurde. Inzwischen haben sich derartige Geräte zu interaktiv bedienbaren, vernetzten graphischen Arbeitsstationen weiterentwickelt mit den Hauptfunktionen

- photogrammetrische Meßwertfassung
- graphische Ein- und Ausgabe
- Editierung.

Kernstück einer solchen Arbeitsstation ist nicht mehr das photogrammetrische Meßgerät, sondern ein leistungsfähiger Digitalrechner mit einer Verarbeitungsbreite von 32 bit. Dieser Rechner ist in der Regel mit weiteren Rechnern des Systems bzw. anderer Systeme vernetzbar.

Ein Beispiel für solche photogrammetrischen Arbeitsstationen ist das **I n t e r g r a p h M o d e l l i n g S y s t e m** (IMAP) der Intergraph Corporation (USA). Dieses System umfaßt

nicht nur Hard- und Software zum Aufbau geographischer oder Landinformationssysteme (GIS/LIS), sondern enthält auch eine spezielle Software zur Unterstützung der Einarbeitung und zur Nutzung des Systems. Es erfolgt eine rechnergestützte Erfassung, Analyse und Revision sowohl von Vektor- als auch Rasterdaten. Die Kommunikation zwischen den einzelnen Arbeitsplätzen der Station sowie zwischen unterschiedlichen Nutzern von GIS/LIS erfolgt durch Vernetzung des Systems mit einem 32-bit-Zentralrechner. Die zur photogrammetrischen Datenerfassung genutzte Hardware Inter Map Analytic vereint in sich ein analytisches Auswertegerät zur Digitalisierung von topographischen Objekten aus Luftbildern und einen graphischen Arbeitsplatz zur Kontrolle, Ergänzung und Revision der photogrammetrischen Auswertung.

Die Schweizer Firma Kern liefert unter der Bezeichnung INFOCAM ein System zur Handhabung und Verwaltung räumlich bezogener geographischer Daten. Grundlage ist wieder ein 32-bit-Rechner, der mit entsprechenden peripheren Komponenten eine voll vernetzbare interaktive graphische Arbeitsstation bildet. Über Interfaces ist der Datentransfer von, aber auch zu geodätischen Stationen und analytisch-photogrammetrischen Geräten der DSR-Familie möglich. Zur flexiblen graphischen Ausgabe steht in einer Bibliothek eine große Anzahl von Symbolen, Linienarten und Schriftzeichen zur Verfügung.

Unter der Bezeichnung Phocuse wird von Opton Feintechnik GmbH (BRD) ein Softwaresystem für den Aufbau einer objektorientierten und strukturierten Datenbank bei Verwendung analytischer Auswertegeräte der P-Serie (Planicomp) angeboten. Das System besteht wieder aus einem zentralen Steuerrechner mit einzeln oder vernetzt anschließbaren peripheren Geräten zur photogrammetrischen Datenerfassung sowie zur Digitalisierung, Editierung und graphischen Ausgabe.

Charakteristisch für das geographische Informationssystem System 9 der Schweizer Firma Wild ist der bezüglich aller Teilkomponenten voll integrierte analytisch-photogrammetrische Arbeitsplatz, von dem aus eine interaktive Kommunikation mit der diesem System zugeordneten Datenbasis möglich ist. Die photogrammetrische Datenerfassung umfaßt wieder die dreidimensionale Objektdigitalisierung unter Verwendung von On-line-Ver-

waltungsprogrammen für die Datenbank. Damit ist das Editieren, die automatische Prüfung topographischer und topologischer Daten sowie das Hinzufügen nichtgraphischer Elemente möglich.

Charakteristisches Merkmal der hier skizzierten Arbeitsergebnisse ist die flexible, aufgaben- und objektorientierte Integration der photogrammetrischen Datenerfassung in den Prozeß des Aufbaus, der Verwaltung und Nutzung territorialer Informationssysteme. Aus der Sicht der Photogrammetrie verdienen zwei Gesichtspunkte noch besondere Beachtung:

- a) Der Meßprozeß kann an modernen analytischen Auswertegeräten durch Überlagerung der in den beiden Okularen des Auswerters sichtbaren Luftbildausschnitte mit den bereits in der Datenbasis erfaßten bzw. ausgemessenen graphischen Konturen unterstützt werden (*S u p e r i m p o s i t i o n*). Dadurch ist dem Auswerter eine schnelle Kontrolle in bezug auf Vollständigkeit aber auch Genauigkeit der Auswertung möglich, und der Prozeß der Datenerfassung kann auswerterfreundlicher und rationeller gestaltet werden.
- b) Durch Analog-Digital-Wandlung homologer Bildausschnitte können mittels digitaler Bildkorrelation homologe Bildpunkte automatisch ermittelt und damit digitale Höhenmodelle automatisch erzeugt werden.

In beiden Fällen sind leistungsfähige Rechner, wie sie nur in den genannten analytischen Auswertegeräten zur Verfügung stehen, notwendige Voraussetzung für den Echtzeitbetrieb. Gleichzeitig wird aber auch offenkundig, daß moderne analytisch-photogrammetrische Auswertesysteme nicht nur sehr gut zum Aufbau territorialer Informationssysteme geeignet sind, sondern auch bei der gegenwärtigen Konfiguration bereits prinzipiell auch zur Rasterdatenverarbeitung genutzt werden können. Diese gegenwärtig für die Photogrammetrie noch nicht typische Datenverarbeitung ist jedoch als Vorstufe künftiger Auswertesysteme anzusehen, bei denen digitale Bilder direkt als Input genutzt werden können. Mit den vorstehenden Ausführungen sollte aufgezeigt werden, daß die Photogrammetrie nach wie vor große, ja wachsende Bedeutung bei der Gewinnung territorialer Informationen besitzt. Gleichzeitig sollte aber herausgearbeitet werden, daß der Aufbau moderner digitaler Informationssysteme auch qualitativ neue Anforderungen an die Photogrammetrie stellt.

Literatur:

- /1/ Brand, M. J. D.:
Integrated Digital Information Systems.
Photogrammetric Record, XII (71) (1988), S. 629-636
- /2/ Eggenberger, O.:
Analytische Auswertesysteme aus der Sicht der
Informatik.
Bildmess. und Luftbildwesen 52(1984)5, S. 264-270
- /3/ LIS/GIS Products and Issues: A Manufacturers Forum.
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing
54(1988)2, S. 207-210
- /4/ Wallwitz, W.:
ZEISS DIGITAL MAPPING - ein neues Systemkonzept
von Hardware und Software des Kombinates VEB Carl
Zeiss JENA.
Vermessungstechnik, 36(1988)5, S. 163-165
- /5/ Welch, R.:
Integration of Photogrammetric, Remote Sensing
and Database Technologies for Mapping Applications.
Photogrammetric Record, XII (70) (1987), S. 409-428

Datenerfassung für Geographische Informationssysteme mit photogrammetrischen Auswertegeräten des Kombinat VEB Carl Zeiss JENA

Dr. sc. techn. Rolf-Peter MARK
Kombinat VEB Carl Zeiss JENA

Zusammenfassung

Die Datenerfassung für Geoinformationssysteme ist sowohl mit den bekannten Stereokartiergeräten als auch mit RECTIMAT CM und KARTOFLEX M möglich. Während die ersteren Daten mit höchster Genauigkeit liefern, gestatten die letzteren die Verarbeitung von Multispektralbildsätzen, was eine optimale Interpretation gewährleistet.

Abstract

Data capture for Geographical Information Systems (GIS) is possible as well with the well known stereoplotters as with RECTIMAT CM and KARTOFLEX M. While the first mentioned instruments give us data with highest accuracy, allow the last mentioned the processing of multispectral data sets as a prerequisite for an optimal photointerpretation.

Резюме

Сбор данных для систем геоинформации возможен как при помощи известных стереокартирующих приборов, так и при помощи приборов RECTIMAT CM и KARTOFLEX M.

В то время как известные стереокартирующие приборы обеспечивают данные с наивысшей точностью, приборы RECTIMAT CM и KARTOFLEX позволяют обработке комплектов мультиспектральных изображений с получением оптимальной интерпретации.

1. Datenerfassung mit Stereokartiergeraeten

Die Registrierung der Koordinaten an photogrammetrischen Auswertegeraeten hat eine dreissigjaehrige Tradition. Als Beispiel dafuer kann die Geraetelinie COORDIMETER des Kombinat VEB Carl Zeiss JENA dienen, die vom COORDIMETER A (1960) bis zum COORDIMETER H /3/ kontinuierlich an den jeweiligen Stand von Wissenschaft und Technik angepasst wurde (elektromechanisches Prinzip - integrierte Schaltkreise - Mikrorechner). Das COORDIMETER H kann in Verbindung mit den Stereokartiergeraeten STEREO-METROGRAPH, TOPO-CART und STEREO-PLOT verwendet werden. Es erfasst die Modellkoordinaten x , y und z und gibt sie zusammen mit einer Punktnummer auf Magnetband (MTU 5300P) aus.

Stereokartiergeraete sind fuer die Herstellung topographischer Karten entwickelt worden, sie verfuegen deshalb ueber die Moeglichkeit, die Bilder relativ und absolut zu orientieren als Voraussetzung fuer eine exakte und hochgenaue Auswertung. Die Beherrschung der Orientierungsverfahren, der Zeitaufwand fuer die Orientierung, die hohe Genauigkeit und die auf die Auswertung von Schwarzweiss-, Farb- oder Farbinfrarotbildern beschraenkten Moeglichkeiten des optischen Systems dieser Geraete lassen sie fuer Fachleute, die thematische Kartierungen auszufuehren haben, nicht optimal erscheinen. Das hat sich auch durch den Anschluss von Personal Computern (PC) mit Hilfe des Zaehlerinterface ZIF-2 /1/ nicht geaendert, mit denen die Orientierungsverfahren rechnergestuetzt ablaufen koennen.

2. Datenerfassung fuer Geographische Informationssysteme

Den Fachleuten der Geofernerkundung muessen deshalb Geraete angeboten werden, in denen zusaetzlich zu den genannten Bildmaterialien auch Multispektralbilder ausgewertet werden koennen und die einfacher zu bedienen sind als die Stereokartiergeraete.

Im KOMBINAT VEB Carl Zeiss JENA wurden deshalb das Entzerrungsgeraet

raet RECTIMAT C /7/ und das Kartenergaenzungsgeraet KARTOFLEX /2/ entwickelt, deren neueste Modelle mit dem Zusatzbuchstaben M fuer Multispektraltechnik gekennzeichnet werden.

2.1. Multispektralprojektor und Entzerrungsgeraet RECTIMAT CM

Das RECTIMAT CM /5/ (Abb. 1) unterscheidet sich von seinem Vorgaenger durch

- automatische Fluchtpunktsteuerung
- numerisches Orientierungsverfahren
- Spezialbildtraeger fuer Multispektralbilder im Format der MKF-6 / MSK-4.

Auf die beiden letzten Punkte soll hier naeher eingegangen werden.

Bisher konnte in Entzerrungsgeraeten die Orientierung nur empirisch erfolgen. Dabei wurden die auf dem Projektionstisch sichtbaren Abweichungen zwischen den auf einer Passpunktvorlage kartierten Passpunkten und den entsprechenden projizierten Bildpunkten durch systematische Verwendung der Freiheitsgrade des Entzerrungsgeraetes minimiert. Diese Arbeitsweise verlangte vom Auswerter die Kenntnis der Wirkungsweise dieser Freiheitsgrade ebenso wie die Faehigkeit, sie auf Grund der beobachteten Abweichungen zwischen Bild- und Passpunkten zielgerichtet einzusetzen. Mit dem numerischen Orientierungsverfahren wird der Einfluss subjektiver Faktoren bei der Orientierung reduziert. Hierbei kann auf die Anfertigung einer Passpunktvorlage verzichtet werden. Es werden die Passpunktkoordinaten von 4 Passpunkten im Kartenmassstab in den Mikrorechner des RECTIMAT CM eingegeben und danach die zugehoerigen Bildpunkte durch Betaetigung der Bildverschiebungen e_x und e_y mit den jeweiligen Quadrantenmarkierungen auf dem Projektionstisch zur Deckung gebracht. Nach Abschluss der Messung erfolgt die Berechnung der Einstellwerte und danach ihre automatische Positionierung im Geraet.

Mit dem RECTIMAT ist die Entzerrung von Schwarzweiss- und Farb-

bildern moeglich. Dabei erfolgt die Belichtung von Farbbildern nach dem additiven Verfahren, d.h. durch aufeinanderfolgende Belichtung mit einem Gruen-, Blau- und Rotfilter, wobei die Belichtungszeit der einzelnen Komponenten individuell vorgegeben werden kann. Diese Eigenschaft des RECTIMAT laesst sowohl die Herstellung von Farbsynthesebildern aus grossformatigen Luftbildern (Mehrkammerfluege mit LMK 1000 /4/, /6/) als auch aus Bildsaetzen der MKF-6 bzw. MSK-4 zu. Im ersten Fall werden im allgemeinen zwei fast zum gleichen Zeitpunkt aufgenommene Luftbilder nacheinander auf eine Passpunktvorlage entzerrt und auf das gleiche Fotomaterial belichtet. Dazu bedient man sich der zum Geraet gehoerenden Stanzvorrichtung und der Klemmschiene, mit denen erreicht wird, dass das Fotomaterial bezueglich der Passpunktvorlage definiert auf den Projektionstisch aufgelegt werden kann. Diese hier beschriebene Arbeitsweise ist aus drei Gruenden erforderlich. Erstens unterscheiden sich die Kammerkonstanten der beiden Luftbildmesskammern (maximale Differenz < 1%). Zweitens sind die Verschluesse der Luftbildmesskammern nicht synchronisiert, wodurch zu jedem Bild andere Daten der aeusseren Orientierung gehoeren. Drittens kann in den Bildtraeger des RECTIMAT (300mm x 300mm) jeweils nur ein grossformatiges Luftbild eingelegt werden.

Anders liegen die Verhaeltnisse bei Bildsaetzen von MKF-6 und MSK-4. Wegen des kleinen Bildformats (55mm x 80mm) koennen drei Bilder in den Bildtraeger eingelegt werden und infolge der Identitaet der Daten der aeusseren Orientierung fuer alle Bilder eines Bildsatzes brauchen die Einstellelemente am Entzerrungsgeraet waehrend der aufeinanderfolgenden Belichtung der drei Teilbilder nicht veraendert werden. Damit ist fuer die Herstellung von Farbsynthesebildern ein automatisierter Arbeitsablauf realisierbar. Als wichtigste Voraussetzungen wurden fuer den RECTIMAT CM die Genauigkeit der Bildverschiebungen e_x und e_y erhoehrt und ein spezieller Bildtraeger konstruiert (Abb. 2), in den die drei MS-Bilder eingelegt und ausgekantet werden.

Die Anwendung der beschriebenen Verfahren ist auch mit anderem

Bildmaterial moeglich, z.B. mit den Bildern der grossformatigen MS-Kamera KATE 200 (Bildformat 180mm x 180mm, Brennweite $f_k = 200\text{mm}$), die von der UdSSR in den KOSMOS - Satelliten eingesetzt wird oder mit den Datensatzen von MS-Scannern wie Fragment (UdSSR), Landsat (USA) oder SPOT (Frankreich). Desgleichen koennen die im Ergebnis eines Bildverarbeitungsprozesses am Filmein- und -ausgabegeraet FEAG anfallenden MS-Bildsaetze am RECTIMAT CM bearbeitet werden.

Das Ergebnis der Entzerrung ist (bis auf die radialen Versetzungen infolge von Hoehenunterschieden) eine lagerichtige Grundlage zur Ableitung von topographischen und thematischen Karten. Fuer die zuletzt genannte Aufgabe bilden speziell Farb-, Farbinfrarot- und Farbsynthesebilder Voraussetzungen fuer die optimale Unterscheidung thematischer Sachverhalte. Die entzerrten Bilder koennen direkt (als Bildplan oder Bildkarte) oder indirekt verwendet werden. Von den indirekten Verfahren soll hier besonders die Digitalisierung auf einem handelsueblichen Digitalisiergeraet .PA (z.B. Digitron, K 6405 vom Kombinat ROBOTRON) erwaeht werden, weil sie das Bindeglied zwischen der Interpretation von MS-Bildern und Geographischen Informationssystemen darstellt.

2.2. Das Interpretations- und Kartenergaenzungsgeraet KARTOFLEX M

Das KARTOFLEX wurde fuer die Ergaenzung topographischer Karten, die Herstellung thematischer Karten und die Photointerpretation geschaffen. Seine herausragenden Eigenschaften sind in seinen optischen System begruendet, mit dem folgende Moeglichkeiten bestehen:

- die stereoskopische Betrachtung von Bildpaaren (ZOOM-System fuer linkes und rechtes Bild 2,4x ... 12x) mit Einspiegelung der Karte in ein Okular
- die binokulare Betrachtung des linken oder rechten Bildes und der Karte
- die binokulare Betrachtung beider Bilder und der Karte (als drittes Bild) mit unterschiedlichen Farbfiltern (visuelle

Farbsynthese) /4/

- die naeherungsweise analytische Entzerrung durch ein optisches Korrekturglied, das von einem Mikrorechner aus gesteuert wird (erweiterte Ausfuehrung).

Mit dem Mikrorechner der erweiterten Ausfuehrung ist es weiterhin moeglich

- Strecken und Flaechen zu berechnen und
- Kartenkoordinaten (Messung punktweise oder mit Zeitautomatik), Strecken und Flaechen ueber eine serielle Schnittstelle an Drucker oder Rechner (PC) auszugeben.

Bei der Weiterentwicklung des KARTOFLEX zum Modell M /8/ (Abb. 3) wurden folgende wesentlichen Verbesserungen realisiert:

- Erhoehung der Lichtstaerke des Beleuchtungssystems um das drei- bis sechsfache
- Erweiterung des Vergroesserungsbereichs am Kartenokular von 0,8x ... 4x auf 0,8x ... 12x
- Betrachtung von drei MS-Bildern mit maximal 12-facher Vergroesserung
- Erweiterung des Verhaeltnisses zwischen Bild- und Kartenmassstab von 0,6x ... 15x auf 0,2x ... 15x
- Messung von Horizontalparallaxen und Berechnung von Hoehenunterschieden
- Verbesserung der seriellen Schnittstelle zum Anschluss von Rechnern.

Diese Veraenderungen verbessern die Arbeitsbedingungen am Geraet und erweitern die Einsatzmoeglichkeiten auf allen Anwendungsgebieten. Relativ wenig Gebrauch wurde in der Vergangenheit vom Anschluss von Rechnern an das KARTOFLEX gemacht, obwohl ein serielles Interface von Anfang an Bestandteil der erweiterten Ausruestung des Geraetes war. Dabei bieten sich gerade hier zahlreiche Moeglichkeiten, die im KARTOFLEX ermittelten lokalen Koordinaten (punktweise und zeitabhaengige Registrierung) durch zusaetzliche Messung von zwei (oder mehr) Kartengitterpunkten oder Passpunkten in ein einheitliches Koordinatensystem zu transformieren und zum Aufbau eines Geographischen Informationssystems zu verwenden, die berechneten Flaechen zu uebergeordneten Wirtschaftseinheiten zusammenzufassen u.a.

3. Zusammenfassung

Vor der Digitalisierung an photogrammetrischen Auswertegeraeten ist die Aufgabe zu loesen, die auf unterschiedlichem Fotomaterial vorliegenden Bilder so aufzubereiten, dass eine optimale Interpretation moeglich ist. Dies wird vor allem dadurch erreicht, dass die Geraete RECTIMAT CM und KARTOFLEX M die Auswertung von Multispektralbildsaetzen gestatten. Die Datenerfassung erfolgt dann mit handelsueblichen Digitizern bzw. der Digitalisierereinrichtung des KARTOFLEX M.

Literatur

- /1/ Beier, L.: ZIF-2 - eine universelle Zusatzeinheit zum Anschluss von Rechnern an photogrammetrische Auswertegeraete. Vermessungstechnik, Berlin 34(1986) H.7, S.226-227
- /2/ Marckwardt, W.; Zemann, A.: KARTOFLEX - ein Geraet fuer die rechnergestuetzte Bildinterpretation und Kartenergaenzung. Jenaer Rundschau 32(1987) H.4, S.183-185
- /3/ Mueller, G.; Beck, B.: Neue Geraete zur Registrierung photogrammetrischer Messwerte. Vermessungstechnik, Berlin 34(1986) H.11, S.374-376
- /4/ Reinhold, A.; Schoeler, H.: Optische Erzeugung von Farbsynthesebildern auf der Grundlage grossform-atiger Schwarzweissluftbilder fuer land- und forstwirtschaftliche Interpretationsaufgaben. Vermessungstechnik, Berlin 35(1987) H.7, S.237-239
- /5/ Rulf, J.: RECTIMAT CM - Multispektralprojektor und Entzerrungsgeraet. Vermessungstechnik, Berlin, in Vorbereitung
- /6/ Rulf, J.; Kuehne, Ch.; Rank, H.: Herstellung von Farbmischbildern mit dem Entzerrungsgeraet RECTIMAT C. Jenaer Rundschau 32(1987) H.4, S.167-169

/7/ Spata, P.; Koch, R.: RECTIMAT C, ein Entzerrungsgeraet der neuen Generation. Jenaer Rundschau 28(1983) H.11, S.173-175

/8/ Starosczyk, H.: KARTOFLEX M - ein universelles Kartenergaenzungs-, Interpretations- und Messgeraet. Vermessungstechnik, Berlin, in Vorbereitung

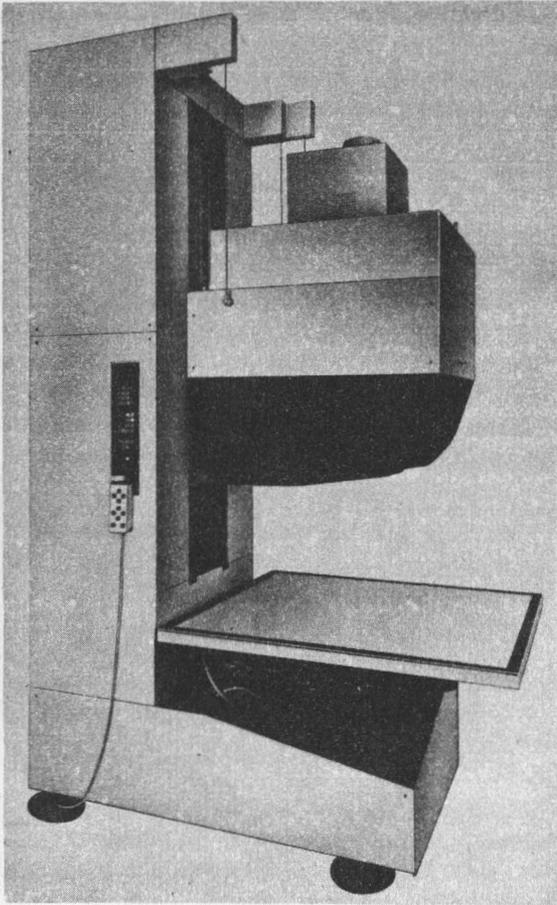


Abb. 1. Multispektralprojektor und Entzerrungsgeraet RECTIMAT CM

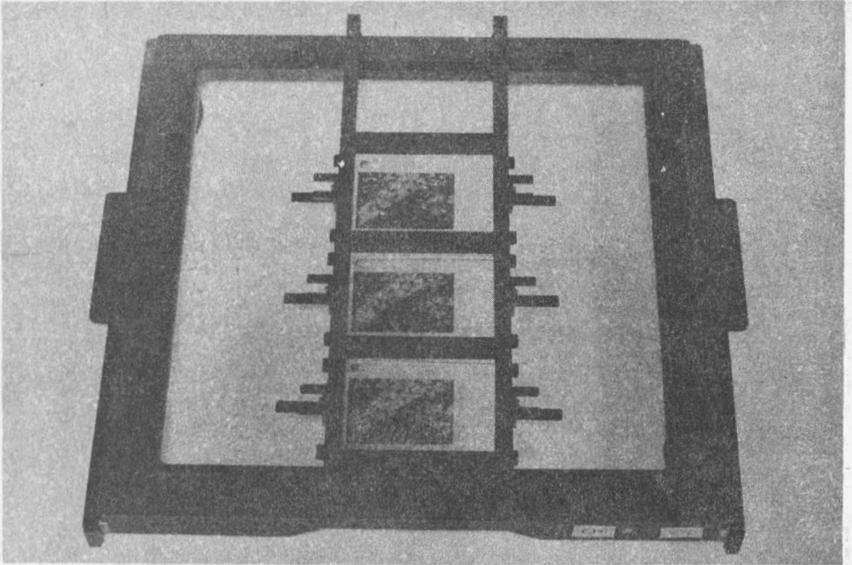


Abb. 2. Spezialbildträger zum RECTIMAT CM

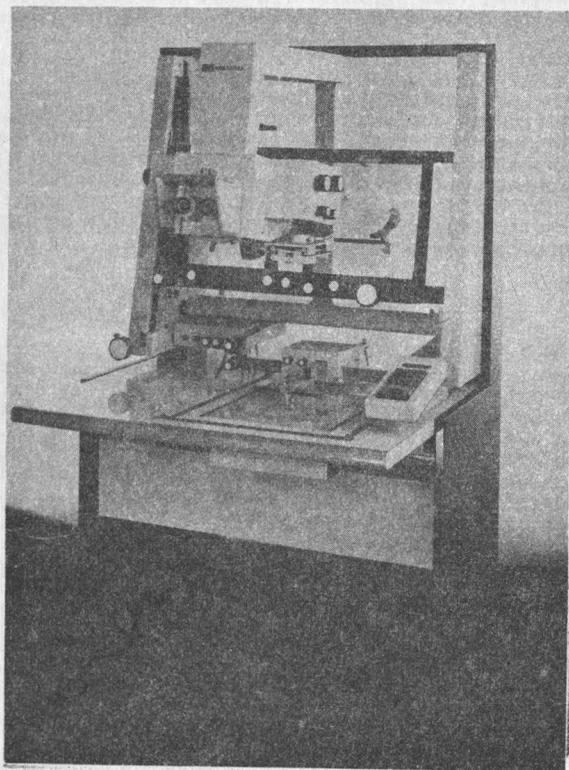


Abb. 3. Interpretations- und Kartenergänzungsgerät KARTOFLEX M

Die Fotokarte als Teil eines Geoinformationssystems

V. V. KISELEV; A. E. MEN'ŠIĆ; A. I. NOVIK;
V. SOLOMATIN; A. M. DYNKIN; S. KARPUCHIN

Hauptverwaltung für Kartographie und Geodäsie
Staatszentrum "Priroda"

Zusammenfassung

Ausgehend vom Bedarf an digitalen Fotokarten wird beschrieben, wie sie gegenwärtig geschaffen werden. Dann werden die Gründe diskutiert, die dafür sprechen, daß die Fotokarte in ein Geoinformationssystem integriert wird. Auf Widersprüche, die in diesem Zusammenhang zu lösen sind, wird kurz eingegangen. Es wird gezeigt, wie das sowjetische Geoinformationssystem mit Fotokarte entwickelt wird, welche Ziele dabei verfolgt werden und welche Anwendungsbereiche abgedeckt werden können.

Summary

Based on the need for the availability of digital image map, a description is given of how it is made at present. Further, reasons in favour of the inclusion of image map into a system of geoinformation are discussed. Contradictions which have to be solved in this connection are briefly explained. It is demonstrated how the Soviet system of geoinformation including image map is being developed which aims have to be followed here and how the demands of several spheres of application could be met.

Резюме

Исходя из потребности в цифровых фотокартах показывается как они в настоящее время создаются. Объясняются причины, на основе которых фотокарта относится к геoinформационной системе. Далее излагаются противоречия, решение которых в этой связи является необходимой. Описывается развитие геoinформационной системы с помощью фотокарт, какие цели при этом преследуются и в каких областях она может быть применена.

1. Einleitung

Die Idee, kartographische Daten sowie Daten der Geofernerkundung und sonstige Angaben über das Gelände zusammenzufassen, um aktuelle und nutzbare Informationen daraus abzuleiten, Entscheidungen zu treffen und Berechnungen mit Bezug auf das Gelände anzustellen, ist relativ neu; sie bildet jedoch die Grundlage für die neuesten Aufgaben der Digitalkartographie und für ein Geoinformationssystem (GIS).

Die Aktualität des GIS als wichtige und perspektivreiche Forschungsrichtung widerspiegelt sich in einer Reihe offizieller Handlungen. Die größten Einrichtungen in Europa und Amerika befassten sich seit 1983/84 aktiv mit der Erarbeitung der theoretischen Grundlagen und der praktischen Realisierung von GIS. Auf die Idee, ein GIS mit Fotokarte zu schaffen, kam das Staatszentrum "Priroda" auf dem Wege vom Problem der Integration abgeschlossener und laufender Entwicklungsarbeiten im Bereich der automatisierten Verarbeitung kosmischer Informationen (KI) zur Lösung eines komplizierten zukunftsorientierten Problems, und zwar zur Schaffung eines automatisierten Informationssystems zur Lenkung der rationellen Naturressourcennutzung innerhalb des nationalen Systems zur Leitung der Volkswirtschaft.

2. Zum Bedarf an digitalen Fotokarten

Die Gestaltung kartographischer Dokumente in Form von Fotoplänen und Fotokarten auf der Basis kosmischer Informationen (KI) ist eine der Hauptaufgaben der interdisziplinären KI-Auswertung im Staatszentrum "Priroda". Diese Dokumente finden zunehmende Verwendung sowohl innerhalb unserer Einrichtung zur Lösung der Aufgaben des Kartierens schwer zugänglicher Gebiete der Laufendhaltung der Karten und der komplexen Erforschung und Kartierung der Naturressourcen, als auch in einigen sowjetischen Einrichtungen unterschiedlicher Spezialisierung. Eine vor kurzem durchgeführte Befragung bestätigte den wachsenden Bedarf der Volkswirtschaftszweige an modernen mittel- und kleinmaßstäbigen Fotokarten praktisch für das ganze Territorium der UdSSR mit vorrangiger Überdeckung der Regionen mit aktiver Wirtschaftstätigkeit des Menschen. Da ein bedeutender Teil der interessierten Einrichtungen für ihre Arbeit mit KI digitale Verarbeitungssysteme benutzen und dabei fast alle auf die Anwendung derartiger Systeme orientiert sind, entstand die Aufgabe, eine digitale Fotokarte des gesamten Territoriums der UdSSR zu schaffen und laufend zu halten, um die Volkswirtschaftszweige mit derartigen Informationen zentral zu versorgen.

Man muß sagen, daß bei einer solchen Aufgabenstellung, d. h. wenn man einen Massenanwender hat, das Problem der Selbstkostensenkung der Produktion in bedeutendem Maße gelöst werden kann. Das ist wichtig, da bekannt ist, daß die Selbstkosten dieser Produktion, die sich aus einem komplizierten technologischen Prozeß bei umfassender Anwendung digitaler Methoden zur Bildbearbeitung ergeben, bisher noch hoch sind.

3. Über die gegenwärtige Schaffung digitaler Fotokarten

Das System und die Technologie zur Schaffung digitaler Fotokarten unter Verwendung von KI, die zur Zeit im Probetrieb läuft, funktionieren recht autonom und universal und können im wesentlichen unverändert bleiben, bis die Frage nach dem Integrationsstand der Daten im GIS gelöst ist.

Die mit unterschiedlichen Aufnahmesystemen erhaltenen KI können als Eingabeinformationen dienen. Für ein gegebenes Territorium, das oft auf ein Standard-Kartenblatt im entsprechenden Maßstab bezogen ist, wird die notwendige Aufnahmeanzahl unter Berücksichtigung der für die Bearbeitung erforderlichen Überdeckung, der Qualität (Prozentsatz der Bewölkung, Kontrast, Auflösung usw.), des Aufnahmejahres und der Aufnahmejahreszeit festgelegt. Die Aufnahmevorauswahl erfolgt mit Hilfe eines autonomen Katalogsuchsystems, das die notwendigen Angaben über alle derzeit verfügbaren Aufnahmen und Materialien liefert.

Jede Aufnahme wird dem jeweiligen geographischen Koordinatensystem "angepaßt". In Abhängigkeit von der Aufgabe und der Region kann eine derartige "Anpassung" entweder nach den Elementen der äußeren Orientierung des Bildes, die entsprechend der Bahndaten vom Weltraumkörper zum Aufnahmezeitpunkt empfangen werden, oder nach einem Netz von Anschlußpunkten, die auf der Karte und der Aufnahme im jeweiligen Maßstab erkennbar sind und gute metrische Eigenschaften haben, erfolgen. Die letztgenannte Operation - eine der arbeitsaufwendigen und schwer zu automatisierenden - wird gegenwärtig manuell ausgeführt. Man arbeitet jedoch daran, ein System der automatischen Erkennung von Anschlußpunkten mit Hilfe eines dazu speziell entwickelten Katalogs von Anschlußfragmenten zu schaffen.

Anschlußpunkte werden mit Präzisionskoordinatenmeßgeräten in einem frei gewählten Koordinatensystem gemessen und markiert. Die Zahl und die Anordnung der Anschlußpunkte auf den Aufnahmen können in Abhängigkeit von der erforderlichen Genauigkeit der Anpassung, von der Kompliziertheit der zukünftigen geometrischen Umwandlungen und von der Verfügbarkeit solcher Punkte auf der Aufnahme variiert werden.

Zur Orientierung der Aufnahmen im Maschinenkoordinatensystem benutzt man ein Netz sogenannter Fixpunkte mit einer frei gewählten Lage auf der Aufnahme. Als Fixpunkte können z. B. die in manchen Aufnahmesystemen verfügbaren "Kalibrierungskreuze" benutzt werden. Wenn letztere fehlen, werden die Fixpunkte mit Spezialgeräten auf das Bild aufgezeichnet und auch gemessen. In Übereinstimmung mit dem vorläufigen Montageplan der Aufnahmen werden die zu bearbeitenden Aufnahmeausschnitte unter Berücksichtigung der erforderlichen Überdeckungszonen und der Möglichkeiten der Einstellung an der Eingabeeinrichtung numeriert. Als derartige Einrichtungen werden Präzisionsstrommelcansysteme, z. B. vom Typ FEAG, benutzt. Wenn es nötig ist, einen farbgemischten Fotoplan oder eine solche Fotokarte zu gestalten, so werden drei Vollbilder jeder Aufnahme folgerichtig numeriert, wobei die Vollbilder den gewählten Kanälen des multispektralen Aufnahmesystems entsprechen.

Fixpunkt- und Anschlußpunktnetz werden im Maschinenkoordinatensystem erkannt und gemessen, entweder automatisch mit einem Spezialprogramm im Arbeitsgang der Numerierung oder automatisiert

mit einem Display. Als Zusatzinformation kann ein Reliefmodell benutzt werden, wenn es die Genauigkeit der geometrischen Transformation erfordert, daß die jeweilige Korrektur berücksichtigt werden soll. Ein derartiges Modell wird im kartometrischen Verfahren hergestellt. Jede Aufnahme wird einzeln entsprechend dem gewählten Umformungsgesetz und der kartographischen Projektion transformiert. Als Umformungsgesetz wird die Projektionskorrespondenz oder deren Ausnahmefall in Abhängigkeit von der Komplexität der Projektion im Aufnahmesystem verwendet.

Auf Grund der automatisierten fotometrischen Analyse der Aufnahmen wird in den Überdeckungszonen eine fotometrische Korrektur einzelner transformierter Aufnahmen vorgenommen, die tabelleweise im Arbeitsgang einer nächstfolgenden Wiederaufzeichnung der Aufnahme erfolgt. Zuletzt werden die einzelnen transformierten Aufnahmen mit der einheitlichen Datei vernetzt, die dann zur Ausgabe des hergestellten Fotoplans fertig ist. Für die Datei werden gesondert die graphische Gestaltung des Kartenrahmens und -randes und die notwendigen kartographischen Elemente auf der Bildfläche bearbeitet und ergänzt. Dazu benutzt man den Originalalgorithmus, dessen Bedeutung für den gegebenen Anwendungsbereich in der einheitlichen Methode der Generierung verschiedener Graphikarten einschl. spezieller kartographischer Signaturen und Aufschriften liegt.

Die Fotokarte oder Zwischenresultate - einzelne transformierte Aufnahmen oder Fotopläne, die ihre selbständige Bedeutung haben können - werden mit einem Trommelscanner, der der Eingabeeinrichtung ähnlich oder sogar mit ihr verbunden ist (wie beim FEAG-Gerät), auf Film ausgegeben.

Farbgemischte Fotokarten erfordern eine Vorwahl der Mischungsvariante in Abhängigkeit von der zu lösenden Aufgabe. Die Farbmischung selbst kann mit der Eingabeeinrichtung für Farblichtbilder oder durch die optische Farbmischung der hergestellten schwarzweißen Fotokarten in drei gewählten Spektralbereichen erfolgen.

Das beschriebene System und die Technologie sind heute in Detail in mehreren Varianten ausgearbeitet und mit bedarfsgerechten Dokumentationen ausgestattet. Es ist zu bemerken, daß außer den beschriebenen Elementen und Etappen noch eine zusätzliche servicebedingte, metrologische Kontrollsicherung des Systems sowie alternative Elemente bestehen, die das System, was die Hardware und Software betrifft, flexibler und von den Parametern der Eingabe- und Hilfsinformationen weniger abhängig machen.

Um die mit Hilfe des beschriebenen Systems hergestellte Produktion zu beurteilen sowie eine Reihe von technischen und ökonomischen sowie technologischen Kennziffern zu bewerten, wollen wir hier einige Zahlen anführen.

Die Genauigkeit der kartographischen Umformungen entspricht den kartographischen Anforderungen und wird in vielem durch die Genauigkeit der Eingangsinformationen bestimmt, und zwar durch die Genauigkeit der Erkennung und Messung der Anschluß- und Fixpunkte. Bei sorgfältiger Eingabe der Ausgangsinformationen wird eine geometrische Genauigkeit des Ergebnisses in der Größenordnung 1 bis 2 Auflöselemente erreicht, was 30 - 50 μm auf dem Ausgangsbild entspricht. Die Bewertung der erreichten Genauigkeit erfolgt vor dem Transformationsprozeß, was die Kontrolle der Eingabeinformationen und des Umformungsvorganges möglich macht.

Fotometrische Umformungen und Montage haben eine solche Qualität, daß Spezialisten auf mehreren Fotomosaikvarianten (in schwarzweiß und in Farbe) die tatsächliche Nahtlage nicht erkennen können.

Gegenwärtig erfolgt die Digitalverarbeitung auf EDV-Anlagen vom Typ EC-1055 M unter dem Betriebssystem OC-6.1.9. Die Transformationsgeschwindigkeit einer digitalisierten Aufnahme liegt in der Größenordnung von 0,5 - 0,9 MByte/Minute, vorausgesetzt, daß das Ausgangsbild und Auswertergebnis in den Externspeichern von Magnetbändern sind. Ein Bild mit Abmessungen von 20 cm x 20 cm (nach der Transformation), digitalisiert mit einer Rasterweite von 50 μ m (20 Elem./mm), wird folglich in etwa 20 - 25 Minuten transformiert.

Die fotometrischen Umformungsprozesse und die Montage nehmen relativ viel Rechnerzeit in Anspruch (ca. 0,8 - 1,5 Stunden für die Montage zweier Darstellungen mit den oben erwähnten Abmessungen). Die Montageverarbeitungszeit kann jedoch wesentlich verkürzt werden. Wenn diese Vorgänge vereint werden, so wird dadurch die Aufzeichnung der Zwischenresultate in den Externspeicher eingespart und die Zahl ihrer Umspeicherungen reduziert. Die Entwicklungsarbeiten gehen diesbezüglich weiter.

Die Reduzierung der Produktionskosten ist demnach nicht nur durch die Vervollkommnung der Algorithmen, des Systemzustands und der Organisation des Rechenganges im eingesetzten Rechner, sondern auch durch den Übergang zu preisünstigeren Rechenzentren sowie durch die Anwendung von Spezialrechentechne möglich.

4. Gründe zur Integration der digitalen Fotokarte in ein Geoinformationssystem

Nach den Ausführungen über die Fotokarte versuchen wir nun die Hauptfrage zu beantworten: Wodurch wird die Einbeziehung der Fotokarte in die Informationen des GIS motiviert und gerechtfertigt und welche Stellung nimmt sie darin ein?

Obwohl das Forschungsgebiet GIS recht neu ist, versteht man unter den allgemeinen Anforderungen an ähnliche Systeme die Aktualität, Vollständigkeit und Zuverlässigkeit der darin enthaltenen Daten, d. h. die Qualität der "letzten Informationseinführung". Außerdem ist man der Meinung, daß diese Daten in "guter" sprachlicher Form ausgegeben werden sollen, sei es als Datenbasis, graphische Daten oder Meßdaten, wie es von der Internationalen Kartographischen Vereinigung empfohlenen Klassifikation her gefordert wird.

Im Grunde genommen ist die Fotokarte, wenn man die Eintragung von Kartenzeichen und Schrift außer acht läßt, mit keiner Sprache verbunden, obwohl sie ein gewisses Zwischenmodell in Matrixform darstellt. Aber es gibt unserer Meinung nach mindestens zwei gravierende Argumente, die nicht nur für die Einbeziehung der Fotokarte in das GIS sprechen, sondern dafür, daß die Fotokarte in manchen Fällen als Grundlage für das Geoinformationssystem dienen kann.

Erstens: Die Fotokarte hat eine genaue und "frische" Topologie, d. h., sie kann als räumliche Stütze oder als Material für die Laufendhaltung der räumlichen Grundlage des GIS dienen.

Zweitens: Recht komplizierte, aber gut kontrollierbare physikalische Grundsätze, die oft speziell zu diesem Zweck erarbeitet

sind und ständig vervollkommnet werden und für die Hervorbringung der kosmischen Informationen benutzt werden, überzeugen uns a priori davon, daß die Fotokarte in der Objekt-Begriff-Reihe des GIS über einen potentiell sehr hohen Informationsgrad verfügt. Aber es wird oft mit einer A posteriori-Bestätigung bekräftigt, daß die Gewinnung der nutzbaren Informationen aus Weltraumaufnahmen prozentual sehr geringfügig ist.

Es besteht noch ein drittes nicht besonders gravierendes, aber von den Kartographen oft ausgesprochenes Argument, welches die Physiognomik kosmischer Information als selbständige wertvolle Eigenart verteidigt.

Bei solchem Herangehen an die Rolle der Fotokarte im Geoinformationssystem werden bezüglich des letzterwähnten Systems gewissermaßen Akzente gesetzt: aus einem Auskunftsinformationssystem wird es zu einem Betriebsinformationssystem, zu einem informativen Betätigungsfeld, zu einer Quelle, aus der quantitativ immer mehr nutzbare Informationen unmittelbar beim Einsatz des GIS geschöpft werden.

Bei solchem Herangehen wird auch ein anderer Umstand wichtig. Das GIS als kompliziertes System gilt als Beispiel für das kollektive Schaffen einer großen Anzahl von Spezialisten. Und wenn der wesentliche Anteil der Information im GIS potentiell zugänglich, aber nicht immer leicht zugänglich gespeichert wird (die Information der Fotokarte ist gerade dieser Art), so kann sie bei der Gemeinschaftsarbeit von Spezialisten verschiedenen Profils effektiver genutzt werden. Damit ist gemeint, daß verschiedene "Aufgabe-Spezialist-Methode"-Systeme gemeinsam und effektiv funktionieren können, und die Resultate können vereint und in demselben GIS gespeichert werden, aber schon in "guter" sprachlicher Form.

5. Über zu lösende Widersprüche

Allgemeine Ideen für das GIS, die auf der Basis der Leistungen im Bereich automatisierter kartographischer Systeme, Datenbasen und Bildverarbeitungssysteme entstanden, führten zu manchen natürlichen Widersprüchen, deren Lösung in der Schaffung von Projekten und effektiv funktionierenden Geoinformationssystemen ihren Niederschlag finden. Ein Widerspruch kommt in allen Etappen zur Geltung, von der Datenerfassung bis zur effektiven Übermittlung einer komplizierten Mitteilung an den Anwender. Er trägt tiefen grundsätzlichen Charakter, da er auf dem Unterschied von Primärinformationsstrukturen mit unterschiedlichen Informationsarten beruht. Viele kennen das Problem der Entwicklung von Geräten für die deckungsgleiche Betrachtung einer Karte und der Aufnahme eines gewissen Gebietes sehr gut. Dabei bleibt es praktisch unmöglich, die Bedingungen einer guten Überschaubarkeit des deckungsgleichen Bildes zu erreichen. Der Grund dafür trägt prinzipiellen Charakter. Dem Betrachter werden zwei wesentlich verschiedene Strukturen angeboten. Die eine davon stellt ein einfaches physikalisches Modell dar, die andere eine sprachliche Struktur mit einigen Zeichensystemen.

Ebenso tief liegen die Widersprüche zwischen den Informationsstrukturen in traditionellen Datenbasen, die eine Objekt-Begriff-Dominante haben, und der Informationsstruktur der Karte mit

ihrer Raum-Koordinaten-Dominante.

Die methodologische Hauptaufgabe besteht darin, neue effektive Wege und den Integrationsstand verschiedener Informationsstrukturen und Datenstrukturen im GIS zu finden.

Der zweite wichtige Widerspruch im GIS steht im Zusammenhang mit der großen absoluten Informationsmenge in jedem einzelnen Kanal des GIS im Vergleich zur Dichte und Empfangsschwelle eines durchschnittlichen Anwenders.

Bekanntlich kam die Kartographie zu diesem Widerspruch in der Zeit der polygraphischen Leistungen, als die Karte bis zu solch einem Maß belastet wurde, das sie fast unlesbar wurde. Man mußte von dieser "Spitze" des Informationsgrades abgehen: man benutzte Signaturen, man verkürzte Zeichenerklärungen, man vereinfachte Klassifikatoren und man führte Überschuß an Informationen ein. Diese Erfahrung, ungeachtet großer technologischer Möglichkeiten große Datenmengen im GIS abzubilden und zu speichern, weist darauf hin, daß die Informationskanäle sogar bei vorhandenen guten Informationen nicht überfordert und überlastet werden sollen, sondern daß man nach deren wenn nicht optimalen, so doch vernünftigen Kapazitäten suchen muß.

Im GIS mit Fotokarte ist das von besonderer Wichtigkeit; denn das natürliche Anliegen, die Informationen zu speichern, die auf Bildern mit hoher Auflösung bei deren Bezeichnung vorhanden ist, kann sehr teuer kommen, weil das Informationsvolumen in der Fotokarte im quadratischen Verhältnis zur Linearität steht, und gleichzeitig können diese Informationen in vielen Fällen unnütz sein.

Also bei der Zusammenstellung der Fotokarte, die auf ihre Benutzung im GIS ausgerichtet ist, sollen die angegebenen Faktoren sowohl bezüglich Konzept, als auch betreffs technischer Lösungen berücksichtigt werden.

Wir haben die Möglichkeit, die formulierten Regelungen bezüglich des GIS an einer digitalen Fotokarte des Landes (DFK der UdSSR) zu illustrieren. Die dazugehörige Arbeit ist im Staatszentrum "Priroda" im Gange.

6. Das sowjetische Geoinformationssystem mit Fotokarte der Zukunft

Das im Rahmen der UdSSR erarbeitete zukünftige Geoinformationssystem mit Fotokarte als Programm ist im Grunde genommen dazu bestimmt, die Effektivität der automatisierten interdisziplinären Verarbeitung kosmischer Information für den Bedarf der Volkswirtschaftszweige durch die Schaffung und Unterstützung eines zentralisierten Fonds (demnächst einer Bank) für die Ergebnisse der digitalen Verarbeitung kosmischer Informationen und landesbezogener Karten zu erhöhen. Das Gesamtschema dieses Systems ist in Bild 1 dargestellt, wobei Bezugs- und Ausgabevorlagen, Angaben zum Anwendungsbereich, Ziele und Aufgaben des Systems sowie vermutliche Anwender und deren Anforderungen an das System dargestellt sind.

Das GIS mit Fotokarte gilt als technologisches Informationssystem mit dem Einsatz von Mensch und Maschine. Dieses System sorgt für die Digitalverarbeitung kosmischer und kartographischer Informationen für das Territorium des Landes, organisiert die

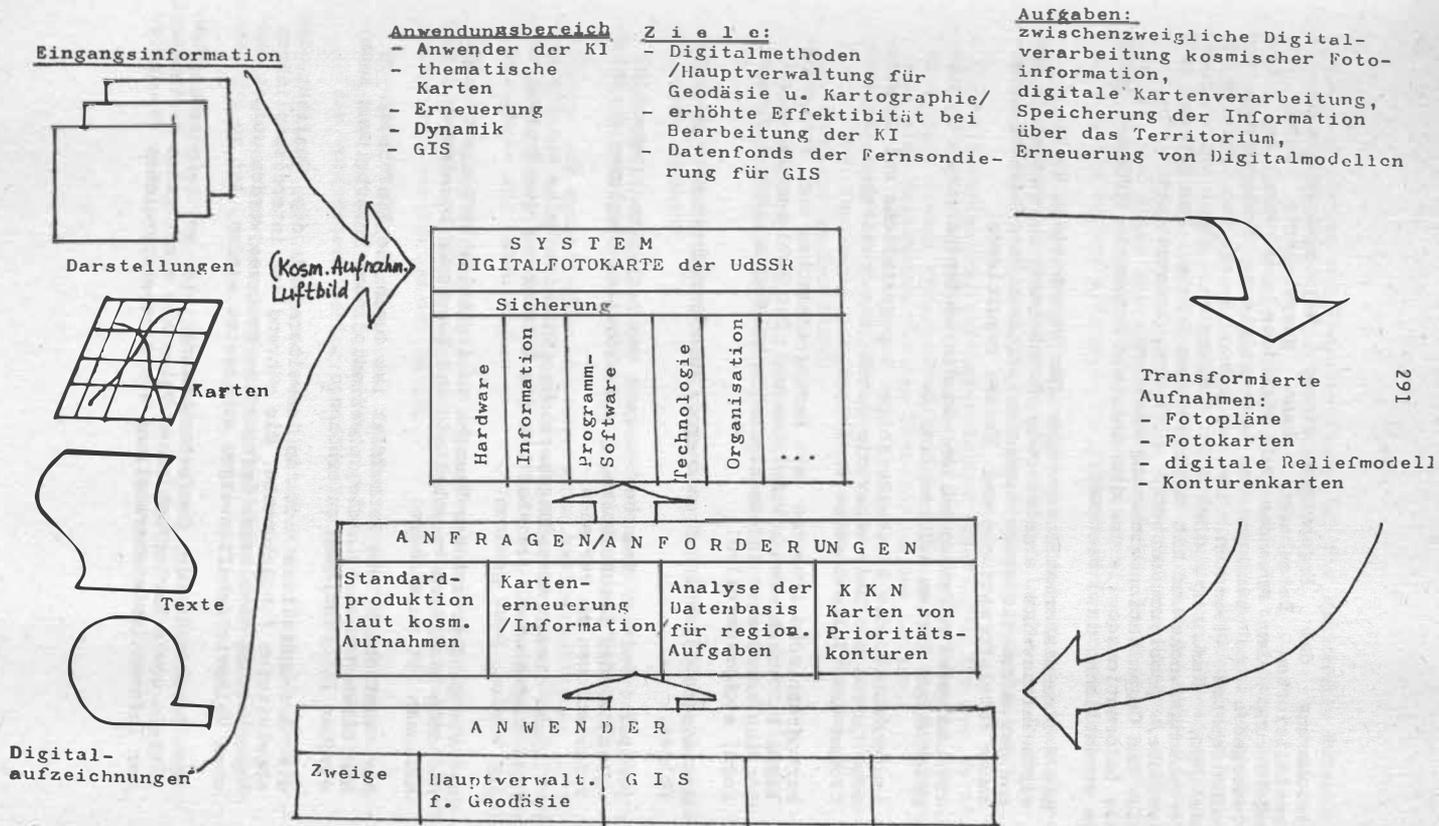


Bild 1. Digitalfotokarte der UdSSR - Funktionsplan

Speicherung der Ergebnisse dieser Digitalverarbeitung in spezialisierten Datenbasen, kann gespeicherte Daten auf Anforderung der Anwender in digitaler und visueller Form wiedergeben und sichert die automatisierte Verarbeitung von gespeicherten Elementen, um sekundäre Belege und Modelle zu gewinnen, darunter die der Fotokarten für verschiedene Verwendungszwecke und mit verschiedenem Inhalt. Das System soll Hardware, problemorientierte Software, Informations-, Technologie- und Organisationssicherung besitzen. Als Informationsquelle ist die digitale Fotokarte (DFK der UdSSR) im wesentlichen dazu bestimmt,

- die Weltrauminformationsanwender für verschiedene Volkswirtschaftszweige abgeleiteten Fotobelegen zu versorgen, die aus der automatisierten interdisziplinären Verarbeitung kosmischer Fotoinformationen und Karten resultieren;
- die Landesteile festzustellen, wo die Laufendhaltung der topographischen Karten erforderlich ist;
- laufendzuhaltende kleinmaßstäbige topographische und thematische Karten mit Daten über die durch die kosmischen Informationen ermittelte Lage zu versorgen;
- kartographische Arbeiten mit kartographischen und Fotogrundlagen in verschiedenen Maßstäben und Projektionen (abgeleitet aus kosmischen Informationen in bildhafter oder digitaler Form) sicherzustellen;
- dynamische Objekte und andauernde Umwelterscheinungen zu verfolgen;
- perspektivreiche, branchenbezogene und gesamtstaatliche GIS verschiedener Zweckbestimmung mit aktuellen komplexen Anschlußinformationen zu versehen.

Im Rahmen dieser Anwendungsbereiche sind eine Reihe von Zielsetzungen ausgenommen, die aber bei der Entwicklung des Systems verfolgt werden. Dazu gehören:

- der Übergangsprozeß der Branche zu digitalen kartographischen Methoden bezüglich Verarbeitung und Benutzung kosmischer Informationen ist zu sichern;
- der wirtschaftliche Nutzeffekt ist durch die Einführung von digitalen Methoden in die interdisziplinäre Verarbeitung kosmischer Informationen zu erhöhen;
- die Erzeugnisliste ist zu erweitern und die Qualität der abgeleiteten Fotodokumente, die während der interdisziplinären Verarbeitung kosmischer Information gewonnen werden und in manchen Volkswirtschaftszweigen eingesetzt werden, ist zu erhöhen;
- der Datenfonds der Geofernerkundung mit weltraumtechnischen Mitteln sowie kartographischen Daten als wichtigstem Bestandteil der Informationssicherstellung von perspektivreichen Geoinfor-

mationssystemen und Steuersystemen für die rationelle Nutzung der Naturressourcen sind zu schaffen.

Die Analyse der Funktionsmöglichkeiten des Systems unter Berücksichtigung des Vorsprungs in der technologischen und softwaremäßigen Sicherstellung der interdisziplinären Verarbeitung kosmischer Informationen und die auf Erfahrungen mit Anwendern in den Bereichen beruhende Zusammenarbeit gestatten es, eine Liste der Aufgaben mit unterschiedlichem Kompliziertheitsgrad aufzustellen, und diese Aufgaben sollen mit Hilfe des Systems gelöst werden, um die gesetzten Ziele zu erreichen.

Die Aufgaben werden allgemein in folgende Arten eingeteilt:

- planmäßige interdisziplinäre digitale Verarbeitung kosmischer Fotoinformationen für das Territorium des Landes im Basismaßstab und Speicherung der Resultate dieser Verarbeitung;
- Digitalverarbeitung kartographischer Unterlagen für das Territorium der UdSSR in einem größeren Maßstab, Speicherung der Resultate dieser Verarbeitung zwecks Nutzung bei der Schaffung digitaler Fotokarten für das Territorium des Landes;
- Verarbeitung der gespeicherten digitalen Informationen zwecks Schaffung, Laufendhaltung und Wiedergabe der Fotokarten für das Territorium der UdSSR;
- Gewährleistung der Funktionen der Datenbank zur Befriedigung von Anforderungen der Anwender an die gespeicherten Fonds des Systems.

Bei detaillierter Betrachtung lassen sich folgende technologische Prozesse angeben:

- Transformation kosmischer Ausgangsinformation in die Digitalform mit Aufzeichnung des Resultats auf einen Datenträger;
- Umwandlung semantischer und metrischer kartographischer Informationen, welche im Ausgangszustand in graphischer und Zeichenform dargestellt wird, in die Digitalform mit Aufzeichnung des Resultats auf Datenträger;
- automatisierte geographische Anpassung kosmischer Information unter Nutzung katalogisierter Daten über das Anschlußpunktenetz für das Territorium der UdSSR;
- Korrektur geometrischer und fotometrischer Verzerrungen kosmischer Information mit Überführung des Darstellungsinhaltes in die vorgegebene kartographische Projektion;
- Erstellung der Datenbasis von Digitalhalbtondarstellungen;
- Erstellung der Datenbasis kartographischer Digitalinformationen;
- Speicherung, Führung und Laufendhaltung erstellter Datenbasen;

- Verarbeitung der Informationen aus erstellten Datenbasen gemäß den speziellen Anforderungen der Anwender und Schaffung der Ausgangsproduktion sowie der Zusatzdatenbasen nach den Verarbeitungsergebnissen;
- interaktive Konturdechiffrierung von digitalen Fotokarten unter Nutzung digitaler kartographischer Anschlußinformationen;
- Wiedergabe der Ausgangsinformationen in Digitalform oder in Form von Halbton-, graphischen oder kombinierten Darstellungen einschließlich folgender Haupttypen:
 - . einzelne transformierte kosmische Bilder;
 - . einzelne transformierte kosmische Bilder mit Signaturen und Koordinatennetz;
 - . schwarzweiße Fotopläne auf Grund kosmischer Bilder mit Standardeinteilung in ebenen Territorien;
 - . Fotokarten auf Grund kosmischer Information mit Standardeinteilung für das Territorium der UdSSR;
 - . Fotokarten auf Grund kosmischer Information für einen frei gewählten gegebenen Abschnitt des Territoriums der UdSSR;
 - . einzelne kosmische Aufnahmen mit fotometrischer Korrektur von Verzerrungen, die vom Fotosystem und durch Atmosphärendunst verursacht wurden;
 - . schwarzweiße Orthofotopläne auf Grund kosmischer Aufnahmen mit Standardeinteilung in bergigen Gebieten;
 - . farbgemischte Fotopläne nach multispektralen kosmischen Aufnahmen mit Standardeinteilung;
 - . lagemäßig versetzte multispektrale Bilder auf dem Datenträger, transformiert in die vorgegebene kartographische Projektion;
 - . digitale Reliefmodelle im Basismaßstab für Standardgradnetzausschnitte oder einen frei gewählten gegebenen Abschnitt des Territoriums der UdSSR;
 - . aufgelichtete topographische Grundlage, laufendgehalten anhand kosmischer Informationen;
 - . Kartenskizze der Naturkonturen nach den Landschaftskategorien aus Ergebnissen der automatisierten Dechiffrierung kosmischer Informationen.

Als Basismaßstab der Ausgangsinformation gilt im System der Maßstab 1 : 1 000 000; die Speicherkapazitäten der Information in der Struktur der Datenbank werden ungefähr 20 bis 50 GByte betragen. Wie aus diesem Bild 2 ersichtlich, soll das System strukturmäßig drei Grundkomponenten besitzen:

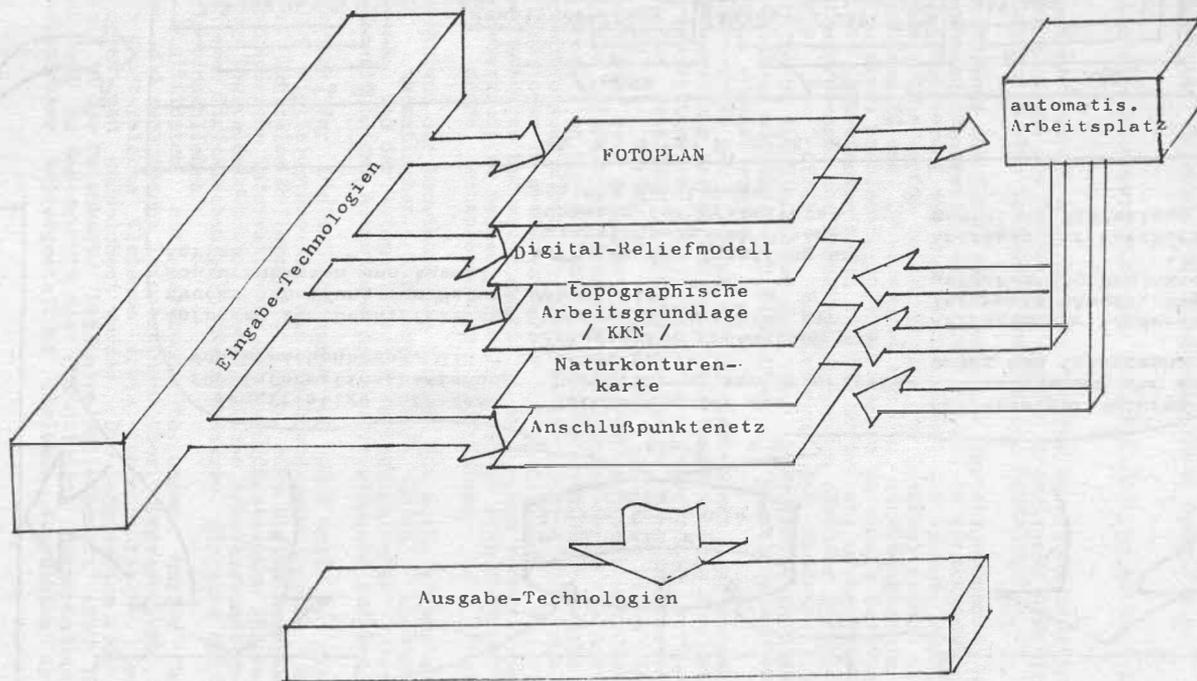
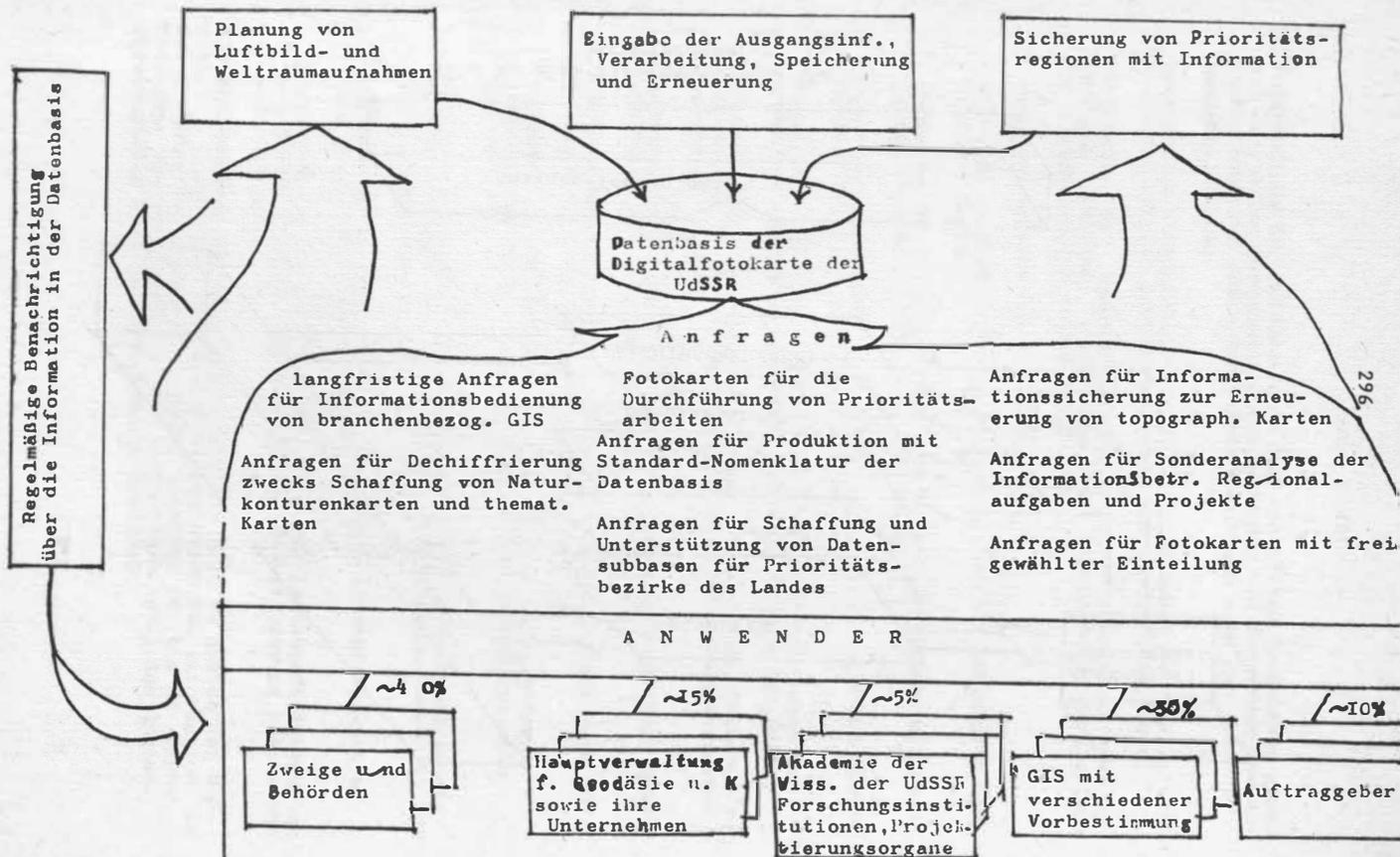


Bild 2. Digitalfotokarte der UdSSR - Strukturplan



- eine Bank räumliche Informationen von 4 Hauptarten mit einer "schichtweisen" Organisation im einheitlichen Koordinatensystem,
- technologische Sicherstellung der Informationseingabe und -ausgabe,
- einen automatisierten Arbeitsplatz für die Abbildung räumlicher Informationen und die Gewährleistung des graphischen Mehrvariantenzuganges zu den Speicherelementen der Datenbank.

Die Unterstützung der Funktionen jeder der Systemkomponenten und deren Zusammenwirkungsweise wird durch spezielle programmorientierte Systemsicherung der Basisrechenmittel des Systems realisiert. Als solche werden in der Etappe der Systemabstimmung die Rechenmaschinen EC und CM verwendet mit dem nächstmöglichen Übergang zu einem problemorientierten System innerhalb des Mini-Rechners mit Diskettenspeichern 100/200 MByte, mit einem Universal-Matrixprozessor und Magnetbandspeichern erhöhter Aufzeichnungsdichte. Die effektive Realisierung des Systems kann weiterhin durch die Einführung der Archivierungseinrichtungen der Digitaldaten auf optischen Disketten und Magnetbändern von hoher Dichte ergänzt werden.

Das Zusammenwirken des Systems mit den Anwendern kann entweder als Sicherstellung der Aufträge für die traditionelle Produktion oder als Bearbeitung von komplizierteren Anforderungen, verbunden mit der Erhaltung von informativeren Sekundärunterlagen (siehe Bild 3), verlaufen. Vorgesehen ist eine regelmäßige Benachrichtigung der Anwender über die Verfügbarkeit und Charakteristika der Information innerhalb des Systems sowie die Ausführung von speziellen und kostspieligen Dienstleistungen zwecks Informationsversorgung einzelner Regionen mit zusätzlichen Ausgangsinformationen in größerem Umfang und detailliert. Die bis heute durchgeführte Befragung gestattet es, einen vermutlichen Systemanwenderkreis zu nennen. In Bild 3 ist er angeführt und die vorläufige Menge entsprechender Bedürfnisse in Prozent angegeben.

Die Perspektiven der Benutzung des GIS mit Fotokarte können am komplexen thematischen Kartieren auf Grund kosmischer Informationen und der Automatisierung kartographischer Prozesse und der Verwaltung der Ausnutzung der Naturressourcen aufgezeigt werden.

Die Datenbank der Digital-Fotokarte (DB DFK) soll zu diesem Zweck eine Digitaldatenbasis mit Halbtondarstellungen, eine Datenbasis "Digitales Reliefmodell" (DRM), eine Digitaldatenbasis mit kartographische Informationen, mit toponomastischen Informationen, eine Digitaldatenbasis "Topographische Arbeitsgrundlage" (TAG) und eine Digitaldatenbasis "Naturkonturen" als eine Hilfsdatenbasis einschließen.

Neben Digitaldaten mit Halbtondarstellungen sollen auch metrische und semantische Informationen über topographische und allgemein-geographische Elemente sowie toponomastische und Hilfsinformationen gespeichert werden. Die Information über das Relief soll in der Datenbasis "Digitales Reliefmodell" (DRM) konzentriert und im Endergebnis mit Höhenlinien, Höhenpunkten, charakteristischer Reliefgestaltung (Felsen, Schluchten usw.)

dargeboten werden. Kartographische Informationen sollen voraussichtlich in die Datenbasis "Topographische Arbeitsgrundlage" eingegeben werden.

Die Datenbasis "Topographische Arbeitsgrundlage" soll die Übereinstimmung von topographischer Grundlage und Karten mit Spezialinhalt bei der Durchführung von interdisziplinären Arbeiten, darunter auch mit dem dazugehörigen komplexen Kartieren, sicherstellen. Informationen, die in der Datenbasis "Topographische Arbeitsgrundlage" gespeichert sind, sollen möglichst vollständig und zuverlässig die charakteristischen geographischen Besonderheiten des Landes widerspiegeln. Als Grundlage für die Erstellung der Datenbasis "Topographische Arbeitsgrundlage" können topographische Übersichtskarten dienen.

Die topographische Arbeitsgrundlage soll Elemente der normalen topographischen Grundlage sowie zusätzliche Elemente, beispielsweise für eine Reihe Karten von allgemeingültigen Serien, deren Inhalt sich im Prozeß der Zusammenstellung vereinbaren läßt, einschließen. Sie soll folgende zusätzliche Elemente enthalten:

- Strukturlinien und Abschnitte,
- Grenzen von bestimmten Natur- und Wirtschaftsobjekten,
- "Naturkonturen",
- Höhenlinien (gelichtet im Vergleich zur topographischen Karte).

In Abhängigkeit vom Charakter, den Geländebesonderheiten und den Anforderungen der Anwender bestimmt der Redakteur den Grad der Kartenbelastung mit Signaturen und Schrift, die einzelnen Elemente der topographischen Grundlage, die Auswahlnormen und den Verallgemeinerungsgrad von Inhaltselementen der topographischen Arbeitsgrundlage. Zusätzliche Elemente der topographischen Arbeitsgrundlage sollen in die Datenbasis hauptsächlich von den kosmischen Fotoinformationen und teilweise von thematischen Karten eingegeben werden. Es ist anzunehmen, daß auch literarische Quellen und Nachschlagewerke verwendet werden.

Kosmische Fotoaufnahmen und Fotopläne gelten als Grundlage für die Erarbeitung der Datenbasis "Naturkonturen". Diese Datenbasis soll während der automatisierten thematischen Analyse von kosmischen Fotoaufnahmen und deren weiteren Typisierung nach Fotomuster und naturwirtschaftlichem Inhalt durch die Analyse der kartographischen und literarischen Nachschlagequellen gebildet werden.

Die Arbeit zur Formierung der Datenbasis "Naturkonturen" erfordert, daß die wichtigsten Abschnitte der Natur hervorgehoben werden, die die präzisierten Grenzen der Natur- und Wirtschaftszonen und -gebiete, konform in fotophysionomischer Hinsicht, die Grenzen der bergigen Gebiete, der Schelfzonen und der ebenen Gebiete, wichtige Wasserscheiden innerhalb der Gebirgsgegenden und Regionen mit unterschiedlicher Grenzausprägung (deutlich, undeutlich, verschwommen) einschließen. Damit es die Anwender bequem haben, wird die Indexbezeichnung der hervorgehobenen "Naturkonturen" nach Spezialkatalogen für typische Gebilde vorgenommen. Die

Typisierung nach dem naturwirtschaftlichen Inhalt wird innerhalb der Einheiten der Natur- und Wirtschaftsrayonierung der Territorien anhand der Kriterien der fotophysiognomischen Konformität vorgenommen. Es ist anzunehmen, daß die Datenbasis "Naturkonturen" von den Anwendern, die den thematischen Inhalt der Karten ausarbeiten, benutzt wird, um Hauptnaturabschnitte hervorzuheben, das Einheitssystem der Verallgemeinerungen zu behalten und/oder Darstellungen der gegenseitig bedingten und miteinander verbundenen Objekte und Erscheinungen auf verschiedenen Karten der Serie in Einklang zu bringen.

Als Grundlage für die Erstellung der Datenbasis "Topographische Arbeitsgrundlage" verwendet man ein Jahr alte topographische Übersichtskarten für bewohnte Gebiete und dreijährige Karten für wenig bewohnte Gebiete. Das sieht die Erneuerung der Inhaltselemente der topographischen Grundlage anhand kosmischer Aufnahmen sowie dementsprechend die Erneuerung anderer Inhaltselemente der Datenbasis der Digitalfotokarte vor. Als Hauptarbeitsmaterial bei der Durchführung von komplexen kartographischen Arbeiten unter Einsatz der Materialien kosmischer Aufnahmen bieten sich topographische Arbeitsgrundlagen, auf denen die Zusammensetzung von Autorenmodellen und Originalentwürfen der thematischen Karten aus der Serie vorgenommen wird. Die fotographische Arbeitsgrundlage schließt eine Fotodarstellung und vom Redakteur ausgewählte Elemente der topographischen Arbeitsgrundlage ein. Sie kann auf Anforderungen der Anwender dank der gemeinsamen Verarbeitung der Information aus mehreren Datenbasen erstellt werden.

Unter den Bedingungen der Nutzung der Datenbasis der Digitalfotokarte verstehen sich solche Verhältnisse, die für den Anwender den Zugang zu den Datenbasen ermöglichen. Dazu gehören z. B. folgende Möglichkeiten: die Gewährleistung der Anfragen des Anwenders mit passenden Fachausdrücken, die Kontrolle über kartographische Korrespondenzrelationen der Daten, die Verwendung der kartographischen Semantik, die Einführung von gemischten Informationen und die Bearbeitung von komplizierten synthetischen Daten, das Redigieren der Informationen in traditioneller kartographischer Form, die für den Anwender bequem ist, die Sicherung des Datenkopierens, des Zuganges zur Information laut Anwenderstatut und die Dateisicherung.

die Gewährleistung der Anfragen des Anwenders mit passenden Fachausdrücken, die Kontrolle über kartographische Korrespondenzrelationen der Daten, die Verwendung der kartographischen Semantik, die Einführung von gemischten Informationen und die Bearbeitung von komplizierten synthetischen Daten, das Redigieren der Informationen in traditioneller kartographischer Form, die für den Anwender bequem ist, die Sicherung des Datenkopierens, des Zuganges zur Information lt. Anwenderstatut und die Dateisicherung.

Zusammenfassend kann man sagen: Die Nutzung des Geoinformationssystems nebst Fotokarte gestattet es, die Effektivität des komplexen thematischen Kartierens auf der Basis kosmischer Informationen zu erhöhen und die Grundlage für die weitere Prozeßautomatisierung des Kartierens und für die Verwaltung der Nutzung der Naturressourcen zu schaffen.

Zellenlisten und ihre Anwendungsmöglichkeiten
in Geoinformationssystemen

W. KOVALEVSKI

Akademie der Wissenschaften der DDR
Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse
Berlin

Zusammenfassung

Eine neue Datenstruktur zur speicherarmen Kodierung von segmentierten Bildern ohne Informationsverlust wird vorgestellt. Die Struktur wurde erfolgreich zur Objekterkennung und zur Lösung zahlreicher geometrischer Probleme angewendet. Auf der Grundlage dieser Struktur wurde eine Konzeption der Datenbasis zur Speicherung und Verarbeitung kartographischer und geographischer Daten entwickelt.

Abstract

A new data structure for economical storage of segmented images without loss of information is presented. The structure has been successfully used for object recognition and for solving various geometrical problems. On the base of the presented structure a conception of a data base for the storage and processing of cartographical and geographical data has been developed.

Резюме

Представлена новая структура данных для экономного кодирования сегментированных изображений без потери информации. Эта структура была успешно использована для распознавания объектов и решения ряда геометрических задач. На ее основе разработана база данных для хранения и обработки картографической и географической информации.

1. Anwendung der Topologie von Komplexen zur Bildbeschreibung

Bis vor kurzem wurden in der Bildverarbeitung die topologischen Begriffe, wie z.B. Zusammenhang, Begrenzung u.ä. mit Hilfe von Nachbarschaftsgraphen definiert. In der letzten Zeit konnte festgestellt werden, daß die Struktur eines Nachbarschaftsgraphen (NG) für die widerspruchsfreie Beschreibung der Topologie von Bildern nicht ausreichend ist /1/. Das Raster, welches ein Träger von zweidimensionalen Bildern ist, soll als ein zweidimensionaler Zellenkomplex beschrieben werden /2,3,4/. Ein NG ist für diese Zwecke nicht geeignet, weil er ein eindimensionaler Zellenkomplex ist.

Der Begriff eines Zellenkomplexes stammt aus der kombinatorischen Topologie /5/. Ein zweidimensionaler Zellenkomplex besteht sowohl aus zweidimensionalen Elementen (2-Zellen) als auch aus deren eindimensionalen und nulldimensionalen Seiten, welche die 2-Zelle beranden. Das sind die ein- und nulldimensionalen Zellen (1- und 0-Zellen). Die 2-Zellen sind die Flächenelemente, die 1-Zellen sind Linienelemente, und die 0-Zellen sind die Punkte. Auf der Menge der Zellen ist eine antisymmetrische transitive Relation definiert. Sie wird Berandungsrelation genannt. Eine Zelle höherer Dimension kann von Zellen kleinerer Dimensionen berandet werden. Dementsprechend können Flächenelemente von Punkten und Linienelementen berandet werden.

Die in der Bildverarbeitung üblichen elementaren Träger der Grauwerte (die Pixel) entsprechen nicht den Punkten, sondern den 2- Zellen, weil der Grauwert nur durch die Messung der Energie erfasst werden kann, die von einer Elementarfläche reflektiert (bzw. ausgestrahlt) wird.

In einem NG sind nur die zwei- und eindimensionalen Elemente (und zwar dual) dargestellt. Es wurde gezeigt, daß gerade das Fehlen der nulldimensionalen Elemente die bekannten Nachbarschaftsparadoxa verursacht /4/. Diese Elemente sind auch für die sparsame Kodierung von schmalen zusammenhängenden Gebieten in Bildern mit feinen Details entscheidend wichtig. Es wurde auch bewiesen /4/, daß die Topologie der Zellenkomplexe die einzig mögliche nichttriviale Topologie auf

endlichen Mengen ist. Diese Topologie ermöglicht die unmittelbare Anwendung der wichtigsten topologischen Begriffe, wie offene Umgebung, Zusammenhang, Begrenzung u.a., auf endliche Mengen, zu denen auch digitalisierte Bilder gehören.

2. Zellenliste - eine Datenstruktur zur Speicherung von segmentierten Bildern

Der Begriff der Berandung läßt sich auf Mengen von Elementen (Elementarzellen) übertragen. So werden z.B. Gebiete im Bild von deren Begrenzungen und diese von Gabelungspunkten berandet. Man kann also Gebiete, Begrenzungsabschnitte und Gabelungspunkte als Zellen eines neuen Zellenkomplexes betrachten (Abb. 1.). Gabelungspunkte sind die 0-Zellen, Gebiete sind die 2-Zellen, ein Abschnitt einer Begrenzung zwischen zwei 0-Zellen ist eine 1-Zelle oder Linie. Eine Begrenzung, die keine Gabelungspunkte enthält, bildet eine einzige geschlossene Linie, die auch eine 1-Zelle ist. In einem Binärbild gibt es nur solche Begrenzungen.

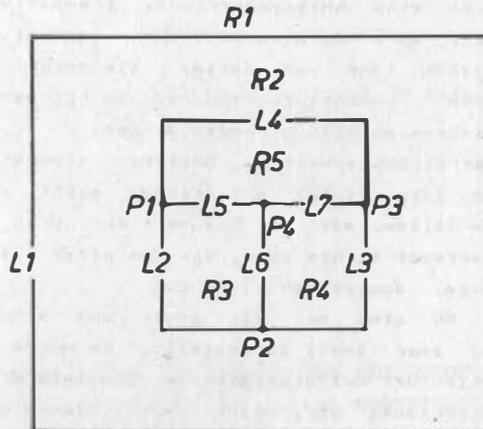


Abb. 1. Beispiel eines Zellenkomplexes

Mit Hilfe eines solchen Zellenkomplexes kann die

topologische Struktur des Bildes ganz genau beschrieben werden. Wenn man Koordinaten bestimmter Punkte hinzufügt, so können auch die geometrischen Eigenschaften des Bildes erfasst werden. Alle diese Daten werden in eine entsprechende Listenstruktur eingetragen, welche das Bild vollständig und sparsam beschreibt. Diese Struktur wird "Zellenliste" genannt. Die Zellenliste in ihrer einfachsten Form enthält vier Teillisten: die der 0-, 1- und 2-Zellen und eine Liste der metrischen Daten (vgl. Tabelle 1). Die metrischen Daten dienen der Beschreibung der Form und Lage der 1-Zellen (Linien). Eine Linie ist immer eine digitale Kurve. Sie kann in sogenannte digitale Strecken zerlegt werden, wobei diese Zerlegung eine genaue Darstellung der Kurve ist. Jeder 1-Zelle wird ein Satz in der Liste der metrischen Daten zugewiesen. Dieser Satz enthält Koordinaten von Endpunkten der digitalen Strecken, aus welchen die 1-Zelle besteht, und zusätzliche Parameter der digitalen Strecken. Die Parameter ermöglichen eine genaue Wiederherstellung der Begrenzungen. Diese Kodierung kann als eine Verallgemeinerung des Kettenkodes betrachtet werden: an Stelle von 8 möglichen Richtungen wird ihre Zahl praktisch unbegrenzt. Dementsprechend ist die durchschnittliche Länge der "Vektoren" wesentlich größer.

Diese Art der Kodierung von Kurven bringt wichtige Vorteile mit sich: der notwendige Datenumfang ist (bei Kurven geringer Krümmung) wesentlich kleiner, als der eines üblicher Kettenkodes, obwohl bei der Kodierung keine Information verlorengeht. Das ursprüngliche Bild kann aus der Liste ganz genau wiederhergestellt werden. Außer der hohen Datenkomprimierung besteht ein wichtiger Vorteil der Zellenliste darin, daß sowohl geometrische Transformationen von Bildern als auch Bestimmung verschiedener geometrischer Eigenschaften von Bildteilen (Abstand, Winkel, Länge, Flächeninhalt u.ä.) sich auf einfache Berechnungen mit Koordinaten reduzieren. Das bringt entscheidende Vorteile bei der Strukturanalyse und bei der Objekterkennung: in beiden Fällen kann eine hohe Leistung lediglich durch effektive geometrische Rechnungen erreicht werden.

Als Beispiel ist der (etwas verkürzte) Inhalt der Liste

für das Bild von Abb. 1 in der Tabelle 1 gezeigt. Die meisten Spalten der Teillisten enthalten Zeiger auf die Zeilen einer anderen Teilliste. Dadurch wird gezeigt, welche Zelle die jeweilige berandet oder von ihr berandet wird. So zeigt die Zahl -5 in der ersten Zeile und vierten Spalte von "Branching points" auf die 5. Linie. Dementsprechend berandet der Punkt 1. die Linie 5., welche in Richtung "Osten" geht. Das Vorzeichen bedeutet, daß die Linie 5. vom Punkt 1. weggeht (die Linien sind orientiert). Die Spalten 4. und 5. in der Teilliste "Lines" enthalten Zeiger auf das erste und das letzte Koordinatenpaar in der metrischen Liste: z.B. für die Linie 1. vom Paar 1. bis zum Paar 4. (die Paare sind durchgehend von 1. bis 20. numeriert). Man kann sehen, daß die Punkte in der metrischen Liste von den Eckpunkten des Quadrats um ein Bildelement verschoben sind. Das geschieht dadurch, daß die Linie in möglichst lange digitale Strecken zerlegt wird. Eine ausführliche Beschreibung der Datenstruktur "Zellenliste" ist in /4,6/ zu finden.

Zu der automatischen Erzeugung von Zellenlisten aus segmentierten Rasterbildern wurde ein Algorithmus entwickelt, der die Begrenzungen der Gebiete verfolgt und dabei die Erkennung von digitalen Strecken realisiert. Das entsprechende für den Rechner K1630 konzipierte Programm kann bis zu 624 Gebiete in einem Binärbild oder bis zu 430 Gebiete in einem Bild mit 256 Graustufen erfassen. Die Anzahl der digitalen Strecken ist praktisch unbegrenzt. Die Bildkodierung durch Zellenlisten bringt eine hohe Komprimierungsrate mit sich: für eine Testdatei aus 9 echten kartographischen Bildern wurde eine durchschnittliche Komprimierungsrate 19 im Vergleich zum Rasterbild gemessen, wenn die in den vier Listen enthaltene (nützliche) Redundanz nicht eliminiert war. Bei der Eliminierung der Redundanz (alle Teillisten lassen sich aus einer leicht veränderten Liste der Linien und der metrischen Daten rekonstruieren) erreicht die Komprimierungsrate im Durchschnitt 32. Beim Verzicht auf die zusätzlichen Parameter der digitalen Strecken ist die Komprimierungsrate gleich 67. Dabei können die Begrenzungen lediglich mit einer Ungenauigkeit von 1 Pixel wiederhergestellt

Tabelle 1

=====

The list contains: 4 branching points, 7 lines,
5 regions and 20 DSS end points.

The total number of memory bytes used = 352
Original image size 32x 32 bytes;
Data compression rate = 2.91

Precise non-redundant representation:
The data compression rate - 5.21

Branching points						
No	Coordinates		L i n e s			
	X	Y	East	South	West	North
1	14	18	-5	-2	0	4
2	18	24	-3	0	2	6
3	22	18	0	3	7	-4
4	18	18	-7	-6	5	0

No	L i n e s					
	Points		Metric		Regions	
	Start	End	Start	End	Right	Left
1	0	0	1	4	1	2
2	1	2	5	7	2	3
3	2	3	8	10	2	4
4	3	1	11	14	2	5
5	1	4	15	16	3	5
6	4	2	17	18	3	4
7	4	3	19	20	4	5

Regions		
No	Label	Start line
1	0	1
2	255	-1
3	100	5
4	160	-6
5	0	-7

The metric list - coordinates of the DSS end points:

Line 1: (10, 10), (11, 30), (26, 29), (25, 10).

Line 2: (14, 18), (15, 24), (18, 24).

Line 3: (18, 24), (22, 23), (22, 18).

Line 4: (22, 18), (21, 14), (14, 15), (14, 18).

Line 5: (14, 18), (18, 18).

Line 6: (18, 18), (18, 24).

Line 7: (18, 18), (22, 18).

werden. Zum Vergleich wurde bei der Verwendung des Lauflängencodes (run length code) für dieselben Bilder eine durchschnittliche Komprimierungsrate von 8 gemessen.

Die Zeiteffektivität des Programms ist zur Zeit durch die Möglichkeiten des Rechners K1630 begrenzt: im Durchschnitt werden 80 Sekunden für ein kartographisches Bild von 512x512 Pixel (aus der obengenannten Testdatei) gebraucht. Beim Übergang zu schnelleren Rechnern kann mit einer wesentlich höheren Geschwindigkeit gerechnet werden.

3. Algorithmen zur Nachbearbeitung von Zellenlisten

Eine der wichtigsten Aufgaben der Nachbearbeitung von Zellenkomplexen ist das Editieren. In der computergestützten Kartographie kann man damit die erfassten kartografischen Unterlagen korrigieren oder sogar wesentlich verändern. Im Falle einer automatischen Erzeugung von neuen Karten können die durch die Unvollkommenheit der automatischen Verdrängung, Generalisierung u.ä. entstandenen Fehler ausgebessert werden. Das Editieren in der Liste hat wesentliche Vorteile im Vergleich zum Editieren im Raster:

- Im Raster kann man ohne großen Aufwand nur die Grauwerte von einzelnen Pixeln oder von vorher definierten Gebieten, z.B. von parametrisierten Rechtecken, Kreisen usw. ändern. Die im Bild vorhandenen Gebiete müssen interaktiv angegeben werden. Das ist aufwendig und meistens ungenau. In der Liste sind diese Gebiete explizit beschrieben und können leicht angesprochen werden.
- Im Raster ist keine topologische Information über die Gebiete und deren Begrenzungen vorhanden. Deswegen ist z.B. die Aufgabe "zu einem gegebenen Gebiet ein benachbartes Gebiet anzuschließen" nicht unmittelbar durchführbar: man muß die Begrenzung des anzuschließenden Gebietes Punkt für Punkt interaktiv eingeben und dann den Grauwert im Inneren ändern (z.B. durch das Konturfüllen). In der Liste genügt es, einige Zeiger zu ändern und einige Sätze zu löschen.
- Geometrische Transformationen von einzelnen Linien und

Gebieten sind im Rasterbild sehr aufwendig. In der Liste genügt es, einige Koordinaten, die bereits in einer Teilliste zusammengefasst sind, automatisch umzurechnen.

Der in /6/ beschriebene Listeneditor realisiert, folgende Operationen:

- Verschmelzung zweier benachbarter Gebiete;
- Bildung eines neuen Gebietes;
- geometrische Transformation (Rotation, Translation) einer Gebietsbegrenzung als Ganzes;
- Änderung einzelner Punkte einer Begrenzung;
- Änderung des Grauwertes eines Gebietes;
- Verschiedene Hilfsoperationen zur Veranschaulichung des Inhalts der Liste.

Der Inhalt der Liste wird zu jedem Augenblick als ein Rasterbild wiedergegeben, so daß die durchgeführten Veränderungen sofort sichtbar werden.

Durch andere Programme zur Nachbearbeitung von Listen werden folgende Funktionen realisiert:

- Drucken des Inhalts einer Zellenliste mit Berechnung der Komprimierungsrate ;
- Umwandlung der Liste in ein Rasterbild (vgl. Abb. 2);
- Erzeugung einer Liste der berandenden Linien für jedes Gebiet;
- Geradenapproximation der Begrenzungen mit einer beliebig vorgegebenen Toleranz. Die Toleranz bestimmt die maximale Abweichung der echten Begrenzung von den approximierenden Strecken. Das Programm benutzt zur Approximation lediglich die Endpunkte der digitalen Strecken (vgl. Abschnitt 2.) und ist deshalb sehr schnell: es braucht auf dem Rechner K 1630 10 Sekunden (plus 5 Sekunden zum Lesen der Plattendatei) für ein durchschnittliches kartographisches

Bild der Größe 512x512.

- Erzeugung einer Hilfsdatei ("Pseudoraster" genannt) für ein schnelles Suchen von benachbarten Objekten in der Zellenliste. Das Bild wird (implizit) in Quadrate von je 32x32 Pixel zerlegt (vgl. Abb. 2). Das Programm erzeugt für jedes Quadrat eine Liste von Zeigern auf alle die Objekte, welche dieses Quadrat schneiden. In der ersten Version des Programms sind digitale Strecken aus der Zellenliste als Objekte betrachtet worden. Nach der Erzeugung der Quadratlisten (im Durchschnitt 13 Sekunden) kann ein Koordinatenpaar (x,y) angegeben werden. Durch eine Verschiebung dieser Zahlen (Division durch 32) wird das entsprechende Quadrat gefunden und alle Objekte aus der Quadratliste geholt. In Abb. 2 ist solch ein Punkt und die in seiner Umgebung liegenden digitalen Strecken hell markiert. Das Programm soll bei der kartographischen Bearbeitung, wie Verdrängung, Freistellung u.ä., eine breite Anwendung finden.

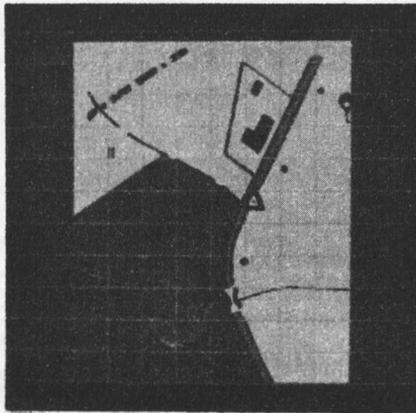


Abb. 2. Ein aus der Zellenliste wiederhergestelltes Bild (im Original farbig) mit Überlagerung des Pseudorasters

4. Objekterkennung in der Kartographie

Die automatische Erkennung von kartographischen Objekten ist wesentlich komplizierter als die Erkennung von Schriftzeichen. Selbst dieses letztere Problem kann nicht als endgültig gelöst betrachtet werden. Die Objekterkennung in der Kartographie ist durch die Vielfalt der Objekte, durch unbeständige Orientierung mancher Objekte und durch die Präsenz von langgestreckten linienhaften Objekten, die oft die sogenannten "Punktobjekte" schneiden, weitgehend erschwert.

Die fortgeschrittenen Verfahren der Objekterkennung gehören zu dem Bereich der strukturellen Bildanalyse. Zu dieser Klasse gehören Verfahren, die auf der Idee der Teilgraphenisomorphie /7/ beruhen. Das Bild wird in quasi-homogene Gebiete segmentiert und die Menge der Gebiete als ein Gebietsnachbarschaftsgraph dargestellt, dessen Knoten den Gebieten entsprechen und dessen Kanten jeweils zwei benachbarte Gebiete miteinander verbinden.

Die Idee des Verfahrens besteht darin, daß man die zu erkennenden Objekte als kleine (im Vergleich zum gesamten Bild) Mustergraphen darstellt und in dem Graphen des gesamten Bildes (Bildgraph) nach Teilgraphen sucht, welche einem Mustergraphen isomorph sind.

Um die Suche nach den Teilgraphen zu beschleunigen und "falsche Alarme" auszuschließen, werden die Gebiete im Bild mit Merkmalen (z.B. Farben, vgl. Abb. 3a) und die Knoten des Mustergraphen mit semantischen Symbolen versehen. Zum Beispiel sind die Gebiete in Abb. 3a mit den Merkmalwerten "b" wie "blau", "w" wie "weiß" usw. und die Knoten des Mustergraphen in Abb. 3b mit den Symbolen S wie "Schornstein", H wie "Himmel", D wie "Dach" usw. markiert. Es wird auch eine Interpretationsrelation gegeben, die jedem Merkmalwert eine bestimmte Teilmenge der semantischen Symbole zuweist, z.B. ("weiß" - "Schornstein", "Wand"), ("blau" - "Himmel") usw. Es wird nach Abbildungen vom Mustergraphen auf den Bildgraphen gesucht, bei welcher

- a) ein Knoten nur auf einen anderen Knoten mit einem zulässigen Merkmalwert abgebildet wird;

- b) ein Knotenpaar, welches durch eine Kante verbunden ist, nur auf ein verbundenes Paar im Bildgraph abgebildet wird.

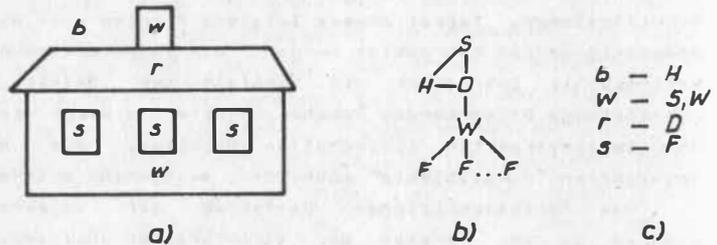


Abb. 3. Ein Objekt mit den Farben als Merkmalen (a), der Mustergraph mit den semantischen Symbolen (b) und die Interpretationsrelation (c); (H - Himmel, S - Schornstein, D - Dach, W - Wand, F - Fenster)

Wie bereits vermerkt, sind die Gebietsnachbarschaftsgraphen kein geeignetes Mittel zur Beschreibung der Bildstruktur. Aus diesem Grunde wurde eine neue, verallgemeinerte Problemstellung entwickelt /8/. Die wesentlichen Änderungen sind die folgenden:

- Im Gegensatz zu den bekannten Problemstellungen werden Bilder nicht als Graphen sondern als 2-dimensionale Zellenkomplexe (Bildkomplexe) betrachtet. Dementsprechend werden nicht nur Gebiete (2-Zellen), sondern auch Begrenzungen von Gebieten, deren Teile (1-Zellen) und Gabelungspunkte (0-Zellen) als markierte Objektteile betrachtet. Mustergraphen, welche die zu erkennenden Objekte beschreiben, werden auch durch zweidimensionale Zellenkomplexe (Musterkomplexe) ersetzt.

Die Merkmale der Objektteile entstehen nicht nur bei der Segmentierung des vorgegebenen Bildes, wie das der Fall für Farbe, Helligkeit, Textur usw. ist, sondern auch durch eine geometrische und topologische Auswertung der Zellen verschiedener Dimensionen. So kann z.B. eine 1-Zelle durch ihre Länge und Richtung und eine 0-Zelle durch die Anzahl der mit ihr inzidenten 1-Zellen charakterisiert werden.

- Die Kanten des Mustergraphen, welche eine einzige zweistellige Relation in der Menge der Knoten darstellen, werden durch mehrere verschiedene zweistellige Relationen ersetzt. Dazu gehören sowohl die Berandungsrelation im Musterkomplex MK, welche ein unmittelbarer Vertreter der ehemaligen Nachbarschaftsrelation im Mustergraph ist, als auch andere Relationen zwischen zwei Zellen von MK, welche nicht unbedingt in der Nähe voneinander liegen. Als ein Beispiel kann man die Relation von zwei Strecken nennen, welche dann als wahr gilt, wenn der Winkel zwischen diesen Strecken in vorgegebenen Grenzen liegt.

Es gibt auch andere wichtige Änderungen in der Problemstellung, auf welche wir hier wegen Platzmangel nicht eingehen können.

Das Finden der Isomorphie von Teilkomplexen, genauso wie der von Teilgraphen, ist im allgemeinen Fall mit einem umfangreichen Suchen verbunden, welches man in extremen Fällen als eine "kombinatorische Explosion" bezeichnet. Diese Schwierigkeit wird in dem entwickelten Verfahren durch die Auswahl von informativen Merkmalen und einer effektiven Datenorganisation überwunden: beim Suchen nach einem bestimmten Teilkomplex werden an erster Stelle solche Merkmale einzelner Zellen (wie z.B. Gebiete oder Linien) ausgewertet, welche die gesamte Menge der Zellen im Bild in annähernd gleichwahrscheinliche Teilmengen zerteilen. Dann wird die nächste Zelle des gesuchten Teilkomplexes ausgewertet, die in einer bevorzugten Relation zu der bereits gefundenen Zelle steht. Eine Relation heißt bevorzugt, wenn sie bei der Organisation der benutzten Datenstruktur explizit eingebaut ist. So ist z.B. die topologische Berandungsrelation explizit in die Datenstruktur einer Zellenliste eingebaut: für jede Zelle können alle mit ihr inzidenten Zellen durch Zeiger ohne Suchen angesprochen werden. Ein zweites Beispiel für eine bevorzugte Relation bildet die "Umgebungsrelation", die für jeden Punkt alle Zellen zeigt, welche eine vorgegebene Umgebung dieses Punktes schneiden. Durch viele informative Merkmale und mehrere bevorzugte Relationen wird das Suchen auf ein Minimum reduziert und der Erkennungsalgorithmus beschleunigt.

Der Erkennungsvorgang für alle zu erkennenden Objektklassen wird in Form eines Entscheidungsgraphen dargestellt. Jeder Knoten dieses Graphen entspricht der Auswertung eines Merkmals oder einer Relation oder dem Finden einer Zelle, die in einer bestimmten Relation zu der jeweiligen Zelle steht. In Abhängigkeit von dem Ergebnis wird entlang einer der Kanten des Graphen zu dem nächsten Knoten gegangen usw. Der Entscheidungsgraph wird mit einer editierbaren Datei beschrieben. Die Datei kann man als eine einfache Wissensbasis betrachten.

Die Wissensbasis wird bei der Durchführung der Erkennung von einem Steuerprogramm gelesen. Dieses ruft ein in dem jeweiligen Knoten des Graphen angegebenes Unterprogramm zur Auswertung des notwendigen Merkmals oder einer Relation auf, wertet das Ergebnis aus und geht zum nächsten Knoten über. Alle die notwendigen Unterprogramme müssen in voraus entwickelt, übersetzt und gelinkt werden. Durch Änderungen in der Wissensbasis kann der gesamte Erkennungsvorgang völlig geändert werden, ohne das irgendein Programm geändert, übersetzt und gelinkt werden muß.

Als Beispiel sei die Erkennung des kartographischen Objektes "Untiefe" betrachtet. Des Objekt ist als ein gepunkteter Kreis aus 8 bis 12 schwarzen Punkten dargestellt. Der Entscheidungsgraph ist in Abb. 4 gezeigt.

Das beschriebene Verfahren wurde zur Erkennung von kartographischen Punktobjekten in den oben genannten Testdateien erfolgreich angewandt. Es wurden isolierte Objekte aus 25 Klassen erkannt. Einige Beispiele der Musterobjekte sind in Abb. 5 gezeigt.

Die Parameter in der Objektbeschreibung (verschiedene Schwellenwerte, Toleranzen u.ä.) wurden so gewählt, daß man auf Kosten einer etwas höheren Rückweisungsrate eine möglichst niedrige Fehlerwahrscheinlichkeit erreichen konnte. In den durchgeführten Experimenten wurden um 100 Objekte alle richtig erkannt. Die Rückweisungsrate konnte mit 2 Prozent eingeschätzt werden. Die Geschwindigkeit der Erkennung mit dem Rechner SM 1420 (ausgenommen die Zeit für die Erzeugung der

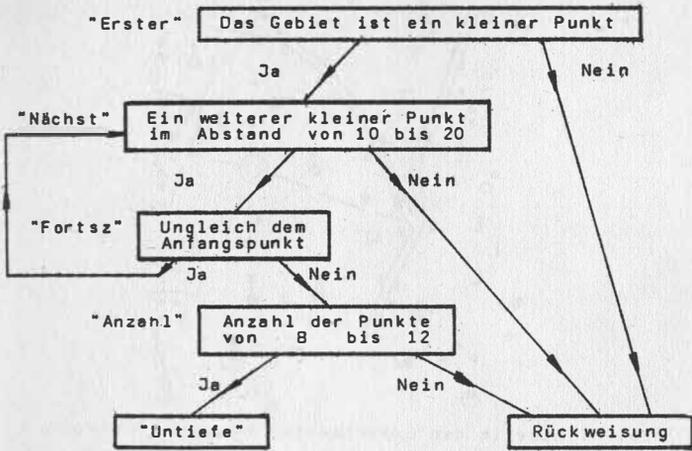


Abb. 4. Entscheidungsgraph für das Objekt "Untiefe"

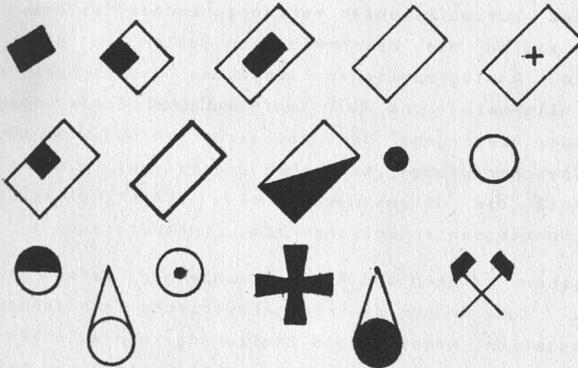


Abb. 5. Beispiele einiger Musterobjekte

Zellenlisten mit dem langsamen Rechner K1630) betrug 20 bis 25 Objekte pro Sekunde. Eine in den Experimenten benutzte Testkarte ist in Abb. 6 dargestellt.



Abb. 6. Eine in den Experimenten benutzte Testkarte

5. Konzeption der kartographischen Datenbasis

Die kartographische Datenbasis ist eines der wichtigsten Teile eines automatisierten kartographischen Systems. In der Datenbasis sollen die Beschreibungen aller in einer Karte vorhandenen kartographischen Objekten gespeichert werden. Außer den allgemeinen und selbstverständlichen Forderungen, wie eine genaue Wiedergabe der gespeicherten Objekte, möglichst geringer Speicheraufwand, einfacher Zugriff aus Unterprogrammen u.s.w., soll die Datenstruktur eine effektive Realisierung folgender Funktionen ermöglichen bzw. unterstützen:

- das Eingeben, Löschen und Ändern einzelner kartographischer Objekte. Zum Ändern gehören geometrische Transformationen, wie Translation, Rotation und Skalierung, und außerdem lokale Veränderungen einzelner Objektteile (z.B. bei der sogenannten "Verdrängung" u.ä.);
- ein schnelles Finden aller Objekte in einer beliebig vorgegebenen Umgebung eines Punktes;
- eine schnelle und genaue Objekterkennung;
- eine schnelle und genaue kartographische Bearbeitung (Freistellung, Verdrängung, Randanpassung und

Generalisierung). Dazu sind außer den ersten zwei obengenannten Funktionen die folgenden Spezialfunktionen erforderlich:

- geometrische Transformationen;
 - Glättung digitaler Kurven;
 - Bildung konvexer Hüllen;
 - eine schnelle und genaue Symbolisierung, d.h. Erzeugung eines Rasterbildes, in dem die in der Datenbasis enthaltenen Objekte durch die entsprechenden kartographischen Symbole dargestellt sind;
- ein interaktives Editieren des Inhaltes der Datenbasis in jeder der folgenden Situationen:
- nach der Erfassung von Quellunterlagen;
 - nach der Objekterkennung;
 - nach der kartographischen Bearbeitung;
 - nach der Symbolisierung.

Entsprechend diesen Forderungen wurde die in Abb. 7 gezeigte Struktur der Datenbasis entwickelt /9/. Eine wesentliche Besonderheit dieser Datenstruktur besteht darin, daß die kartographischen Relationen der Objekte (die sogenannte "Abhängigkeit" und die hierarchische Relation "Teil von") von deren topologischen und geometrischen Eigenschaften getrennt sind und keinen wesentlichen Einfluß auf die Struktur der Datenbasis haben.

Die Datenbasis besteht hauptsächlich aus der Eingabe-Zellenliste, der Objektliste und der Ausgabe-Zellenliste (vgl. Abb. 7). Die Zellenlisten haben die im Abschnitt 2 beschriebene Struktur. Sie dienen zur Beschreibung der symbolisierten Karten: die Eingabeliste für die erfassten Unterlagen, die Ausgabeliste für die neu erzeugte Karte.

Die Eingabe-Zellenliste bildet eine Basis für die Objekterkennung. Davor kann die Liste interaktiv kontrolliert

und editiert werden. Dabei können Fehler wie Staub und Schmutzflecke beseitigt werden.

Die Ergebnisse der Objekterkennung werden in die Objektliste eingetragen. Die Objekte werden in einer abstrakten, d.h. von der Symbolisierung unabhängigen Form, dargestellt: Signatur-Punktobjekte durch jeweils einen Punkt, begleitet von einem Identifikator, Linienobjekte durch einen Polygonzug der Mittelachse, Flächenobjekte und Umriß-Punktobjekte durch Polygonzüge ihrer Begrenzungen. Jedem Objekt können nach Bedarf Attribute zugewiesen werden. Der Inhalt der einzelnen Teillisten ist in der Tabelle 2 gezeigt.

Tabelle 2
 =====
 Bestandteile der Objektliste
 =====

Punktobjekte

Identifikator	XY-Zeiger	Attribut
1	2	3
Haus	532	123

Linienobjekte

Ident.	Geschl.	XY-Anf.	XY-Ende	G.rechts	G.links	Attrib.
1	2	3	4	5	6	7
Straße	0	123	234	561	157	852

Flächenobjekte

Ident.	Anz.Lin.	Äußere Lin.	Attribut
1	2	3	4
See	2	153	741

Koordinatenliste

(10, 10), (11, 30), (26, 29), (25, 10)...

Attributenliste

...

Bei Punktobjekten enthalten die Spalten 2. und 3. Zeiger auf ein Koordinatenpaar in der Koordinatenliste und auf ein Attribut. In der Liste der Linienobjekte enthält die Spalte "Geschl." eine logische Variable, die angibt, ob die Linie geschlossen ist. Die zwei nächsten Spalten enthalten (ähnlich

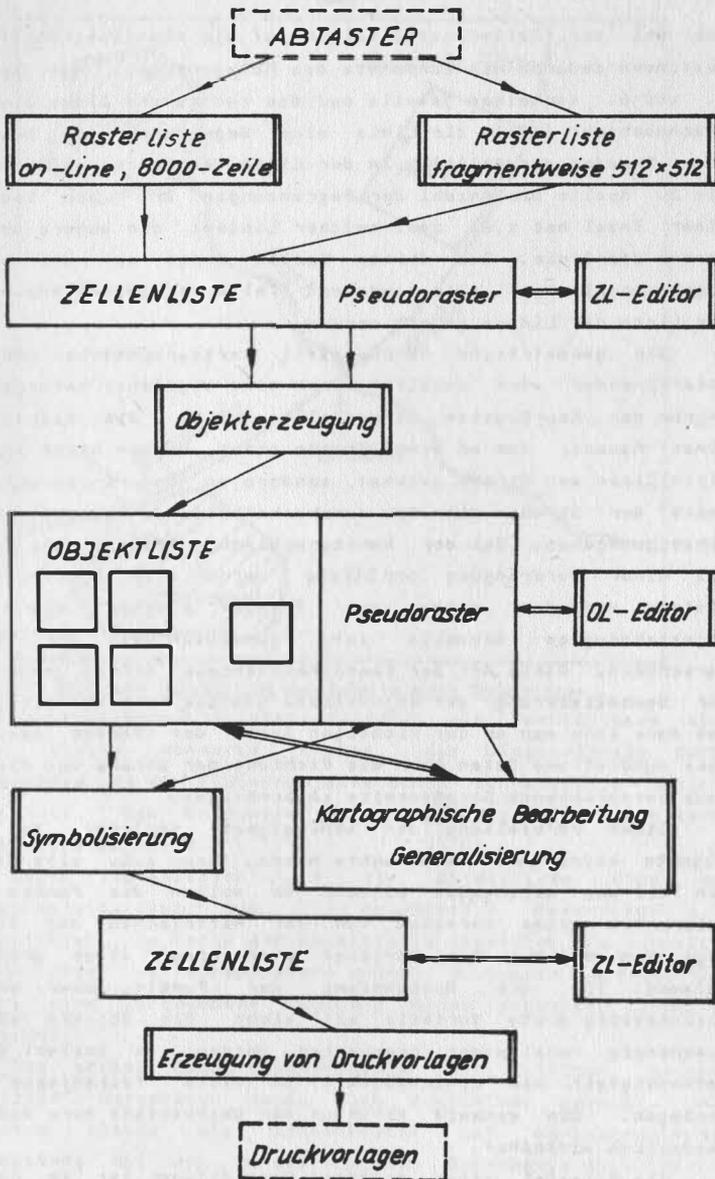


Abb. 7. Struktur der kartographischen Datenbasis

wie bei der Zellenliste) Zeiger auf die Koordinatenliste und bestimmen dadurch die Eckpunkte des Polygonzuges. Die Spalten 5. und 6. verweisen jeweils auf das rechts und links liegende Flächenobjekt (falls die Linie eine Begrenzung wie Waldrand oder Seeufer darstellt). In der Liste der Flächenobjekte gibt die 2. Spalte die Anzahl der Begrenzungen an. Ein See mit einer Insel hat z.B. zwei solcher Linien: die äußere und die innere Uferlinie. Die dritte Spalte zeigt auf die äußere Begrenzungslinie. Alle anderen (falls vorhanden) können aus der Liste der Linien geholt werden.

Die geometrische Abhängigkeit kartographischer Objekte untereinander wird implizit durch eine möglichst naturgetreue Angabe der Koordinaten dargestellt: z.B. die Koordinaten eines Hauses, das an einer Straße steht, werden nicht auf die Mittellinie der Straße gesetzt, sondern an der entsprechenden Seite der Straße mit dem durchschnittlichen Abstand von der Achse angegeben. Bei der kartographischen Bearbeitung (z.B. bei einer Verdrängung der Straße) werden alle Objekte, deren Abstand von der Achse der Straße kleiner als eine objektabhängige Schwelle ist, gemeinsam mit der Straße verschoben. Diese Art der Koordinatenangabe bringt auch bei der Symbolisierung der Objektliste gewisse Vorteile mit sich: das Haus kann man an der richtigen Seite der Straße zeichnen ohne zusätzliche Daten über die Richtung der Straße und die dem Haus entsprechende Straßenseite zu benötigen.

Diese Darstellung der Abhängigkeit verlangt, daß die Objekte keine gemeinsamen Punkte haben. Wenn z.B. eine Straße ein Teil des Waldrandes bildet, so sollen die Punkte des Waldrandes etwas versetzt von der Mittelachse der Straße angegeben werden. Das verlangt zwar einen etwas größeren Aufwand für die Speicherung der Punkte, aber bringt gleichzeitig große Vorteile mit sich: die Objekte können unabhängig voneinander bearbeitet werden; es besteht keine Notwendigkeit, die Linienobjekte in viele "Teilobjekte" zu zerlegen. Die gesamte Struktur der Objektliste wird dadurch wesentlich einfacher.

Ein Beispiel einer solchen Darstellung ist in Abb. B gezeigt. Abb. B stellt gleichzeitig den vollständigen Inhalt

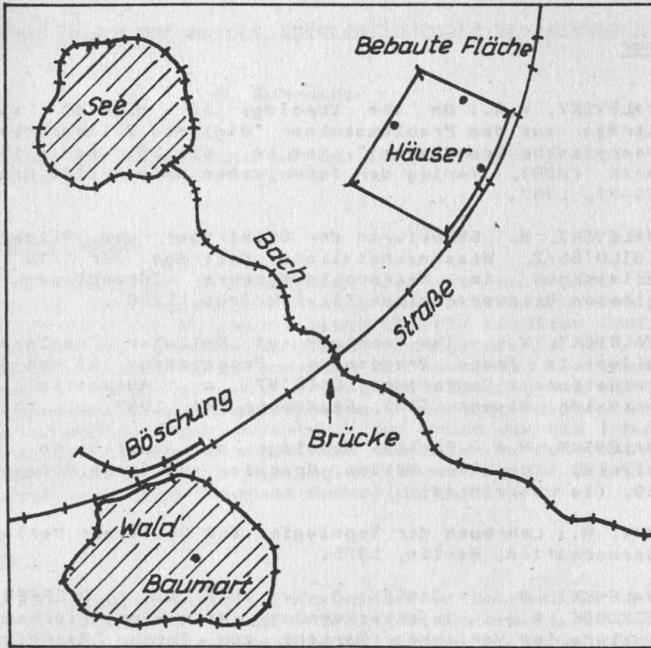


Abb. 8 Bildliche Darstellung des Inhalts einer Objektliste einer entsprechenden Objektliste dar: die Punktobjekte sind durch kleine schwarze Kreise, die Linienobjekte durch Polygonzüge und die Flächenobjekte durch schraffierte Gebiete bezeichnet. Die Endpunkte der Polygonzüge sind durch kurze Querstriche markiert.

Beide Zellenlisten und die Objektliste sind mit Pseudorasterdateien, wie im Abschnitt 3 beschrieben, ausgestattet. Im Falle der Objektliste dient dies dem schnellen Finden aller kartographischen Objekte im ganzen Kartenblatt welche eine vorgegebene Umgebung eines gegebenen Punktes schneiden.

Die ersten Computereperimente mit kleinen manuell gefüllten Datenbasen haben gute Ergebnisse gezeigt. Als nächstes müsste die Effektivität der kartographischen Bearbeitung mit der vorgeschlagenen Datenbasis experimentell getestet werden.

Literatur

- /1/ KOVALEVSKY, V.A.: On the topology of digital spaces, Beiträge aus dem Problemseminar "Digitale Bildverarbeitung (Theoretische Grundlagen)", vom 14. bis 18. April 1986 in Fleeth (DDR), Verlag der Technischen Universität Dresden, S.56-77, 1987.
- /2/ KOVALEVSKI, W.: Strukturen der Bildträger und Bilder, in AUTOBILD'86/2, Wissenschaftliche Beiträge der FSU Jena, (Vorlesungen im Weiterbildungskurs "Grundlagen der digitalen Bildverarbeitung"), FSU Jena, 1986.
- /3/ KOVALEVSKY, V.A.: The Topology of Cellular Complexes as Applied to Image Processing, Proceedings of the Second International Conference CAIP'87 on Automatic Image Processing, Wismar (GOR), September 2-4, 1987, pp. 162-173.
- /4/ KOVALEVSKY, V.A.: Finite Topology as Applied to Image Analysis, Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1989, (to be printed).
- /5/ RINOW, W.: Lehrbuch der Topologie, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1975.
- /6/ KOVALEVSKI, W.: JANSEN, W.: LUTH, N.: PFEFFER, T.: WIECZOREK, A.: Objekterkennung mit topologischen und strukturellen Verfahren, Bericht zum Thema "Maschinelles Sehen und automatisierte Bildanalyse", Teilaufgabe "Objekterkennung für die Kartographie (AOE)", ZKI, 29. April 1988, S. 1-31, (mit Anlagen).
- /7/ ULLMANN, J.R.: An algorithm for subgraph isomorphism, Journal for the Association for Computer Machinery, v. 23, p. 31-42, January 1976.
- /8/ KOVALEVSKY, V.: Objekt Recognition by Structural Image Analysis, Computing, Springer-Verlag, Wien, 1989 (im Druck).
- /9/ KOVALEVSKI, W.: Konzeption der Datenbasis des Automatischen Kartographischen Systems, Technischer Bericht zum Thema "Maschinelles Sehen und automatisierte Bildanalyse", Teilaufgabe AOE, ZKI, 2. Mai 1988, S. 1-14.

Speicherung raumbezogener Informationen im Basisvektorkonzept

M. Schneider

Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Physik der Erde

Zusammenfassung

Die Abbildung der Informationen über die reale Welt zwecks Bearbeitung in rechnergestützten Informationssystemen geschieht meist in Form von Objekten. Diese Objekte besitzen zwei Typen von Eigenschaften, geometrische und nichtgeometrische. Während die nichtgeometrischen Eigenschaften mit bekannten Datenbanklösungen behandelt werden können, erfolgt die Speicherung und Verwaltung der geometrischen Eigenschaften (raumbezogene Information) mit entsprechenden Vektorkonzepten. Auf Grund der als Input und Output verwendeten Rasterstrukturen von Daten wurden Untersuchungen zur Speicherung und Verwaltung der Geometrie der Objekte in einem Basisvektorkonzept (Freeman-Codes) durchgeführt.

Summary

The representation of information on the real world for processing in computer-aided information systems is mostly realized in nature of objects. These objects have two types of attributes, geometrical and nongeometrical. The geometrical attributes we can handle with known data base solutions, but the geometrical attributes (spatial information) are processed with the help of vector concepts. Because of the fact, that input and output of data are carried out in rasterlike structures, we have implemented investigations for storing and managing of geometry of objects on a basic vector concept (Freeman-codes).

Резюме

Отображение информации о реальном мире для обработки в информационных системах происходит в форме объектов. Эти объекты обладают геометрическими и негеометрическими атрибутами. В то время как негеометрические атрибуты можно обрабатывать, используя известные банки данных, накопление и управление геометрических атрибутов осуществляется с помощью соответствующих векторных концепций. В связи с тем, что как ввод, так и вывод данных применяются в растровых структурах, были выполнены исследования накопления и управления геометрии объектов, основанной на концепции базовых векторов.

Für die Abbildung von Objekten und deren Relationen wird häufig das auf dem Gebiet der Datenbanktheorie entwickelte EERM (Extended Entity Relationship Model) benutzt. Dabei werden elementare Objekte (entities) aus semantischer Sicht als die niedrigste Stufe der zu speichernden Informationseinheiten gebildet. Die elementaren Objekte können miteinander Beziehungen eingehen, indem z.B. komplexe Objekte gebildet werden. Jedes Objekt wird ausgezeichnet durch eine Menge von Attributen (Merkmalen). Die Attribute können grundsätzlich unterteilt werden in geometrische und nichtgeometrische. Bei einer Standardanwendung des EER-Modells spielen geometrische Attribute keine oder nur eine untergeordnete Rolle. Jedoch bei einer Nichtstandardanwendung, wie es bei der Verwaltung raumbezogener Informationen der Fall ist, wird die Manipulation der raumbezogenen Attribute der Objekte dominierend. Während die nichtgeometrischen Attribute (qualitative, quantitative und relationale Eigenschaften) mit den Mitteln herkömmlicher (kommerzieller) Datenbanken behandelt werden können, liegt das eigentliche Problem in der Abbildung und Darstellung der geometrischen Attribute der Objekte. Unter geometrische Eigenschaften sind die Metrik der Objekte in einem bestimmten räumlichen Bezugssystem und die sich daraus ergebenden topologischen Beziehungen zu verstehen.

Ein beliebiges Objekt O_i hat zu einem anderen Objekt O_j ($i < j$) einen bestimmten Typ von Beziehung, z.B.

- Hierarchiebeziehung zwischen 2 Objekten,
- ein Objekt ist Element einer Menge von Objekten,
- ein Objekt ist Element einer geordneten Menge (Folge) von Objekten,
- ein Objekt begrenzt ein anderes Objekt (teilweise oder vollständig), ...

Durch die räumliche Verteilung der Objekte stehen alle Objekte a priori miteinander ohnehin in Beziehung (metrisch, topologisch). Für die Abbildung der Beziehungen zwischen Objekten in einer Datenbank stellt sich bei raumbezogener Speicherung der Informationen immer die Frage, welche Typen von Beziehungen explizit, d.h. mit Zeigern verkettet, gespeichert werden sollen und welche implizit bleiben können. Die Speicherung der Geometrie der

Objekte muß in jedem Falle so erfolgen, daß, verbunden durch das gemeinsame Bezugssystem, bei Bedarf durch Analyse der raumbezogenen Verteilung der Objekte deren Beziehungen zueinander ermittelt werden können.

Sowohl in den heute weit verbreiteten CAD-Systemen als auch in den geographisch orientierten Systemen werden im Kern Metrik und Topologie raumbezogener Objekte abgebildet.

Die überwiegende Mehrzahl der existierenden geographischen (darunter auch topographischen) Systeme werden mit Hilfe von Vektorkonzepten realisiert. Dabei wird die Geometrie der Objekte auf ihre charakteristischen Merkmale reduziert und vektoriell gespeichert.

Die Abbildung der Objekte geschieht dann i.a. so:

- punkthafte Objekte → Koordinatenpaar;
- linienhafte Objekte → Bildung der Mittelachse des linienhaften Objekts, Ermittlung digitaler Strecken, Speicherung der Anfangs- und Endpunkte der digitalen Strecken;
- flächenhafte Objekte → Bildung der Mittelachse der Umrandungsgebiete, Ermittlung und Speicherung der Geometrie der Umrandung wie bei linienhaften Objekten. Die Umrandung ist immer geschlossen (Anfangspunkt=Endpunkt).

Die Geometrie aller Objekte bildet somit eine Menge von Punkten (Punktmenge), deren Teilmengen geordnet oder ungeordnet sind. Zur geometrischen Lokalisierung von Objekten sowie der Ermittlung von impliziten Nachbarschaftsbeziehungen müssen geeignete Suchstrategien entwickelt werden. Für den 2-dimensionalen Fall bietet sich dafür z.B. die Methode der dynamischen Quadtree-Struktur an, wo das abgebildete Gebiet durch eine rekursive dynamische Viertelteilung in handhabbare Teilgebiete zerlegt wird.

Durch die beschriebene stützpunktweise Abspeicherung der Geometrie von Objekten werden auch die über diese Geometrie wirken-

den Algorithmen maßgeblich geprägt.

Aus der Tatsache heraus, daß die Erfassung der Geometrie für geographische Systeme (z.B. aus analogen Karten) über Raster-scanner erfolgt, die Kontrollausdrucke, die Darstellung auf dem Bildschirm bei der interaktiven Kommunikation sowie die Vorbereitung von Druckvorlagen in Rasterformaten realisiert werden, wurden Untersuchungen und Experimente in einem Basisvektorkonzept durchgeführt, das zwischen dem Vektorkonzept und dem Rasterkonzept angesiedelt ist.

Die Speicherung und Bearbeitung der Geometrie der Objekte erfolgten dabei in einem Basisvektorformat. Die Basisvektoren entsprechen den bekannten Freeman-Codes $(0,1,\dots,7)$. Die analoge Vorlage eines vorgegebenen Gebietes wird durch den Vorgang des Kasterns quasi mit einem Netz regelmäßiger quadratischer Maschen überdeckt. Die Größe der gewählten Masche (Pixel) und des damit realisierten Auflösungsgrades sind gerätetechnisch und anwendungsbedingt in gewissem Rahmen wählbar. Von einer Masche ausgehend, gibt es genau 8 Nachbarmaschen, auf die ein Basisvektor verweisen kann. Die Maschen werden durch relative Zeilen- und Spaltennummern identifiziert.

Die Abbildung der Geometrie der Objekte erfolgt analog den oben für das Vektorkonzept dargestellten Prinzipien:

punkthafte Objekt → Zuordnung einer Masche;

linienhaftes Objekt → Bildung der Mittelachse des linienhaften Objekts. Die so entstandene Folge von Maschen wird in beiden Richtungen durch Basisvektoren verkettet.

flächenhaftes Objekt → Bildung der Mittelachse der Umrangungsobjekte, so daß eine geschlossene Umrandung entsteht (der letzte Basisvektor verweist wieder auf die Ausgangsmasche).

Der gravierende Unterschied zwischen Basisvektorkonzept und Vektorkonzept besteht darin, daß die Linien im Basisvektorkonzept nicht "zerreißen" und damit eine rasterartige Speicherung der Geometrie der Objekte ermöglichen, zu deren Auffindung keine gesonderten Suchhilfen erforderlich sind. Die Speicherung und Manipulation der Geometrie im Basisvektorkonzept bedingt vom Vektorkonzept abweichende Algorithmen. Für die Abbildung der Geometrie der Objekte im Basisvektorkonzept wurde folgende Form gewählt:

Ablegen der einzelnen Geometrielemente (signifikante Maschen) zeilenorientiert und innerhalb einer Zeile nach der Spaltennummer geordnet. Verläufe von Linien innerhalb einer Zeile werden auf das Eintrittselement in die Zeile und das Austrittselement aus der Zeile reduziert.

Ein Geometrieelement, das einem Pixel entspricht, hat das Format:

```

-----
I      I      I
I X I SN I    mit
I-----I-----I

```

X - Zwei Basisvektoren zur Kennzeichnung des Verlaufs einer Linie oder Kennzeichnung eines Knotens (Anfangspunkt, Endpunkt, Schnittpunkt) und

SN - relative Spaltennummer des Elements.

Anordnung der Geometrielemente (zeilenweise, 1,2,...,N):

1 X11SN11; X12SN12;...

2 X21SN21; X22SN22;...

...

N XN1SNN1; XN2SNN2;...

Es werden nur signifikante Elemente gespeichert, die Träger einer Knoten- oder Linieninformation sind.

Die Komprimierung innerhalb einer Zeile ist wie folgt definiert: Wenn in einer Zeile K ein Linienverlauf von SN_i nach SN_j oder umgekehrt existiert und es gilt $|SN_i - SN_j| > 1$, dann liegt eine Komprimierung vor.

Der Zugriff zur Geometrie der Objekte ist über 2 Zugänge sinnvoll, einmal über einen definierten Eintrittspunkt bei gezielter objektweiser Vorgehensweise und zum anderen über eine beliebige Zeilen- und Spaltennummer, die zur Lokalisierung einer geometrischen Umgebung benutzt wird. Trifft man bei dieser Umgebungsanalyse auf ein Geometrieelement (i.a. nur Suchen in einer Zeile), dann wird die Linie, zu der das Geometrieelement gehört, in irgendeiner Richtung bis zum nächsten Knoten verfolgt, mit dessen Hilfe dann festgestellt wird, welche semantischen Objekte (Punkt-, Linien- oder Flächenobjekte) mit dieser Linie indizieren.

Die Verwaltung der nichtgeometrischen Attribute der Objekte wurde analog bekannter Datenbanklösungen vorgenommen. Ein Teil der Beziehungen der Objekte untereinander ist explizit vereinbart. In Abb. 1 wird das logische Schema der Abbildung eines Dateigebietes (Datenbasis) dargestellt.

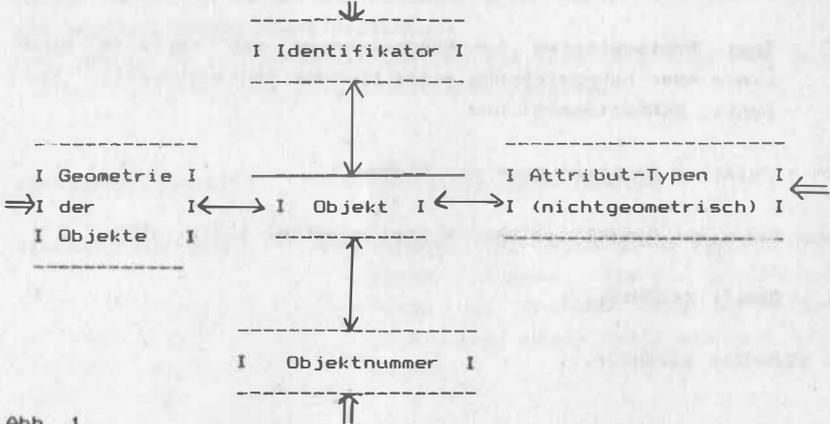


Abb. 1

Die Menge der Identifikatoren dient zur semantischen Identifizierung von Klassen von Objekten. Durch Bildung von Untermengen aus der Menge der Identifikatoren nach semantischen Aspekten,

kann eine beliebige logische Schichtung der Objekte vorgenommen werden. Die Identifikatoren identifizieren elementare (einfache, primitive) Objekte und aus diesen zusammengesetzte (komplexe) Objekte, die rekursiv wiederum zu komplexeren Objekten zusammengefaßt werden können.

Die nichtgeometrischen Attribute werden nach Typen klassifiziert, so daß gezielt zur Menge aller Objekte, die einen bestimmten Typ der Attribute besitzen, zugegriffen werden kann. Jedes Objekt erhält bei seiner Erzeugung einen eindeutigen Namen (Objektnummer), der das Objekt während seines Lebenszyklus begleitet.

Damit der Nutzer nicht elementar mit einer speziellen physischen Abbildung des logischen Konzepts arbeiten muß, wurde eine logische Schnittstelle (Nutzerschnittstelle) auf Objektniveau definiert. Diese Schnittstelle umfaßt als eine erste Menge die folgenden Basisfunktionen:

- Definition der Struktur der Files,
- spezielle Open- und Close-Funktionen,
- Put-Funktionen zur Übergabe eines Objekts an die Datenbasis sowie Einrichten expliziter Relationen,
- Get-Funktionen zur Übergabe von Objekten an den Nutzer und
- Delete-Funktionen zum Löschen ein oder mehrerer Objekte in der Datenbasis.

Die physische Abbildung der Basisfunktionen und der damit verbundenen Datenbasis wurde auf einem traditionellen 16-Bit-Mikrorechner realisiert. Damit traten naturgemäß die mit diesen Rechnertypen verbundenen Probleme auf.

Abschließend wird verbal eine Bewertung des Basisvektorkonzepts im Vergleich zum Vektorkonzept vorgenommen.

Archivierung	- erhöhter Platzbedarf,
Bearbeitungszeiten	- insgesamt etwa gleichwertig,

- | | |
|-------------------------------|---|
| raumbezogener Zugriff | - schneller, da gezielte Lokalisierung möglich ist, |
| explizite Topologieabbildung | - lokal realisiert, |
| implizite Topologie | - relativ einfach zu ermitteln, |
| Datenmodell | - einfach, aber Redundanz bei Schnittpunktbildung, |
| Datentransfer | - größere Datenmengen, |
| Speicherbedarf | - höher, |
| Algorithmen | - relativ einfach, |
| Konvertierung in Rasterformat | - einfach, da rasternahe Datenstruktur vorliegt, |
| Applikationsmöglichkeiten | - Als Datenformat im Rahmen von Vektorkonzepten für spezielle lokale raumbezogene Analysen sinnvoll einsetzbar. |

Literatur

- /1/ Furtado, A.L.; Neuhold, E.J.: Formal Techniques for Data Base Design.
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 1986.
- /2/ Gerstbach, G.; Geowissenschaftliche/Geotechnische Daten in Landinformationssystemen.
Beiträge zur GeoLIS-Tagung,
TU Wien, 1986,
Geowiss. Mitt. 27, 1986.
- /3/ Kainz, W.; A Classification of Digital Map Data Models.
EURO-CARTO VI, Proceedings, Brno 1987, S. 105-113.
- /4/ Moravec, D.; Modelling Automated Creation of Topographic Maps.
Studia Geographica 90,
Brno, 1986, S. 64-88.
- /5/ Schlageter, G.; Stucky, W.: Datenbanksysteme: Konzepte und Modelle.
B.G. Teubner Stuttgart, 1983.

Grundfunktionen für die Analyse und Recherche von Daten in einem
Geoinformationssystem

G. Harnisch

Akademie der Wissenschaften der DDR
Zentralinstitut für Physik der Erde, Potsdam

Bei der Nutzung von Informationssystemen in den Geowissenschaften kommt neben der Lösung von Rechercheaufgaben vor allem der Analyse der gespeicherten Daten eine besondere Bedeutung zu. Während fachspezifische Auswerteverfahren nur von dem daran interessierten Anwender beigetragen werden können, müssen im Rahmen von zentralen Entwicklungsarbeiten die dazu erforderlichen Schnittstellen geschaffen und allgemein gültige und häufig gebrauchte Grundfunktionen bereitgestellt werden. Solche Grundfunktionen können sein: Recherche anhand von Geometrie- oder Merkmalsinformationen oder eine Kombination von beiden; Zusammenstellung von Karten oder Kartenskizzen aus Einzeldaten; Analyse und Vergleich flächenhaft verteilter Daten (Maskierung anderer Daten, Korrelations-, Regressions-, Varianzanalysen); Richtungsstatistik; Rayonierung.

Felderbezogene Datenverarbeitung im Rahmen eines
Geographischen Informationssystems

Otti M A R G R A F

Akademie der Wissenschaften der DDR
Institut für Geographie und Geoökologie
FG Mathematische Methoden

Zusammenfassung

Neben den administrativen Einheiten ist die felderbezogene Datenverarbeitung ein Grundkonzept für das Geographische Informationssystem am IGG. Felder und Koordinaten sind über das Gauß-Krüger-Netz der Topographischen Karte 1:25000 (AV) definiert. Programme zur Felderverarbeitung mittels Dateien, fachspezifischer Datenanalyse und kartographischer Darstellung werden angeführt. Unterschiedliche Institutionen nutzen bereits dieses Felderkonzept, dessen Netz inzwischen in den topographischen Karten egedruckt wird. Der Artikel möchte dieses Felderkonzept als eine Möglichkeit zur Bereitstellung von Fernerkundungsdaten und Ergebnissen der Bildverarbeitung anbieten.

Summary

Besides the use of administrative units grid-based data processing is one of the basic principles of the Geographical Information System of the IGG. Meshes and coordinates are defined by the Gauss Krueger grid of the Topographic Map 1:25000 (AV). Programs available to handle the meshes by files, problem-oriented data processing and cartographic representation are mentioned. Several institutions are already using this grid which is now printed onto topographic maps. The paper intends to recommend this mesh-concept as a possibility to provide information obtained by remote sensing and image processing.

Резюме

Кроме использования административных единиц обработка данных в рамках Географической Информационной Системы Института географии и геоэкологии базируется на регулярной сети ячеек. Ячейки и координаты определены сетью Гаусса-Крюгера топографической карты 1:25000. Объясняется программы для обработки данных посредством файлов, специальными анализами данных и картографического представления. Разные учреждения уже используют этот принцип ячеек; и сеть ячеек печатается теперь на топографические карты. Автор предлагает использовать этот принцип ячеек при представлении данных дистанционного зондирования и обработки изображений.

Es ist schon ein interessantes und zu beachtendes methodisches Phänomen, daß bei einer doch ähnlichen methodischen Herangehensweise zur Erfassung georäumlicher Informationen mit Hilfe des Pixelkonzepts in der Fernerkundung oder des Felderkonzepts (Gitternetzmaschen oder -zellen, Rasterfelder) in der Geographie bzw. Kartographie, die von spezifischen inhaltlichen Gesichtspunkten geprägten rechentechnischen Umsetzungen im Rahmen der Bildverarbeitung (Geofernerkundung) bzw. im Rahmen Geographischer Informationssysteme soweit voneinander abweichen (vgl. Tab.1), daß die Vergleichbarkeit der erfaßten Informationen für ein und dasselbe Territorium nicht mehr ohne weiteres gegeben ist.

Nach wie vor bilden räumliche Bezugssysteme mit in sich als homogen angesehenen regulär geometrischen und flächendeckenden Basiseinheiten wie Pixel oder Felder, neben den punktorientierten Koordinaten orthogonaler Koordinatensysteme eine wesentliche Grundlage für die Erfassung, Adressierung, Speicherung und den Aufruf georäumlicher Datenbasen. Die dabei z.T. auf Felderbasis sehr mühselig erfassten bzw. auf Pixelbasis sehr umfangreichen Datenbasen sollten deshalb möglichst vielseitig einsetzbar sein und

- eine gegenseitige Überführbarkeit zwischen den Bildverarbeitungssystemen und Geographischen Informationssystemen,
- eine gemeinsame Verarbeitbarkeit über das kleinste gemeinschaftliche Vielfache der Pixel- und Feldergröße, sowie
- eine territoriale Vergleichbarkeit über standardisierte Koordinatensystemen und räumlichen Bezugssystemen gestatten.

Daraus ergeben sich folgende zwei Grundforderungen:

Zu *einen* sollten die auf Felderbasis erstellten Informationsbasen (Datenbank) rechentechnisch so aufbereitet sein, daß sie mit Hilfe von Bildverarbeitungssystemen und der dort vorhandenen umfangreichen Methodensoftware (Methoden- und Modellbank) verarbeitet werden können (vgl. Beitrag GARELIK, ZVETKOV und MARGRAF).

Zu anderen sollten inhaltlich aggregierte Bildinformationen durch die Wahl einer sinnvoll aggregierbaren Pixelgröße und des notwendigen Koordinatensystems als georäumliches Bezugssystem standardisierten Felderkonzepten angepasst werden. Gewissermaßen als Entscheidungshilfe für die Geofernerkundung sollen im folgenden die Möglichkeiten des am Institut für Geographie und Geoökologie der AdW der DDR realisierten Felderkonzepts als ein räumliches Bezugssystem zur Bereitstellung inhaltlich aufbereiteter Bildinformationen durch die Geofernerkundung vorgestellt werden.

Tabelle 1

Unterschiede bei der inhaltlichen und rechentechnischen Umsetzung des Pixel- und Felderkonzepts

I Erfassung	I Geofernerkundung	I Geographie
I raumbezogener Informationen	I	I
I Räumliche Basiseinheiten:	I Pixel	I Felder
I Größenbestimmung:	I Auflösungsvermögen I Scanner-Raten	I Erfassungs- und I Darstellungs- I -maßstäbe
I Widerspiegelung der Erde	I Bild: - Photo I - image	I Karte
I Raumbezug (Koordinatensystem)	I Koordinatensystem I muß in das Bild I hineinprojiziert I werden	I Koordinatensystem I dient zur I Definition der I Felder
I Orthogonalität	I Orthophoto muß I erstellt werden	I orthogonales I spärliches KS
I Informationen (Merkmale)	I Strahlung I -Spektralbereiche	I beliebige I Merkmale
I Quantifizierung	I binär (8 Bit)	I reell (Gleitkomma)
I Skalierung	I ordinal I (Grauwertstufen I von Weiß nach I Schwarz)	I nominal oder I ordinal oder I metrisch

1. Das realisierte Geographische Informationssystem am IGG

Zur Positionsbestimmung sei eingangs betont, daß unter einem Informationssystem die rechentechnische Realisierung einer einheitlichen und aufeinander abgestimmten Organisation von Datenbeständen (Datenbank) und deren Verarbeitung (Modell- und Methodenbank) verstanden wird. Der durch das Attribut "geographisch" ausgedrückte inhaltliche Bezug des Informationssystems bestimmt dann anhand des ausgewählten geographischen Datenmodells, der zu integrierenden fachspezifischen, z.T. problembezogenen Methodik und der Abfrage- bzw. Ergebnisdarstellung, wie diese aufeinander abgestimmte einheitliche Organisation im Detail umgesetzt wird.

Hervorgehoben werden muß, daß speziell in Geographischen Informationssystemen neben der Datenbasis sowie den Methoden und Modellen, die Graphik zur kartographischen Darstellung georäumlicher Informationen und Analyseergebnisse einen ähnlich hohen Stellenwert besitzt und somit in dem am IGG realisierten System als gleichberechtigter Grundbestandteil neben der Daten- und Methodenbank betrachtet werden kann.

Anhand der Übersicht (vgl. Abb.1) über die erarbeiteten Nutzerdokumentationen /1,2,3,4/ sind die wesentlichen Bestandteile des Systems in Form von Dateien und Programmen zu bestimmten inhaltlichen und methodischen Aufgabenklassen der Datenverarbeitung erkennbar und sollen deshalb nur kurz erläutert werden.

1.1 Datenbasis:

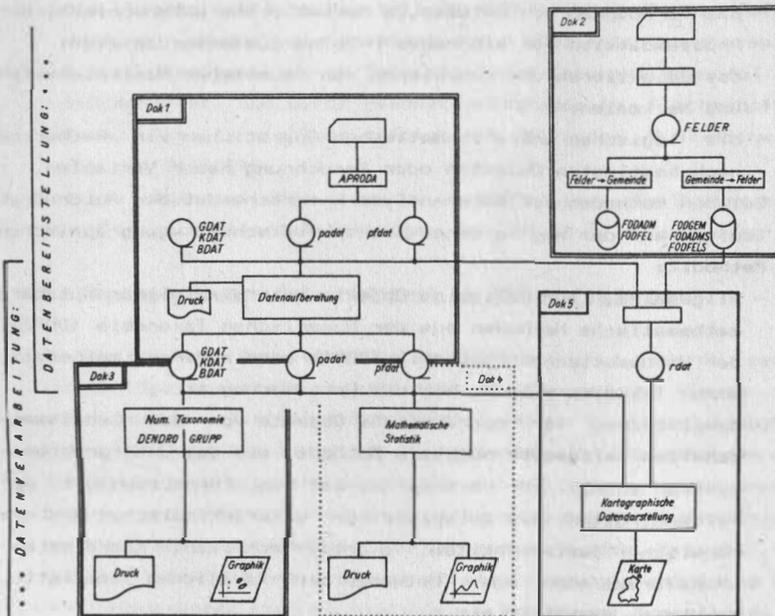
Vom Nutzer (Geographen) erstellte problemorientierte Dateien:
 - Der Nutzer kann einerseits Dateien auf administrativer Grundlage mit den Bezirken, Kreisen, Gemeinden, Ortsteilen und/oder Stadtbezirken als hierarchisch aufgebautes System räumlicher Basiseinheiten erstellen. Der 'Territoriale Grundschlüssel' (TGS) dient dabei als Schlüsselssystematik zur Adressierung und damit Speicherung sowie zum Aufruf von Informationen. Der räumliche Bezug zur Erdoberfläche wird über die Gauß-Krüger-Koordinaten der Topographischen Karte 1:25000 (AV) für den Bebauungs- und Flächenschwerpunkt der Gemeinden hergestellt. Die administrativen Problemdateien (padat) wer-

den mittels der Merkmalsvektoren als Datensätze für die einzelnen administrativen Einheiten aufgebaut.

- Der Nutzer kann andererseits Dateien auf Felderbasis mit den Gitternetzmaschen des Gauß-Krüger-Netzes der Topographischen Karte 1:25000 (AV) als System räumlicher Basiseinheiten erstellen. Die Hoch- und Rechtswerte dienen dabei einerseits zur Adressierung der einzelnen Felder und andererseits als Koordinaten der linken unteren Ecke des Feldes für den räumlichen Bezug zur Erdoberfläche. Die feldorientierten Dateien können analog zu den administrativen Dateien über Merkmalsvektoren (pfdat) oder aber auf der Grundlage des Rasterkonzeptes (rdat) als multifeile analog zum Bildverarbeitungssystem im ZDF-Format (Zeile-Spalte-Kanal/Merkmal) aufgebaut sein.

Abbildung 1

übersicht über die dokumentierten Dateien und Programme des am IGG im Aufbau befindlichen GIS



Für die Organisation des Systems erstellte und allgemein zugängliche Dateien:

- Zum einen die sogenannten **Stammdateien** (GDAT, KDAT, BDAT) für die Gemeinden, Kreise oder Bezirke der DDR insgesamt. Sie enthalten die Bezüge innerhalb des hierarchisch aufgebauten TGS, zur Erdoberfläche (Gauß-Krüger-Koordinaten des Bebauungs- und Flächenschwerpunktes) sowie zum Feldernetz und werden durch einen für alle Nutzer zugänglichen Standarddatensatz von 32 Merkmalen ergänzt.
- Zum anderen die **Feldorientierungsdateien** (FOD....) für die DDR insgesamt oder für rechteckige Gebietsausschnitte im Sinne eines Fensters. Sie realisieren aufgrund ihrer spezifischen Speicherstruktur einen schnelleren Zugriff um die Bezüge zwischen den Gemeinden und Feldern herzustellen.

1.2 Methoden:

Die Methoden zur Datenaufbereitung (DOK1) dienen einer problemgerechten Aufbereitung allgemeiner Datenbasen, wie

- das Verknüpfen von Dateien, um Merkmale aus unterschiedlichen Problemdateien für ein neues Problem zusammenspielen;
- das Selektieren und Kumulieren von räumlichen Basiseinheiten und Merkmalen;
- die logischen und arithmetischen Operationen zur Recherche nach bestimmten Objekten oder Berechnung neuer Variablen.

Bei den Methoden zur Datenanalyse unterscheidet der Autor drei Stufen auf dem Weg zu einer fachspezifischen, geographischen Methodik:

- **allgemeine**, für beliebige Objekte interdisziplinär nutzbare **mathematische Methoden** aus der Numerischen Taxonomie (DOK3), der Mathematischen Statistik (DOK4) oder anderer mathematischer Teildisziplinen, wie die Optimierung etc.;
- **spezifische**, für georäumliche Objekte von den **Bedwissenschaften** allgemein nutzbare Methoden wie das Unterprogrammsystem (DOK2) zur Verknüpfung der administrativen mit der Felderstruktur als Beispiele für unterschiedliche Systeme räumlicher Basiseinheiten, overlay-Techniken, Koordinatentransformationen oder Methoden der räumlichen Statistik, Topologie, Geometrie etc.;

- spezifische, von den Geographen entwickelte und in der gesellschaftlichen Praxis nutzbare Methoden, wie die vom IIASA-Institut in Laxenburg übernommene multiregionale Bevölkerungsprognose /9/ oder Bewertungsverfahren von Landschaften, an denen zur Zeit gearbeitet wird.

1.3 Ergebnisdarstellung:

Auch hier unterscheidet der Autor drei Stufen auf dem Weg zu einer fachspezifisch geographischen Informations- und Ergebnisdarstellung:

- die fachgerechte gut lesbare Aufbereitung (DOK1) der Listen (Tabellen), die mit Hilfe des von der Karl-Marx-Universität in Leipzig für ESER-Rechner erstellten Programms RESEDA realisiert wird;
- die graphische Aufbereitung der Ergebnisse in Form von Dendrogrammen, Gruppenprofile, Ellipsendarstellung der Cluster, Punktwolken und Regressionsgeraden u.a. mit Hilfe eines DIN A3 plotters bzw. des DIGIGRAFS;
- die kartographische Darstellung (DOK4) georäumlicher Informationen und Analyseergebnisse durch plazierte Signaturen in punkthafter sowie durch Isolinien oder Interaktionen /6/ in linienhafter und durch Flächenkartogramme in flächenhafter Form. Die Darstellung erfolgt mit Hilfe der PLOT-Software für den DIGIGRAF.

Weitere Informationen über das am IGG realisierte System sind den Wissenschaftlichen Beiträgen des IGG /5,6/ zu entnehmen.

2. Das realisierte Felderkonzept im GIS des IGG

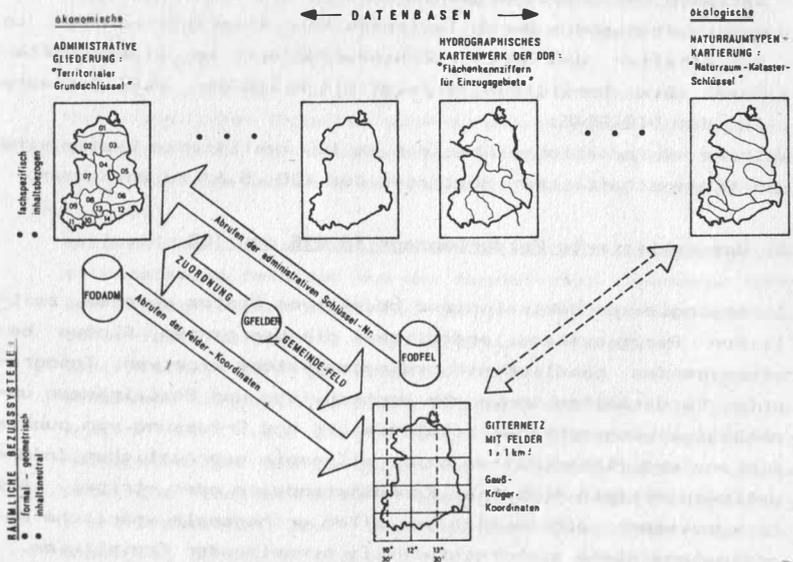
In Analogie zum neutralen und objektiven Status unseres zeitlichen Bezugssystems ermöglichen die den ganzen Globus beschreibenden räumlichen Koordinatensysteme eine von Topographie, Landschaften sowie von Wirtschafts- und Sozialräumen unabhängige geographische Lokalisierung und Erfassung von punkt-, linien- und flächenhaften bzw. allgemein georäumlichen Informationen mittels einzelner Koordinatenpaare oder -tripel. Als Bezugssysteme eignen sich vor allem orthogonale spärliche Koordinatensysteme sich rechtwinklig schneidender Kreislinien.

Da man bei den vielen geowissenschaftlichen Problemstellungen auf inhaltlich bestimmte oder abgeleitete in sich als homogen betrachtbare räumliche Basiseinheiten (Untersuchungsobjekte) zurückgreifen kann, ist eine punktbezogene Lokalisierung und Erfassung der Informationen nicht zwingend notwendig. Die Daten müssen also nicht unbedingt koordinatenmäßig bereitgestellt werden, sondern können sich auf eine Schlüssel-systematik beziehen, die das System der räumlichen Einheiten charakterisiert. Aufgrund ihrer inhaltlichen Determiniertheit existiert eine Vielfalt derartiger Systeme (vgl. Abb.2), wie

- der gesetzlich fixierte Territoriale Grundschlüssel (TGS) zur Beschreibung der administrativen Gliederung,
- die verbindlichen Flächenkennziffern für Flusseinzugsgebiete im Rahmen des Hydrographischen Kartenwerkes der DDR oder
- der erarbeitete Naturraum-Kataster-Schlüssel für die Naturraumkartierung.

Abbildung 2

Konzept und Realisierungsstand für die Verknüpfung unterschiedlicher Systeme räumlicher Basiseinheiten



Ein wesentlicher Nachteil dieser inhaltlich bestimmten Systeme räumlicher Basiseinheiten besteht für die komplexe Betrachtungsweise von Geographie, Umweltschutz, Territorialplanung oder Landschaftsgestaltung darin, daß die ökologischen, wie sozialen und ökonomischen oder andere Daten territorial nicht mehr vergleichbar sind. Um den speicherplatzsparenden Effekt von flächenhaften, räumlich-homogenen Basiseinheiten zu bewahren, bieten sich inhaltsneutrale, geometrisch bestimmte Systeme räumlicher Basiseinheiten mit gleichgroßen und gleichförmigen Bezugsflächen an.

Im Rahmen des Aufbaus eines Geographischen Informationssystems am IGG wurde das bereits unter 1.1 genannte Felderkonzept inhaltsneutraler quadratischer Flächeneinheiten wie folgt realisiert.

2.1 F e l d e r a l s r ä u m l i c h e B a s e i n e i t e n

Entsprechend einer KdT-Empfehlung /7/ wurde das Felderkonzept über die Gitternetzmaschen des Gauß-Krüger-Netzes der Topographischen Karte 1:25000 (AV) als System räumlicher Basiseinheiten definiert. Um einerseits die Sprungstellen zwischen den einzelnen Mittelmeridianstreifen zu umgehen und andererseits DDR-weit Flächendeckung zu erzielen, wurde das Netz des 12° Meridians auf die benachbarten Meridianstreifen von 9° bzw 15° östl. Länge übertragen. Das System der Hoch- und Rechtswerte dient einerseits zur Adressierung der einzelnen Felder und stellt andererseits als Koordinatenpaar für die linke untere Ecke des Feldes den räumlichen Bezug zur Erdoberfläche her.

Als Vergleichs- und Verknüpfungsgrundlage für die unterschiedlichsten inhaltlich definierten Systeme räumlicher Einheiten wurde DDR-weit das 1x1 km Netz als Standardraster festgelegt. Ist für ein beliebiges System räumlicher Einheiten die Zuordnung der Felder (Feldorientierung) zu den einzelnen Einheiten durch eine Schlüsselbrücke gegeben, so können alle in diesem System gespeicherten Informationen über die Erfassung einer einzigen Schlüsselbrücke zu diesem Standardraster mit den Informationen anderer, bereits an dieses Standardraster gebundener Systeme verknüpft und verglichen werden.

Als Erfassungsgrundlage von Informationen kann dieses Standardraster je nach Bedarf zu größeren Einheiten zusammengefaßt bzw. in kleinere Einheiten unterteilt werden. Einzige Bedingung an Aggregation und Unterteilung ist die Paßfähigkeit zu dem 1x1 km Standardraster

2.2 Felder - Dateien

Wie bereits unter 1.1 angeführt, können feldorientierte Dateien analog zu den administrativen Dateien über Merkmalsvektoren (pfdat) oder aber auf der Grundlage des Rasterkonzeptes (rdat) als multifile analog zum Bildverarbeitungssystem im ZDF-Format (Zeile-Spalte-Kanal/Merkmal) aufgebaut sein. Als Beispiele aus dem Institut seien genannt.

Problemorientierte Felderdateien (pfdat):

- Flächennutzung Leipzig-Südost
incl. Höhenlage, Reliefenergie, Hangneigung, Exposition, Längen linienhafter Elemente (Gewässer, Straßen, Schienen, Leitungen), Niederschläge usw.
Feldergröße: 500 x 500 m
- GEOEX'86 Leipzig (Gegenerkundung zu den Thermalbildern)
incl. Charakterisierung der Meßrouten und -punkte, gemessene Temperaturen, Nutzungsarten der Umgebung, Entfernung zu den Gebäuden und ihre Geschossigkeit, Relief, Exposition, Strahlung, Windgeschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit, etc.
Feldergröße: 20 x 20 m

Rasterdateien (rdat):

- Flächennutzung Stadtregion Leipzig
6 Kanäle: 4 Zeitschnitte, Veränderungen, Schutzstatus
Feldergröße: 250 x 250 m
- Flächennutzung Blatt Leipzig-Nord:
3 Kanäle: 3 Zeitschnitte
Feldergröße: 100 x 100 m
- Bevölkerungspotentiale Bezirk Leipzig:
3 Kanäle: 3 unterschiedliche Distanzexponenten für 1981
Feldergröße: 1 x 1 km

Feldorientierungsdateien (FOD...):

- GFELDER: Schlüsselbrücke Feld - Gemeinde
Hochwert, Rechtswert, TGS
- FODADM: Felderzuordnung zur Gemeinde (pdat)
- FODFEL: Gemeindezuordnung zum Feld (rdat)

2.3. Felder - Verarbeitung

Bezugnehmend auf die unter 1.2 aufgeführte Methoden sollen nun aus der Sicht feldorientierter Dateien einige Programme und spezifische Anwendungen hervorgehoben werden.

Speziell die Programme zur Verknüpfung, zum Selektieren und Kumulieren im Rahmen der Datenaufbereitung (DOK1) sind an die Merkmalsvektorstruktur problemorientierter Felderdateien (pdat) gebunden und ermöglichen die Bearbeitung einer Menge auch von einander isolierter Felder. Im Gegensatz dazu repräsentieren die Rasterdateien (rdat) immer ein geschlossenes Gebiet. Unter den Anpassungsprogrammen im Rahmen der Datenaufbereitung sei besonders die Übertragung vom Datentyp FLOAT in BINFIX für die Rasterdateien hervorgehoben, da es eine Verarbeitung der aus kartographischen Vorlagen bzw. durch Geländemessungen erstellten Rasterdateien des Geographischen Informationssystems im Bildverarbeitungssystem ermöglicht.

Die fachspezifischen Analysen lassen sich aus methodischer Sicht neben der bereits angeführten Analyse problemorientierter Felderdateien (pdat) wie folgt unterscheiden.

- Die Analyse der Rasterdateien (rdat),
wie z.B. die Analyse der Flächennutzung und Flächennutzungsveränderungen durch ihre Bilanzierung oder einer Charakterisierung der spezifischen Veränderungen mit Hilfe des Unterprogrammsystems (DOK2) zur Felderverarbeitung.
- Die inhaltliche Überführung von punkthaften Informationen aus problemorientierten Dateien in flächenhafte Informationen auf Rasterbasis (pdat ==> rdat),
wie z.B. die Berechnung von Bevölkerungs-, Beschäftigten- oder anderer Potentiale aus punkthaft gemessenen oder erhobenen Daten.

- Die Verknüpfung von Informationen aus unterschiedlichen Systemen räumlicher Basiseinheiten (padat \leftrightarrow rdat), wie z.B. Untersuchungen zur Veränderung der Bevölkerungskonzentration im Landkreis Leipzig /8/. Bei dieser Untersuchung wurden die für administrative Gemeinden erfaßten und gespeicherten (padat) Einwohnerzahlen mit der im Rahmen von Flächennutzungserhebungen auf Felderbasis erfaßten und gespeicherten (rdat) wohnbebauten Fläche in ihren Veränderungen verglichen. Daraus ergab sich u.a., ob sich die reale Bevölkerungszunahme in einer höheren Bevölkerungskonzentration oder einer extensiven Erweiterung der wohnbebauten Fläche widerspiegelt.

Hinsichtlich der kartographischen Ausgabe der Informationen und Analyseergebnisse kommen neben der Darstellung platzierter Signaturen (DKSIGN) für einzelne Felder im Rahmen problemorientierter Felderdateien (pfdat), vor allem die Isolinien-darstellung und das Flächenkartogramm auf Rasterbasis (rdat) zum Tragen.

- Das auf regelmäßige Gitternetze zurückgreifende Programm (ISOZEI) zur Isoliniendarstellung arbeitet dabei ohne Schwierigkeiten mit dem Gauß-Krüger-Netz der Topographischen Karte 1:25000 (AV).
- Das Programm (FLKART) für Flächenkartogramme greift auf das Programm zur Darstellung platzierter Signaturen zurück und belegt alle Felder einer als homogen charakterisierten Fläche mit der gleichen Signatur. Dieses Programm ist damit sehr zeichenintensiv und müsste durch ein Schraffurprogramm ersetzt werden. Die Darstellung von Flächenkartogrammen auf administrativer Grundlage basiert wiederum auf der in Abb.2 dargestellten Verknüpfung der administrativen mit der Felderstruktur.

3. Zusammenfassung und Schlußfolgerung

Im Rahmen des Aufbaus eines Geographischen Informationssystems am IGG wurde entsprechend den KdT-Empfehlungen /7/, ein auf den Gauß-Krüger-Koordinaten der Topographischen Karte 1:25000 (AV) basierendes Felderkonzept einbezogen, daß als inhalts-

neutrales Standardraster die Vergleichsgrundlage für Informationen unterschiedlicher Systeme räumlicher Basiseinheiten liefert. Die datenmäßig erfaßte und mit Hilfe eines Unterprogrammsystems handhabbare Kopplung mit dem Territorialen Grundschlüssel der administrativen Gliederung wurde bereits an mehrere Institutionen als Schreibwerk-Karte oder Feldorientierungsdatei übergeben, z.B. an

- das Zentrum für Umweltgestaltung und Wasserwirtschaft, Cottbus;
 - das Büro für Sozialhygiene beim Rat des Bezirkes Suhl;
 - den Wissenschaftsbereich Staatsveterinärmedizin der Humboldt Universität zu Berlin;
 - den VEB Kartographischen Dienst Potsdam;
 - das Institut für Landschaftsforschung und Naturschutz der AdL in Halle, Abteilung Dölzig;
 - die Sektion Geodäsie und Kartographie der TU Dresden.
- Da in der neuen Auflage der Topographischen Karte 1:25000 (AV) das Feldernetz des 12^o Meridianstreifens bereits auch in den Karten der benachbarten Meridianstreifen eingezeichnet sein wird, besitzt das hier dargelegte Felderkonzept neben der praktischen Handhabung durch unterschiedlichste Institutionen auch eine gewisse Verbindlichkeit.

Eine sich damit anbietende Anpassung von Fernerkundungsdaten an das oben erläuterte Standardraster auf der Grundlage des Gauß-Krüger-Netzes der Topographischen Karte 1:25000 (AV) sollte somit bei entsprechenden Entscheidungen berücksichtigt werden. Dabei geht es nicht allein um die formale Abbildung (Einpassung) der orthogonalisierten Luftbilder, sondern um die allgemeine Bereitstellung von inhaltlich aufbereiteten und aggregierten Informationen aus aerokosmischen Aufnahmen.

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s s

- /1/ REGBER, R. und I.BEER: Dokumentation der Programme zur Arbeit mit bezirks-, kreis- und gemeindebezogenen Dateien des geographischen Datenspeichers am IGG (DIGG). IGG d.AdW d.DDR, Leipzig 1984
- /2/ GARTNER,W.; GROSSER,K.; JESCHE,I.; MARGRAF,O.und R.REGBER: Beschreibung einer rechentechnischen Lösung zur Verknüpfung der Felder des Gauß-Krüger-Netzes mit den administrativen Gemeinden des geographischen Datenspeichers am IGG (DIGG). IGG d.AdW d.DDR, Leipzig 1985
- /3/ BACINSKI,E. und R.REGBER: Dokumentation der Programme zur Gruppierung von Individuen aus feld- oder administrativ-orientierten Dateien des geographischen Datenspeichers am IGG (DIGG). IGG d.AdW d.DDR, Leipzig 1986
- /4/ GROSSER,K.; JESCHE,I. und U.SCHUMACHER: Dokumentation der Programme zur kartographischen Darstellung von Merkmalen aus Rasterdateien und feld- oder administrativorientierten Dateien des geographischen Datenspeichers am IGG (DIGG). IGG d.AdW d.DDR, Leipzig 1987
- /5/ Räumliche Informationssysteme für die geographische Forschung. Wiss.Mitt.d.IGG d.AdW,d.DDR, 15(1985), 120 S.
- /6/ GRUNDMANN,L.; HENGELHAUPT,U. und I.JESCHE: Rechnergestützte Darstellung räumlicher Interaktionen und inhaltliche Interpretation der Beispielskarte "Arbeitspendelwanderung in der DDR" 1:500000. Wiss.Mitt.d.IGG d.AdW d.DDR,16(1985), 92 S.
- /7/ MERKEL,J.: Zur Bereitstellung digitaler topographischer Informationen in der DDR. Vermessungstechnik, 31(1983)12, S.397-399.
- /8/ USBECK,H.: Analyse von Urbanisierungsprozessen unter Nutzung eines geographischen Informationssystems (GIS). Wiss. Mitt.des Inst.f.Geogr.u.Geoökol.AdW d.DDR, 22(1987), S.207-218.
- /9/ WILLEKENS, F.und A.ROGERS: Spatial Population Analysis: Methods and Computer Programs. Int.Inst.for Applied Systems Analysis, Research Report, RR-78-18, 302 S., Laxenburg, 1978

Parallele Realisierungen von Bildverarbeitungsaufgaben

W. WILHELMI; J. SAEDLER

Akademie der Wissenschaften der DDR

Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse

Die Verarbeitung von Bildern hat seit jeher extreme Anforderungen an die Verarbeitungsleistung gestellt. Eine vernünftige Lösung der durch die Analyse von Bildern bestimmten Probleme ist deshalb ohne Mittel der Parallelverarbeitung nicht möglich. Das Ziel des vorgelegten Beitrages ist es zu zeigen, daß die zu lösenden Aufgaben einerseits gute Möglichkeiten zur Parallelisierung geben, andererseits ein Umdenken bei der Algorithmenentwicklung und der Wahl der Modelle stattfinden muß. An den drei Beispielen

- stochastische Relaxation zur Bildrestauration
- geometrische Entzerrung von Bildern
- Bewertung von digitalen Kurven

wird gezeigt, daß eine massive Parallelverarbeitung unter zentraler Ablaufsteuerung gute Resultate zeitigt, wenn es gelingt

- komplexe Zusammenhänge lokal zu modellieren
- unregelmäßig angeordnete Daten effektiv zu routen
- geeignete Datenstrukturen zu entwickeln.

Eine Vielzahl von Verfahren zur Bildentzerrung, Bildrestauration und Bildanalyse kann durch lokale Operatoren beschrieben werden. Durch diese Eigenschaft ist ein direkter Ansatz zur Parallelisierung gegeben. Als besonders einfache Realisierungen paralleler Verarbeitungseinheiten erweisen sich Prozessorarrays mit SIMD-Arbeitsweise. Es werden die Grundformeln, die Algorithmen sowie die Schemata für die Implementierung von Repräsentanten der o. g. Aufgaben angegeben und gezeigt, daß prinzipiell ein lineares Speedup erreicht werden kann.

Herstellung von Orthophotos durch
digitale Bildverarbeitung

T. HEUCHEL

Technische Universität Dresden
Sektion Geodäsie und Kartographie

Zusammenfassung

Die Herstellung von Orthophotos erfolgt durch Beseitigung der durch den zentralperspektiven Aufnahmevorgang und die Geländehöhen verursachten Verzerrungen im Luftbild. Diese Umbildung erfolgt in der DDR meist in Differentialentzerrungsgeräten, die an ein Stereokartiegerät gekoppelt sind. Die digitale Bildverarbeitung ermöglicht es, diesen Verarbeitungsprozeß zu automatisieren. Auf der Basis des Bildverarbeitungssystems BVS A6472 vom Kombinat VEB Robotron und dem Film- Ein/Ausgabe-Gerät FEAG 200 vom Kombinat VEB Carl Zeiss JENA wurde das Programmsystem OPHO zur digitalen Orthophotoherstellung aus Luftbildern erarbeitet. Die Entzerrung erfolgt nach der indirekten Entzerrungsmethode über ein Ankerpunktverfahren mit Grauwertzuweisungen durch nächste Nachbarschaft. Es werden das mathematische Modell, die rechen-technische Umsetzung und die Orthophototransformation eines 4096 x 4096 großen Fragmentes beschrieben.

Summary

In the GDR the transformation process of air photographs to orthophotos is most realized by orthophotosystem ORTHOPHOT connected with the stereoplotter TOPOCART from Kombinat VEB Carl Zeiss JENA. Digital image processing gives the possibility to make process more effectively. Using the Image Processing System BVS A6472 from Kombinat VEB Robotron and the Film Read- and Write System FEAG 200 from Kombinat VEB Carl Zeiss JENA the program OPHO for digital Orthophototransformation from air photographs has been created. The rectification utilizes an indirect method based on anchor point technique and pixel resampling by nearest neighbourhood procedure. It will be shown the mathematical model, computer realization and a transformation of an picture fragment of 4096 x 4096 pixels.

Резюме

Ортофотографии находят широкое применение в народном хозяйстве ГДР. Материалы аэрофотосъемок представлены на них с геометрическими свойствами карт. Устранение искажений происходит с помощью дифференциального трансформатора, связанного с прибором для стереокартирования. Цифровая обработка снимков позволяет автоматизировать этот процесс. На основе системы приборов для обработки снимков БВС А6472 комбината Роботрон и прибора для ввода и вывода пленки FEAG 200 фирмы Карл Цейсс Йена была разработана система программ ОPHO для цифрового производства ортофотографий из аэроснимков. Трансформация производится опосредствованно методом якорной точки с подачей серой информации из ближайшего окружения. Описывается математическая модель, её реализация на вычислительной технике и ортофототрансформация фрагмента размером 4096x4096.

1. Verwendung von Orthophotos in der DDR

Ein Orthophoto zeigt die Bildinformation einer Luftbildaufnahme mit der gleichen geometrischen Genauigkeit wie eine topografische Karte und eignet sich durch diese Eigenschaft für viele Interpretations- und Planungsaufgaben.

Für verschiedene Bereiche der Volkswirtschaft werden Orthophotos hergestellt [1]:

- Braunkohlenindustrie
- Lagerstättenerkundung
- Meliorationsprojektierung
- Geologie
- Wasserwirtschaft
- Umweltschutz
- Territorialplanung
- Industriebau
- Landwirtschaft.

Die Umbildung des Luftbildes zum Orthophoto erfolgt meist mit dem an das Stereokartiergerät TOPOCART gekoppeltes Orthophotosystem ORTHOPHOT vom Kombinat VEB Carl Zeiss JENA.

2. Digitale Orthophotoherstellung

Bei dem Prozeß der analogen Differentialentzerrung werden die durch den Aufnahmevorgang verursachten projektiven und perspektiven Verzerrungen durch eine optische Projektion kleiner Linien-elemente auf einen lichtempfindlichen Film beseitigt. Das Ergebnis ist das Orthophoto, ein Photo, welches die Bildinformation des Luftbildes mit geometrischen Eigenschaften einer Karte zeigt (orthogonale Projektion der Geländeoberfläche auf eine Bezugsebene).

Digitale Bildverarbeitungssysteme ermöglichen es, diesen Umbildungsvorgang durch das Umspeichern der Bildelemente eines digitalisierten Luftbildes in einen digitalen Speicher zu ersetzen, wenn die Abbildungsgleichungen zwischen Luftbild und Orthophoto bekannt sind (s. Abschnitt 3).

Im Vergleich zur Differentialentzerrung tritt an die Stelle des analog vorliegenden Luftbildes der digitale Speicher mit der Grauwertmatrix des abgetasteten Luftbildes. Als Ergebnis ent-

steht eine digital gespeicherte Orthophotobildmatrix. Vorteile des digitalen Herstellungsprozesses sind:

- die Automatisierungsfähigkeit der Verarbeitung ist nur durch die Leistungsfähigkeit des Computers begrenzt.
- keine Spezialgeräte sind erforderlich, auf einem Allzweckrechner implementierbar.
- das Verarbeitungsergebnis kann direkt mit einer speziellen Digital-Analog-Wandlung zur Druckvorlage.

Nachteilig sind heute die hohen Datenmengen eines digitalisierten Luftbildes (etwa 30 Mbyte bei Pixelgröße 40 μm) und die Notwendigkeit der Bereitstellung von digitalen Höhenmodellen. Die Geräteentwicklung einerseits und die Entwicklung zukünftiger Höhendatenbanken andererseits werden jedoch auf die bestehenden Nachteile Einfluß nehmen.

3. Mathematische Beschreibung der Abbildung

Als funktionales Modell zur Beschreibung der Abbildung können die aus der Photogrammetrie bekannten Kollinearitätsgleichungen angewendet werden:

$$(1) \quad x' = -c_k \frac{a_{11}(X-X_0) + a_{21}(Y-Y_0) + a_{31}(Z-Z_0)}{a_{13}(X-X_0) + a_{23}(Y-Y_0) + a_{33}(Z-Z_0)}$$

$$y' = -c_k \frac{a_{12}(X-X_0) + a_{22}(Y-Y_0) + a_{32}(Z-Z_0)}{a_{13}(X-X_0) + a_{23}(Y-Y_0) + a_{33}(Z-Z_0)}$$

Jeder Abbildungsstrahl verläuft als räumliche Gerade zwischen Projektionszentrum (X_0, Y_0, Z_0) , Bild- (x', y') und Geländepunkt (X, Y, Z) . Gleichung (1) beschreibt diesen Zusammenhang, dabei sind die Koeffizienten $a_{11} \dots a_{33}$ Funktionen dreier Drehwinkel, die die räumliche Lage der Bildebene gegenüber dem Geländekoordinatensystem beschreiben, und c_k die Kammerkonstante der Aufnahmekammer.

Die X-Y Ebene stellt die Abbildungsebene für das Orthophoto dar. Wird dieser Ebene die entzerrte Bildmatrix zugeordnet und liegt eine Geländebeschreibung

$$(2) \quad Z = f(X, Y)$$

als digitales Höhenmodell vor, so kann zu jedem Orthophotopunkt der entsprechende Geländepunkt nach (2) und danach der Bildpunkt im verzerrten Luftbild (x', y') nach Gleichung (1) berechnet werden.

Da das Luftbild abgetastet als Grauwertmatrix vorliegt, muß noch eine Transformation in das Abtastsystem berechnet werden. Diese Abbildung läßt sich durch ein einfaches Polynom beschreiben:

$$(3) \quad \begin{aligned} x_{\text{Abt.}} &= a_0 + a_1 x' + a_2 y' \\ y_{\text{Abt.}} &= b_0 + b_1 x' + b_2 y' \end{aligned}$$

Mit (3) kann somit für jedes Orthophotobildelement der zugehörige Grauwert im abgetasteten Luftbild berechnet und umgespeichert werden.

4. Rechentechnische Umsetzung

Die unbekannt Parameter der Gleichung 1 können aus mindestens 3 Paßpunkten durch einen räumlichen Rückwärtseinschnitt berechnet werden, die Koeffizienten der Gleichung 3 über identische Punkte vor und nach der Abtastung. Dazu eignen sich die Rahmenmarken des Luftbildes. Am BVS A6472 werden diese Marken einzeln digitalisiert und die Koordinaten des Rahmenmarkenzentrums mit dem Cursor gemessen.

Der beschriebene Prozeß einer indirekten Entzerrung wurde am Bildverarbeitungssystem A6472 und dem On-line gekoppelten FEAG 200 implementiert [2]. Die begrenzten Datenspeichermöglichkeiten am BVS A6472 der TU Dresden ermöglichen es nicht, die Datenmenge eines mit 40 µm digitalisierten Luftbildes zu speichern. Eine Zerlegung des Luftbildes in Teilbilder ist deshalb erforderlich. Alle Teilbilder eignen sich entsprechend der Größe der Bild-

speicher Fragmente von 512×512 Pixeln. Mit einem Bildspeicher läßt sich ein matrixweiser Zugriff auf die Bilddaten wesentlich schneller realisieren, als auf Magnetplatten gespeicherten Daten. Für die Transformation eines Teilbildes ergibt sich der in Abb. 1 dargestellte schematische Ablauf.

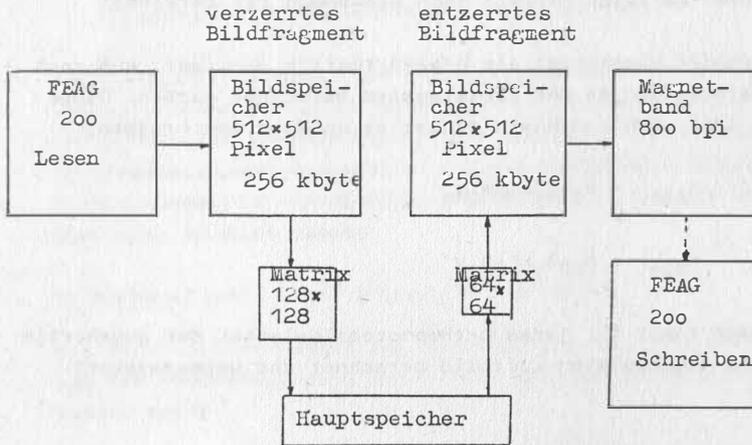


Abb. 1. Transformation eines Teilbildes

Die Umspeicherung der Grauwerte erfolgt im Hauptspeicher des Rechners. Dazu werden durch eine 128×128 große Lesematrix Bilddaten in den Hauptspeicher eingelesen und mit einer 64×64 Pixel Matrix die transformierten Bilddaten in den Bildspeicher geschrieben. Die Transformation des Luftbildes wird so auf Transformationen von kleinen Submatrizen im Hauptspeicher zurückgeführt.

Nach 64 Schreiboperationen der Matrix ist ein Bildspeicher gefüllt und wird auf Magnetband gespeichert.

Als Ergebnis können im Programmsystem OPHO nur quadratische Orthophotos erzeugt, die aus einem ganzzahlig vielfachen von 512×512 Teilbildern bestehen, die Ausgabe erfolgt durch aneinandergereihtes Schreiben der Teilbilder mit dem FEAG 200.

Die Berechnung der Koordinaten der zu transformierenden Pixel für alle Bildpunkte mit den Gleichungen (1), (2) und (3) ist zu aufwendig und kann durch die Anwendung eines Ankerpunktverfahrens (Abb. 2) wesentlich beschleunigt werden. Praktisch ist die strenge Berechnung der Eckpunkte der 64×64 Matrizen ausreichend (Ankerpunkte). Alle innerhalb der Matrix liegenden Punkte werden über eine bilineare Interpolation (Gleichung (4)) transformiert.

$$s' = a_0 + a_1 s + a_2 z + a_3 sz$$

(4)

$$z' = b_0 + b_1 s + b_2 z + b_3 sz$$

Die maschinennahe Programmierung der bilinearen Transformation (Gleichung (4)) erbringt ca. 40 % weniger Rechenzeit als mit einer Version in Fortran 77.

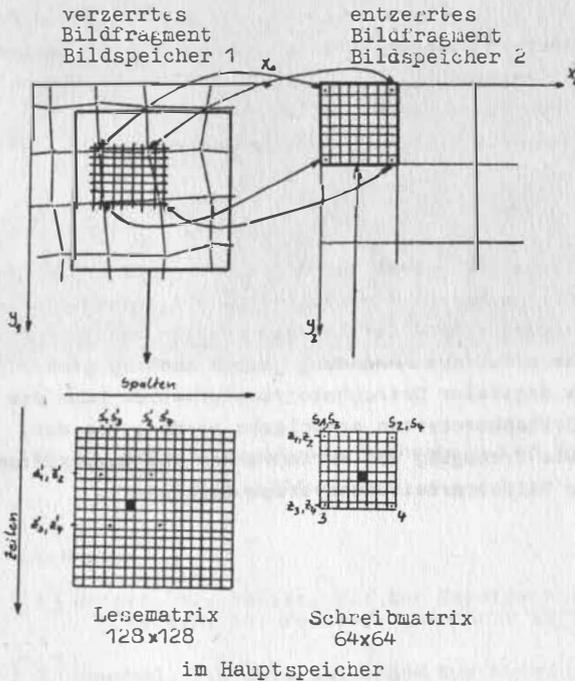


Abb. 2. Ankerpunktverfahren zur Transformation eines Teilbildes zwischen zwei Bildspeichern

Der gesamte Verarbeitungsprozeß muß so gesteuert werden, daß nach Beendigung der Transformation eines Bildspeichers ein neues digitalisiertes Teilbild zur Verfügung steht und andererseits das Orthophototeilbild abgespeichert wird.

Dieser Wechsel von Input/Output- und Verarbeitungsprozeß kann durch die Nutzung der Multitaskfähigkeit des Betriebssystems unterstützt werden, und es resultiert dadurch ein günstigeres Zeitverhalten der Verarbeitung als bei einem sequentiellen Wechsel der Prozesse. Die Transformation benötigt für einen Bildspeicher etwa 90 s.

5. Anwendungsbeispiel

Für den Test der Orthophototransformation mit dem Programmsystem OPHO stand ein Luftbild südlich von Dippoldiswalde im Bildmaßstab 1 : 26 000 zur Verfügung. Die Ableitung eines digitalen Höhenmodells erfolgte für diese Umbildung aus der top. Karte 1 : 10 000 über die Digitalisierung von ca. 3 000 Höhenlinienpunkten in einem Gebiet von etwa $4 \times 4,5 \text{ km}^2$. Aus diesen Daten berechnete das Programmsystem ein Rasterhöhenmodell bestehend aus 36×40 Maschen mit je $100 \times 100 \text{ m}^2$ Ausdehnung. Abb. 3 zeigt das Ergebnis nach der Ausgabe am FEAG 200. Es wurden 64 Teilbilder zu je 512×512 Bildpunkten auf den Maßstab 1 : 20 000 transformiert.

6. Ausblick

Die durchschnittliche Rechenzeit für das 4096×4096 große Orthophoto von $8 - 9 \cdot 10^{-4}$ s/Pixel, einschließlich der Input/Output-Zeiten am FEAG und Magnetband ist für die 16-bit-Technik zufriedenstellend für eine effektive Anwendung jedoch noch zu groß. Auf der Grundlage digitaler Orthophototransformation kann die Herstellung von Orthophotokarten ermöglicht werden. Die dazu notwendige digitale Erzeugung von Kartenrahmen und Beschriftungen ist über digitale Bildverarbeitungssysteme möglich.

Nutzung der digitalen Bildverarbeitung
für automatische kartographische Lösungen
am Beispiel der Kartierung des Flachwasserschelfs

P.HANKE, A.HAGER

VEB Kombinat Geodäsie und Kartographie
Forschungszentrum
Leipzig

Zusammenfassung

Am Beispiel eines unter Produktionsbedingungen angewendeten Fernerkundungsverfahrens zur Bestimmung der Wassertiefen in Flachgewässern wird über wissenschaftlich-technische und ökonomische Aspekte des Einsatzes der digitalen Bildverarbeitung auf Grundlage des Gerätesystems FEAG 200 / BVS A 6472 berichtet.

Abstract

Following an example referring to the determination of water depths in flat-water areas by means of remote sensing, a report is given on some technical and economical aspects of a image processing application which is based on the drum scanner FEAG 200 and the image processing system BVS A 6472.

Резюме

На примере способа дистанционного зондирования, применяемого в условиях производства для определения глубины воды мелко-водья, рассматриваются научно-технические и экономические аспекты использования цифровой обработки изображений на основе системы приборов FEAG 200/BVS A 6472.

Seit dem Jahre 1987 werden im VEB Kombinat Geodäsie und Kartographie großmaßstäbige Karten des Flachwasserschelfs der DDR-Ostseeküste gefertigt, in denen das Meeresbodenrelief bis zur Wassertiefe von 6 Metern durch Isobathen dargestellt ist.

Die Bestimmung der Wassertiefen erfolgt mit Hilfe von Luftbildern (panchromatisches Aufnahmematerial) nach der photometrischen Methode. Diese Methode beruht auf der photometrischen Messung des in photographischen Bildern gespeicherten Meeresbodensignals, dessen Stärke eine Funktion der Wassertiefe ist.

Als Ansatz für das mathematische Modell der Tiefenbestimmung wird die sog. Zweistrahlmethode benutzt /1/, /2/.

Im Ergebnis der Ableitung erhält man

$$(1) \quad t_i = - \frac{1}{mk_i} \ln \frac{E_i - E_\infty}{E_0 - E_\infty},$$

worin t_i die Wassertiefe, E_i das am Aufnahmesensor anliegende Meeresbodensignal, E_0 und E_∞ das Flach- bzw. Tiefwassersignal und m eine Konstante bedeuten.

k_i beschreibt das Absorptionsverhalten des Wasserkörpers. Es wird empirisch aus Eichpunkten mit bekannter Wassertiefe abgeleitet.

Bei Verwendung eines photographischen Sensors ist die Bestrahlungsstärke in (1) unter Berücksichtigung der charakteristischen Kurve des Aufnahmematerials durch die optische Dichte D zu ersetzen.

Mit der photometrischen Methode wird unter durchschnittlichen Bedingungen eine relative Tiefengenauigkeit von 6 - 8% erreicht. Die Genauigkeit der Wassertiefenbestimmung ist abhängig von den systematischen Fehlern des empfangenen Bodensignals und den Fehlern der photometrischen Messung. Der Korrektur systematischer Fehler und der Minimierung der Meßfehler muß daher besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Die photometrischen Messungen wurden anfangs mit analog registrierenden Mikrodensitometern durchgeführt; Datenerfassungsprozeß und rechnergestützter Auswerteprozess erforderten noch ma-

nuelle Eingriffe, die zu unerwünschten Unterbrechungen des durchgängigen Datenflusses führten /3/.

Im Rahmen der planmäßigen Weiterentwicklung des Verfahrens war der Einsatz eines Trommelscanners für die Datenerfassung sowie die Integration der digitalen Bildverarbeitung in den Auswerteprozess vorgesehen. Die entsprechenden Arbeiten sind kürzlich in einer ersten Realisierungsphase abgeschlossen worden. Über damit verbundene Erkenntnisse, Erfahrungen und Probleme wird im weiteren unter besonderer Beachtung wissenschaftlich-technischer und ökonomischer Aspekte berichtet.

1. Datenerfassung und Datenvorverarbeitung

Die Abtastung der Luftbildnegative erfolgt mit dem Film-Ein/Ausgabegerät FEAG 200/30 /4/ unter Benutzung der Rastergröße 80 μm .

Die abzutastenden Fragmente sind standardisiert und besitzen die Formate 1024 x 1024 Pixel bzw. 1536 x 1536 Pixel. Die zugehörigen (ursprünglichen) Bildfiles sind daher nicht größer als 2,4 MByte. Bei Magnetbandaufzeichnung beträgt die Zeit für die Abtastung eines Fragments ca. 4 - 6 Minuten. Der Zeitaufwand läßt sich noch wesentlich senken, wenn auf den Zwischendatenträger Magnetband verzichtet wird.

Der Algorithmus zur Bestimmung der Wassertiefen setzt voraus, daß die für das Bodensignal relevanten optischen Dichten im Bild über den geradlinigen Teil der charakteristischen Kurve erzeugt worden sind. Das ist im Falle einer Unterbelichtung oder aus anderen Gründen nicht immer gewährleistet. Deshalb wurde generell eine Abtastung mit nutzerdefinierter Übertragungsfunktion (Linear Image Scaling) vorgesehen, die in hinreichender Näherung eine Linearisierung der charakteristischen Kurve und eine entsprechende Korrektur der Grauwerte bewirkt.

Ausführliche Untersuchungen waren der photometrischen Meßgenauigkeit des FEAG gewidmet. Im Ergebnis dieser Untersuchungen kann festgestellt werden, daß das photometrische Meßsystem des FEAG gestattet, die optische Dichte der Vorlage - bezogen auf die Fläche der Rastereinheit - auf ± 1 Grauwertstufe genau zu bestimmen.

Unter praktischen Bedingungen müssen jedoch die Wechselbe-

ziehungen zwischen Meßsystem und dem photographischen Rauschen der Abtastvorlage beachtet werden, die zu einer erheblichen Vergrößerung der Grauwertfehler führen können. In diesem Zusammenhang ließen sich Abhängigkeiten des Fehlers von der Rastergröße, vom Dichteniveau und insbesondere vom Vorlagenformat nachweisen.

Um die Auswirkungen dieser Fehler auf ein vertretbares Maß zu reduzieren, war es erforderlich, das maximal zulässige Nettoformat der Vorlage auf 180mm x 180mm zu beschränken und die stochastisch gestörten Signale durch Anwendung geeigneter Filteroperationen zu glätten. Die Glättung wird während der Übertragung des Rasterbildes zum BVS durch ein 3 x 3 - Mittelwertfilter realisiert. Der Filterungsprozeß ist mit einer Datenverdichtung verbunden, die sicherstellt, daß jedes Bildfragment vollständig einem Bildspeicher des BVS (512 x 512 Pixel) zugeordnet werden kann. Die Aufnahmedisposition der Luftbilder gewährleistet, daß die Datenverdichtung keine signifikanten Informationsverluste bzgl. des Meeresbodensignals zur Folge hat.

2. Geometrische Transformation

Das am FEAG erzeugte digitale Rasterbild unterliegt den gleichen projektiven Verzerrungen wie das ursprüngliche Luftbild. Um für jeden Bildort eine Lagezuordnung im Kartenblatt zu ermöglichen, ist eine geometrische Transformation aus dem Koordinatensystem des Rasterbildes (Zeilen-/Spaltennummer) in das Kartenkoordinatensystem notwendig.

Da die Meeresoberfläche durch eine horizontale Bezugsebene approximiert werden kann, ist der Ansatz

$$(2) \quad \begin{aligned} i &= \frac{a_1 i' + a_2 j' + a_3}{a_7 i' + a_8 j' + 1} \\ j &= \frac{a_4 i' + a_5 j' + a_6}{a_7 i' + a_8 j' + 1} \end{aligned}$$

zweckmäßig.

(i', j') sind die Koordinaten des zu transformierenden Bildpunkts im ursprünglichen Rasterbild, (i, j) die zugehörigen Kartenkoordinaten. Die Transformationskonstanten a₁ bis a₈ werden aus mindestens 4 identischen Punkten abgeleitet. Diese Punkte werden

vor Beginn der Auswertearbeiten in den Bildfragmenten durch Ausfräsen der Emulsionsschicht mittels eines rotierenden Werkzeugs markiert. Die Markierungen erscheinen im Rasterbild als Anhäufung von Raeterpunkten mit extremen Grauwerten, so daß sie unter Verwendung eines Schwellwerts automatisch von ihrer Umgebung getrennt und lokalisiert werden können. Die Kartenkoordinaten dieser Punkte werden im Prozeß der photogrammetrischen Punktverdichtung bestimmt, wobei die dort benutzten Bilder dieselben Markierungen enthalten. Da die im Flachwasserschelf markierten Punkte nicht stereoskopisch meßbar sind, mußte zur Berechnung der Kartenkoordinaten die bekannte Höhe der Bezugs Ebene ($h = 0$) als Zusatzinformation herangezogen werden.

Je Fragment werden aus Kontrollgründen 6 (oder mehr) identische Punkte bestimmt, so daß sich die Transformationskonstanten aus einer Ausgleichung ergeben. Nach Bereitstellung der Konstanten für die inverse Transformation werden für jeden Punkt des Systems (i, j) die Koordinaten im System (i', j') des ursprünglichen Rasterbildes berechnet, auf ganzzahlige Werte gerundet und der an dieser Stelle vorgefundene Grauwert am betreffenden Punkt des Systems (i, j) eingetragen. Auf diese Weise entsteht im System des Kartenblatts ein von projektiven Verzerrungen befreites Bild ohne Lücken oder Überschneidungen.

Die digitale Entzerrung eines 512×512 Pixel umfassenden Bildes benötigt am BVS ca. 3,5 Minuten.

3. Berechnung der Wassertiefen

Vor der Tiefenberechnung sind an den Grauwerten erforderlichenfalls radiometrische Korrekturen anzubringen. Dadurch sollen in erster Linie systematische Fehler eliminiert werden, die im Prozeß der Bilderherstellung entstanden sind.

In der Praxis hat sich die Korrektur der Grauwertfehler, die durch die Verglitzerungsindikator des Bildes verursacht werden, als besonders wichtig erwiesen. Derartige Fehler lassen sich auch in den Randzonen der Indikator in der Regel noch meßtechnisch nachweisen. Die Korrekturdaten werden empirisch über Tiefwassergebieten bestimmt.

Ein weiterer Korrekturschritt bezieht sich auf Fehler, die darauf zurückzuführen sind, daß das bilderzeugende Licht das absorbie-

rende Medium (Wasserkörper) i.a. nicht lotrecht, sondern schräg durchläuft.

Weitere Fehlereinflüsse (z.B. radiometrische Übertragungsfehler des Aufnahmesystems) sind Gegenstand laufender Untersuchungen.

Als Voraussetzung für die Tiefenberechnung nach (1) ist schließlich die Bereitstellung der Tiefenbestimmungsparameter (Flach- und Tiefwassersignal; Eichpunktsignale) erforderlich. Die entsprechenden Grauwerte werden im digitalen Rasterbild automatisch aufgesucht, einer speziellen Filterung unterzogen und statistisch geprüft.

Um die Zuverlässigkeit der Auswertung im Bereich der Wasser/Land-Grenze zu gewährleisten, hat es sich als notwendig erwiesen, die die ufernahe Landfläche betreffenden Informationen im Rasterbild zu löschen. Zu diesem Zweck wird die photogrammetrisch ausgewertete Uferlinie durch Rücktransformation in das Rasterbild übertragen. Bei gut ausgeprägtem Kontrast ist es möglich, die Uferlinie mittels eines Gradientenverfahrens direkt im digitalen Rasterbild festzulegen.

Die abschließende Berechnung der Wassertiefen erfolgt bildweise unter Benutzung einer Look-Up-Tabelle.

4. Ausgabevarianten

Die Wassertiefen werden für regelmäßig angeordnete Positionen des in den Blattschnitt transformierten Rasterbildes berechnet (digitales Reliefmodell). Die Schrittweiten sind - ausgehend von der im Bildspeicher festgelegten Rastergröße - beliebig wählbar. Das digitale Reliefmodell ist ein Teilerzeugnis, das zusammen mit der Karte an den Auftraggeber ausgeliefert wird.

Das regelmäßige Tiefenraster ist Grundlage für die Erzeugung der Isobathen durch lineare Interpolation. Nach ihrer Glättung (Verwendung des gleitenden Mittels) werden die Isobathen im Blattschnitt mit Hilfe eines Vektorzeichentisches ausgegeben.

Die rasterbezogene Ausgabe der Isobathen ist eine weitere Ausgabevariante, die künftig zur Verfügung stehen wird.

Nach einer Filterung des digitalen Rasterbildes zur Unterdrückung störender Rauschkomponenten werden die Isobathen im digitalen Rasterbild unter Benutzung geeigneter Bildverarbei-

tungsoperationen(Schwellwertoperationen,Gradientenfilter) abgeleitet.Sie können nach entsprechender Überarbeitung(Glättung, Skelettierung,Eliminierung syntaktischer Fehler) auf einem Rasterausgabegerät(FEAG,Rasterplotter)ausgegeben werden.

5. Bewertung der Testergebnisse

Die praktische Erprobung des beschriebenen Verfahrens ergab,daß die Anwendung der neuen Wirkprinzipien bei der Datenerfassung und -verarbeitung im Vergleich zur bisherigen Lösungsvariante /3/ zu bedeutenden Verbesserungen des Kartierungsprozesses führt,auf die im folgenden schwerpunktmäßig hingewiesen wird.

a)Verbesserung der Erzeugnisqualität durch

- erweiterte Korrekturmöglichkeiten systematisch verfälschter Grauwerte(Erhöhung der Tiefenbestimmungsgenauigkeit) und
- Vergrößerung der Dichte der Tiefenmeßpunkte(d.h. höhere Bodenauflösung bei gegebenem Bildmaßstab);

b)Schaffung eines durchgängigen Datenflusses von der Datenerfassung bis zur Datenausgabe,verbunden mit einer wesentlichen Beschleunigung der Arbeiten;

c)Erhöhung der Zuverlässigkeit der Auswertung und der Wirksamkeit von Kontrollprozessen durch

- Anzeige der aktuellen Bildspeicherinhalte am Monitor,
- erweiterte interaktive Eingriffsmöglichkeiten und
- technologiegerechte Dialoggestaltung.

Die im Vergleich zu /3/ nachgewiesenen Arbeitszeiteinsparungen bewegen sich - bezogen auf den gesamten Kartenherstellungsprozeß - zwischen 40 und 50%.Den größten Beitrag zu dieser Einsparung liefert der Teilprozeß der Datenerfassung.

Literatur

- /1/ Harnisch,G. Anwendung der Multispektraltechnik zur Tiefenkartierung von Flachgewässern
Verm.-techn. 34(1986)11,S.367
- /2/ Voigt,T. Fernerkundungstechnologien zur Umweltkontrolle von Oberflächengewässern
Verm.-techn. 34(1986)11,S.365

- /3/ Hanke, P. Rechnergestützte Herstellung großmaßstäbiger Karten des Flachwasserschelfs der DDR-Ostseeküste mit Hilfe von Fernerkundungsdaten
Verm.-techn. 34(1986)11, S.370
- /4/ - Betriebshandbuch
Film-Ein/Ausgabegerät FEAG 200
Druckschr.-Nr. 14 - G415 - 1

Nutzung digitaler Bildverarbeitungstechniken zur Verifizierung
geologischer Strukturen im Bereich des Harzes

H. J. Franzke; E. Bankwitz; P. Bankwitz; G. Harnisch; G. Schilbach

Akademie der Wissenschaften der DDR
Zentralinstitut für Physik der Erde, Potsdam

Ausgehend von visuellen Interpretationen verschiedener aerokosmischer Bildmaterialien eines geologisch gut untersuchten und für geowissenschaftliche Fernerkundungsinterpretationen geeigneten Raumes (Harz) werden Möglichkeiten und Grenzen analog-optischer und digitaler Bildbearbeitungen zur Hervorhebung geologischer Strukturelemente bewertet und anhand von Beispielen erläutert.

Die analoge Bildbearbeitung umfaßte Mehrkanalbildmischungen am Multispektralprojektor und ELCOP-Filterungen. Die digitale Bildverarbeitung diente der Verbesserung der visuellen Interpretierbarkeit der Bildmaterialien (Störungsbeseitigung, Kontrastmanipulation) sowie der automatisierten Bildanalyse. Verfahren zur Richtungs- und Bildstatistikberechnung, zur Hauptachsentransformation, Bildfilterung und -klassifizierung wurden eingesetzt.

Die wesentlichen Informationen sind bereits bei der visuellen Interpretation unbearbeiteter Bildmaterialien zu gewinnen. Analoge und digitale Bildbearbeitungstechniken sind besonders zur Hervorhebung linearer Bildelemente geeignet und dafür, lithologische Einheiten abzugrenzen und zu klassifizieren, wenn die Waldbedeckung des Gebiets 30 % nicht wesentlich übersteigt.

Damit automatisierte Bildauswerteverfahren stärker genutzt werden, ist eine Qualifizierung von Algorithmen zur Ableitung geologischer Strukturelemente nötig, vor allem zur Richtungsanalyse und Bildklassifizierung. Der Einsatz moderner Bildanalyseverfahren im Hinblick auf eine effektivere Bildauswertung sollte vorangetrieben werden.

Gewinnung geökologischer Informationen
über Wohnquartale durch digitale Verar-
beitung gescannter Luftbilder

Brigitte Usbeck

Akademie der Wissenschaften der DDR
Institut für Geographie und Geoökologie

Zusammenfassung

Scannerdaten mit hoher Auflösung gestatten es, in Stadtgebieten geökologische Untersuchungen und Bewertungen auf der Grundlage von Klassifizierungen und Bilanzierungen durchzuführen. Parameter für die geökologische Bewertung sind hier die Flächenanteile von verschatteten, versiegelten und bebauten Gebieten sowie von vegetationsbedeckten Flächen.

Acquisition of Geocological Information
About Residential Quarters by Image Pro-
cessing of Scanned Airphotos

On the base of scanned data with high resolution it is possible to do geocological investigations and estimations of town districts after classifying the data and an analytical study of the result. Parameters for the geocological estimation are percentage values of different kinds of land cover as shaded, concreted, build-up and areas covered with vegetation.

Получение геоэкологической информации о
жилых кварталах методом машинной обработки
сканированных аэроснимков

На основе сканированных данных высокого разрешения можно исследовать геоэкологические условия и оценку городских структур с помощью классификаций и балансирований. Параметрами геоэкологической оценки являются участки застроенных, покрытых асфальтом и т.д., вегетационных и затенённых площадей внутри городских структур.

1. Einleitung

Untersuchungen zur Flächennutzung in Stadt- und Stadtrandgebieten mit Hilfe rechnergestützter Verfahren anhand von digitalisierten Luftbildern sind aufgrund ihrer heterogenen Struktur im Vergleich zu Untersuchungen in der Land- und Forstwirtschaft nur in wenigen Fällen vorgenommen worden. (STOYE, H., USBECK, B., 1987)

Die Besonderheiten der spektralen Wiedergabe von Stadtstrukturen liegen zum einen darin, daß natürliche Objekte (Rasen, Boden, Gewässer, Gestein) und technogene Materialien (Beton, Asphalt, Ziegel u.a.) nebeneinander auftreten, zum anderen, daß gleiche technogene Materialien für unterschiedliche Nutzflächen Verwendung finden (z.B. Beton - auf Straßen, auf Innenhöfen, auf Dächern). (JENSEN, J.R., 1983)

Für Stadtuntersuchungen findet unter den Fernerkundungsdaten vor allem das Luftbild vielfältige Anwendung. Es vermittelt einen Überblick über den Grundriß der Städte und ihre Struktur, über ihre topographische Lage und Beziehung zum Umland, erlaubt das Erfassen der Stadtentwicklung und vieles andere mehr. (LÖFFLER, E., 1985)

Für ökologische Untersuchungen und Bewertungen wurden bisher thermale Infrarotdaten angewendet. Im vorliegenden Aufsatz sollen Ansätze zur geoökologischen Wertung anhand von kombinierten spektralen Werten in Stadtgebieten aufgezeigt werden. Datengrundlage sind "simulierte" Scannerdaten nach einem MKP-6-Luftbild (BF 631-636/83, Nr. 64). Der Originalbildmaßstab beträgt ca. 1 : 23 000, die Pixelauflösung 1,2 m x 1,2 m.

2. Klassifikation

Aus vorhergehenden Analysen ergab sich, daß die MKP-6-Kanäle 4 (640-680 nm) und 6 (790-890 nm) für eine Bearbeitung natürlicher und technogener Objekte gut geeignet sind, da hier eine Änderung im Spektralverhalten auftritt. (USBECK, B., 1988)

Folgende Oberflächenklassen wurden untersucht:

1. Schatten über vegetationslosen Flächen
2. Dachfläche, dunkel
3. Straßen, versiegelte Freiflächen

4. Dachflächen, hell
5. unbedeckter Boden
6. Schatten über Grünflächen
7. Bäume
8. Rasen.

Aus der Berechnung der Summen- und Differenzwerte beider Kanäle wurde Abbildung 2 ermittelt. Die Kombination bewirkt, ähnlich wie die Hauptkomponententransformation, eine Veränderung der ursprünglichen Lage der Daten im Koordinatensystem, so daß rechnerisch eine bessere Beschreibung (bzw. Klassifizierung) möglich ist. (Abb. 1)

Mit Hilfe der Differenz ($K_6 - K_4$) erhält man eine exakte Trennung von Grün- und Nichtgrünflächen, die sich in Einzelkanälen immer überlagern. Die Summe (K_4 und K_6) bezeichnet die Helligkeit der Grauwerte. Folglich kann die optisch wahrnehmbare Helligkeit rechnerisch dargestellt, auf Untersuchungsobjekte generalisiert und zugeordnet werden. Diese Zuordnung wurde im vorliegenden Fall mit Hilfe einer Überwachten Parallel-Epipod-Klassifikation verwirklicht.

Abbildung 3 zeigt das Ergebnis dieser Klassifikation.

Zum visuellen Vergleich zeigt Abbildung 4 den Kanal 4 des Originalbildes.

Abb. 1 Lage der Daten im Koordinatenraum

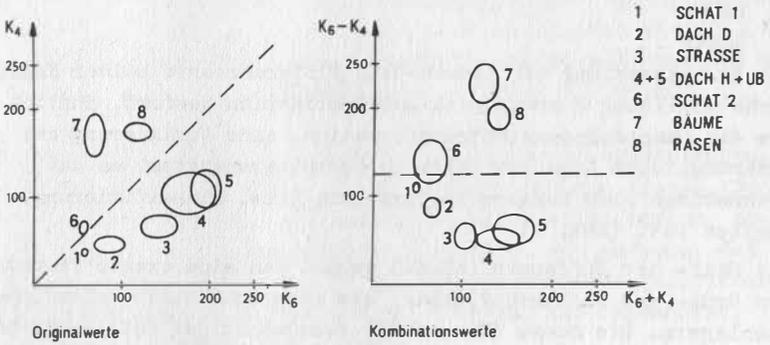
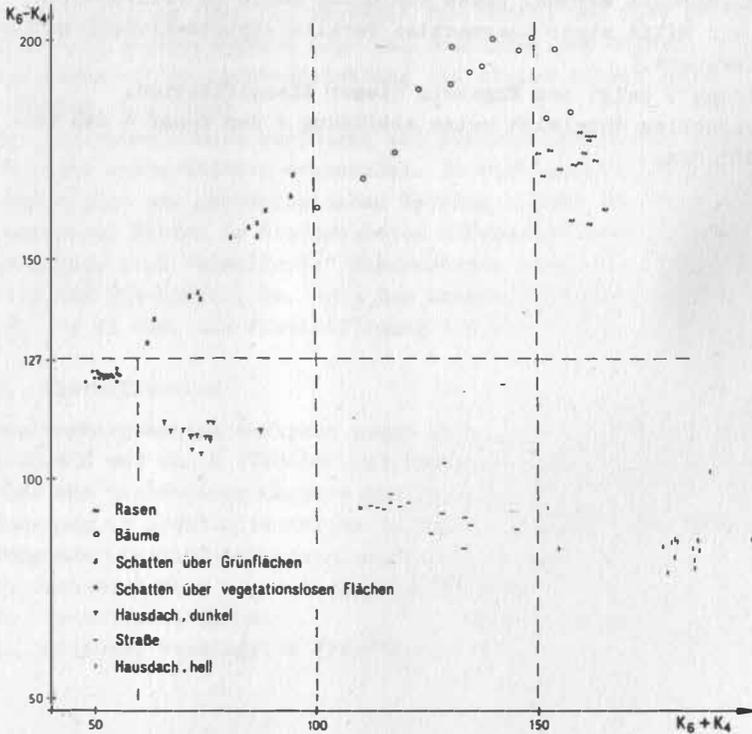
Abb 2. Lage der ermittelten Klassen im Koordinatensystem
(Darstellung bezieht sich auf Wertebereich der Bildverarbeitung)

Abb. 3: Ergebnis der Parallel-Epiped-Klassifikation mit berechneten Grenzen
(Zur Veröffentlichung freigegeben
unter LFB-Nr. BF 123/87)





Abb. 4: Originalbild,
Kanal 4
(640 mm - 680 mm)
(LFB-Nr. BF 123/87)

Schwierigkeiten in der exakten Trennung gibt es hauptsächlich bei benachbarten Klassen (siehe Tab. 1!). Deshalb sollte an dieser Stelle eine Mischpixelanalyse (nach WIRTH, H. u.a., 1987) angeschlossen werden, um die optimalen Grenzen zu ermitteln.

Tab. 1: Trennbarkeit der ermittelten Klassen

Klassen	1	2	3	4	5	6	7	8	
1		o	x	x	x	x	x	x	
2	o		o	x	x	x	x	x	x gut trennbar
3	x	o		o	x	x	x	x	
4	x	x	o		o	x	x	x	o überlagern sich teilweise
5	x	x	x	o		x	x	x	
6	x	x	x	x	x		o	x	
7	x	x	x	x	x	o		o	
8	x	x	x	x	x	x	o		

3. Bilanzierung

Die Bilanzierung ist ein Hilfsmittel zur quantifizierten Inventarisierung von Nutzflächenarten. In Territorialplanung und Städtebau wird die Bilanzierung von Nutzflächenarten entweder visuell geschätzt oder sehr aufwendig bestimmt. Eine Bilanzierung von Nutzflächenarten anhand von klassifizierten Bild-daten ist einfach und schnell interaktiv am Bildschirm zu erarbeiten. Sie wurde für den vorliegenden Bildausschnitt (siehe Tab. 3) ermittelt und in Abb. 5 und Tab. 2 dargelegt.

Abb. 5: Bezeichnung der Wohnquartale

	w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6	w_7
w_8	w_9	w_{10}	w_{11}
w_{12}	w_{13}	w_{14}	w_{15}
	w_{16}	w_{17}	w_{18}

Tab. 2: Prozentualer Flächenanteil der Klassen
am Wohnquartal

Wohnquartal	Schatten 1	Dach dunkel	Straße	Dach hell	Schatten 2	Bäume	Rasen
W 1	15	43	18	4	4	7	8
W 2	11	44	25	9	1	4	7
W 3	14	49	21	5	3	4	5
W 4	33	39	14	2	8	4	-
W 5	9	39	19	4	6	11	12
W 6	1	9	10	3	7	20	50
W 7	7	44	20	5	4	8	12
W 8	20	40	11	4	9	8	7
W 9	15	46	20	14	1	2	1
W 10	2	17	12	17	5	10	36
W 11	13	51	18	7	2	5	3
W 12	20	51	17	5	3	2	1
W 13	9	42	21	8	3	7	9
W 14	5	33	31	19	1	4	5
W 15	7	47	23	8	2	3	10
W 16	8	28	26	10	4	8	15
W 17	2	34	27	17	1	6	12
W 18	4	25	21	10	3	7	31

4. Ansatz einer geökologischen Wertung

Als ein Hauptkriterium für Abgrenzungen von Großstädten zu anderen Siedlungsformen gilt die Konzentration der Bevölkerung auf engem Raum, die sich in der Anhäufung von Baumassen äußert. (SUKOPP, H., u.a., 1980)

Im vorliegenden Bildausschnitt beträgt die Bevölkerungsdichte das 35fache des DDR-Durchschnitts. Die mit dieser Bevölkerungskonzentration (3772 EW/km^2) in der gesamten Stadt zusammenhängenden Veränderungen natürlicher Komponenten wie Klima, Boden, Gewässer, Relief, Vegetation und Tierwelt und ihres Zusammenwirkens führen zur Bildung städtischer Geosysteme. Um deren ökologischen Zustand einschätzen zu können, tragen aus Multi-

spektraldaten berechneten Flächenanteile charakteristischer Oberflächen bei. (WILLMERS, F. u.a., 1987)

4.1. Flächenanteil der Verschattung

Die Multispektralaufnahmen wurden am 9.7.1983 gegen Mittag gewonnen. Somit dürfte der Flächenanteil der Verschattung ein Minimum bezüglich der Tages- und Jahreszeit annehmen. Schattenanteile von 15 % sind schon hoch. Sie deuten auf schlechte Lichtverhältnisse hin, sowie auf Einschränkungen des Wachstums der Vegetation und auf hohe Gebäude. Allerdings spielt hier die Richtung der Sonneneinstrahlung eine große Rolle, d.h. die verschatteten Flächen innerhalb eines Tages sind insgesamt kleiner, wenn die breite Seite der Wohnquartale nach Norden bzw. Süden zeigt. Im untersuchten Gebiet ist in 8 von 18 Wohnquartalen der Flächenanteil der Verschattung größer als 15 %, davon in 3 Fällen sogar mehr als 30 %.

Bewertungsansatz:	1 - 10 % verschattet	:	1
	11 - 20 %	"	: 2
	21 - 30 %	"	: 3
	31 - 40 %	"	: 4
	41 - 50 %	"	: 5

4.2. Flächenanteil der Vegetation

Die Vegetation, in erster Linie jedoch Bäume, sorgt für ein ausgeglichenes Stadtklima und auch für eine Luftverbesserung. Beträgt der Anteil der Vegetationsflächen 40-50 %, davon wieder vorwiegend Bäume und Sträucher, kann man von gut ausgewogenen ökologischen Verhältnissen sprechen. Im untersuchten Abschnitt ist das nur bei 3 Flächen der Fall, während auf vier Flächen nur 10 % Grünflächen und weniger vorhanden sind. Das heißt im gesamten untersuchten Stadtgebiet sind zu wenig Grünflächen vorhanden, um das Stadtklima positiv zu beeinflussen und eine Verbesserung der Luft zu bewirken.

Bewertungsansatz:	41 - 100 % begrünt	:	1
	31 - 40 %	"	: 2
	21 - 30 %	"	: 3
	11 - 20 %	"	: 4
	0 - 10 %	"	: 5

4.3. Flächenanteil der Versiegelung

Versiegelte Freiflächen verhindern, daß Luft und Wasser in den Boden eindringen. Der natürliche Kreislauf ist gestört. Versiegelte Flächen nehmen im Sommer viel Wärme auf. Das führt dazu, daß sich die Hitze auf diesen Flächen staut. (siehe SCHMIDT, I., GROSSER, B. im Druck)

Im untersuchten Bildausschnitt haben 12 von 18 Wohnquartalen mehr als 30 % versiegelte Freiflächen.

Bewertungsansatz:	1 - 10 % versiegelt	:	1
-	11 - 20 %	"	: 2
	21 - 30 %	"	: 3
	31 - 40 %	"	: 4
	ab 41 %	"	: 5

4.4. Bebauungsdichte

Für das untersuchte Gebiet sind dichtbebaute Wohnviertel mit kleinen Produktionsbetrieben im Innenhof typisch. In 14 von 18 Fällen beträgt die Bebauungsdichte mehr als 40 %, davon haben 9 Wohnquartale mehr als 50 % bebaute Fläche.

Bewertungsansatz:	1 - 20 % bebaut	:	1
	21 - 30 %	"	: 2
	31 - 40 %	"	: 3
	41 - 60 %	"	: 4
	ab 61 %	"	: 5

4.5. Gesamteinschätzung

Ermittelt man die durchschnittliche Wertung für alle Wohnviertel, so erhält man folgendes Ergebnis:

Drei Wohnquartale (davon ein Grünplatz) haben positive ökologische Verhältnisse, Bei sechs Flächen gibt es mittlere Verhältnisse und bei neun Wohnvierteln wirkt die Verteilung der Flächenanteile negativ auf die Wohn- und Umweltsituation (Abb. 6). Das heißt bei einer Gesamtbeurteilung herrschen in der Hälfte des Gebietes schlechte geoökologische Bedingungen vor. Dabei ist zu beachten, daß es sich um einen kleinen Ausschnitt der Stadt handelt und manche Wohnviertel nur teilweise erfaßt sind.

Dieser Versuch sollte für weitere und größere Stadtgebiete hinsichtlich seiner Aussage überprüft und mit thermalen Untersuchungen kombiniert werden.



Abb. 6: Klassifikations-
ergebnis mit Wer-
tung der ökologi-
schen Situation

1	sehr gute ökologische Flächenverhältnisse				
2	gute	"	"		
3	mittlere	"	"		
4	"	"	"	mit negativer Tendenz	
5	"	"	"	"	"

Literatur

- JENSEN, J.R. : Urban/Suburban Land Use Analysis in COLWELL, R.N. (Hrsg.): Manual of Remote Sensing, Vol. II., Am. Society of Photogrammetry, Falls Church (Virg.) 1983, S. 1571-1660
- LÖFFLER, E. : Geographie und Fernerkundung
Teubner Studienbücher der Geographie;
Stuttgart 1985
- SCHMIDT, I.;
GROSSER, B. : Thermisches Verhalten von städtischen Nutzflächengefügen - Ergebnisse des Experiments Geoex-86, 1988 (im Druck)
- STOYE, H.;
USBECK, B. : Rechnergestützte Analyse und Bilanzierung von Nutzflächengefügen
in KRÖNERT, R. u.a.: Geoökologischer Zustand von Geosystemen - Ergebnisse des Interkosmos-Experiments Geoex-86 im Testgebiet Leipzig, F/E-Bericht, IGG der AdW der DDR, Leipzig 1987, S. 20-49
- SUKOPP, H.;
BLUME, H.-P.;
ELVERS, H.;
HORBERT, M. : Beiträge zur Stadtökologie von Berlin (West), Schriftenreihe des Fachbereichs Landschaftsentwicklung der TU Berlin, Nr. 3; Berlin 1980
- USBECK, B. : Klassifizierung städtischer Nutzflächenarten aus multispektralen Luftbildern
Hall. Jahrbuch f. Geowiss. 1988 (im Druck)
- WILMERS, F.;
SCHOLZ, K.-D.;
KATZSCHKE, D. : Umweltschutz im Großraum Hannover, Stadtklima und räumliche Planung : Klimaökologische Funktion der Freiräume der Kernrandzone des Großraums Hannover
in: Beiträge zur regionalen Entwicklung, C, Heft 17, Hannover 1987
- WIRTH, H.;
SCHILBACH, G.;
WIRTH, A. : Beitrag zur Analyse von Fernerkundungsdaten im SUB-PIXEL-Bereich
in: Vermessungstechnik Berlin, 35 (1987) 2, S. 56-59

Zur digitalen Darstellung des Reliefs

J. HÖPFNER

Akademie der Wissenschaften der DDR
Zentralinstitut für Physik der Erde, PotsdamZusammenfassung

Die analogen Darstellungen des Reliefs genügen den Anforderungen der Anwender allein nicht mehr. Um digitale Verfahren anwenden zu können, sind deshalb digitale Reliefmodelle bereitzustellen. Nach kurzer Beschreibung der Entwicklung der analogen Reliefdarstellung werden die auf Karten allgemein gebräuchlichen Darstellungsarten angegeben. Dann werden die verschiedenartigen Datenstrukturen für digitale Reliefmodelle mit Vor- und Nachteilen betrachtet: Höhenlinienmodell und Höhenrastermodell; Höhenmodelle mit Rechteck- und/oder Dreiecksmaschen; Geripplinienmodell; Höhengschichtenmodell im Rastermodus. Abschließend werden einige Bemerkungen gemacht, in welcher Art und Weise digitale Reliefmodelle landesweit aufgebaut werden.

Summary

Analogous relief representations as such do not meet the demands of users any longer. Therefore, in order to apply digital methods, digital relief models have to be made available. A short description of the development of the analogous relief representation is followed by some information on the different kinds of such representation which are commonly used in maps. Different data structures for digital relief models are considered and its advantages and disadvantages are discussed; i. e. the contour line model and the grid model; models constructed with rectangular and/or triangular meshes; the skeletal line model; the layered model in the raster mode. Finally, some remarks are made on the way creating digital models for whole countries.

Резюме

Аналоговые изображения рельефа сами по себе уже не удовлетворяют требованиям пользователей. Поэтому необходима подготовка цифровых моделей рельефа, чтобы иметь возможность применять цифровые методы. После краткого описания развития аналогового изображения рельефа приводятся его общепотребительные на картах виды. Затем обсуждаются различные типы структур данных для цифровых моделей рельефа с их преимуществами и недостатками: модель горизонталей и сетевая модель; модели, построенные из прямоугольных и/или треугольных ячеек; пространственно-структурная модель; слоистая модель (модель гипсометрических ступеней) в растровой форме. В заключение делается несколько замечаний о том, каким образом создаются цифровые модели рельефа для целых стран.

Besonders charakteristisch für das Gelände sind seine Oberflächenformen. Deshalb ist das Geländere relief ein wichtiges Kartenelement aller topographischer und vieler thematischer Karten.

1. Über die Entwicklung der analogen Reliefdarstellung

Der Entwicklungsweg der Darstellung des Reliefs auf Karten ist schon sehr lang. Er beginnt im Altertum mit Seitenansichten in Form von einfachen Bergprofilen. Auch auf den Mönchs- oder Klosterkarten des Mittelalters sind die Gebirge nur als schematische Aufrißzeichnungen wiedergegeben. Man bezeichnet diese Darstellungsart als Maulwurfshügelmanier. Ab etwa 1500 finden sich individuelle Seitenansichten des Reliefs mit Formlinien und Schattierung. Solche Darstellungen geben ein räumliches, realistisches Bild von den Bergformen wieder. Im Laufe der Zeit (16. - 18. Jh.) ging man zu Schrägansichten über, die als Kavali er- oder Militärperspektive bekannt sind. Weiter verlief die Entwicklung über die Vogelperspektive zur Orthogonalprojektion. Der gesamte Prozeß ist gekennzeichnet durch den allmählichen Übergang von der sehr bildhaften zur mehr abstrakt-geometrischen Darstellungsweise.

2. Allgemein gebräuchliche Arten der analogen Reliefdarstellung

Als wichtigste Arten zur analogen Darstellung des Reliefs sind zu nennen: Schraffen, Höhenlinien mit Höhenpunkten, farbige Höhenschichten, Schummierung sowie Formzeichen und Formzeichnung.

Die Reliefdarstellung in Karten soll sowohl geometrisch ausreichend genau und morphologisch richtig, als auch anschaulich sein. Höchste Ansprüche werden an topographische Karten gestellt. Keine Reliefdarstellungsart ist allein geeignet den Forderungen zu genügen. Deshalb werden die verschiedenen Arten miteinander kombiniert, wobei ihre Eignung maßstabsabhängig ist. Meistens werden heutzutage folgende Kombinationen angewandt (HAKE 1982):

- Höhenlinien und Formzeichen (Signaturen) in großmaßstäbigen Karten (bis 1:10 000),
- Höhenlinien, Schummerung und Formzeichen in mittelmaßstäbigen Karten (1:20 000 bis 1:200 000),
- Schummerung mit farbigen Höhenschichten und/oder einzelnen Höhenpunkten in kleinmaßstäbigen Karten (1:250 000 bis 1:1 Mio).

Im Kontinuum Relief treten Unstetigkeitsstellen durch kleine Geländeformen auf. Beispiele für natürliche und künstliche Kleinformen sind: Gefällwechsel (Kanten), Fels, Abrisse, Dünen; Einschnitt- und Dammböschungen, Kiesgruben, Steinbrüche, Abraum- und Schutthalten. Diese lassen sich im Höhenlinienbild nur durch Formzeichen, und speziell für Fels durch Formzeichnung, wiedergeben. Bei den Formzeichen handelt es sich meist um schraffenartige Darstellungen.

Als Gestaltungsmittel können Höhenlinien und Schummerung nicht gemeinsam mit Schraffen verwendet werden. Die einzige geometrisch genau ausmeßbare Darstellungsform des Reliefs sind die Höhenlinien. In modernen topographischen Karten bilden sie deshalb das wichtigste Reliefdarstellungselement.

Bekanntlich sind Höhenlinien als Verbindungslinien benachbarter Geländepunkte gleicher Höhe über einer Bezugsfläche definiert. Hingegen sind Schraffen (Böschungs- und Schattenschraffen) eng gescharte Reihen kurzer Fallstriche. Indem sie die Richtung des größten Gefälles markieren, verlaufen sie stets rechtwinklig zu den Höhenlinien.

3. Arten der digitalen Reliefdarstellung

3.1. Grundsätzliches

Seit etwa 30 Jahren beschäftigt man sich mittlerweile mit Fragen des digitalen Geländemodells. Dabei ist seine Bedeutung ständig gewachsen, da die bisherigen analogen Informationsformen allein den Ansprüchen der Nutzer nicht mehr genügen. Für Anwendungen

digitaler Verfahren ist es daher eine vorrangige Aufgabe, digitale Darstellungen des Reliefs bereitzustellen.

Anforderungen an die Modellierung von Objekten sind einerseits Datenstrukturen für effiziente Programme und andererseits solche für effiziente Speicherung. Dieser in der elektronischen Datenverarbeitung vorhandene Widerspruch wird besonders augenscheinlich bei räumlich und flächenhaft unbegrenzten Erscheinungen, speziell bei der topographischen Oberfläche. Deswegen ist nicht verwunderlich, daß für digitale Reliefmodelle verschiedenartige Datenstrukturen benutzt werden.

Tab. 1 gibt eine Übersicht über die verwendeten digitalen Reliefmodelle. Hauptsächlich sind es das Höhenlinienmodell und das Höhenrastermodell.

3.2. Höhenlinienmodell und Höhenrastermodell

Der große Vorteil des Höhenlinienmodells liegt darin, daß es je nach Reliefcharakter an die Geländeformen anpassungsfähig ist und damit nur minimalen Speicherplatz braucht. Gewisse Mängel gibt es bei der Verarbeitung. Hingegen läßt sich das Höhenrastermodell günstig abspeichern und weiterverarbeiten. Der Grund hierfür ist die regelmäßige Punktanzordnung. Dadurch enthält die Matrix der Höhenwerte Z implizit die Topologie. Das heißt, aus deren Positionen kann man die zugehörigen Koordinaten X , Y leicht berechnen. Ein Nachteil des regelmäßigen Höhenrastermodells ist die Redundanz der erfaßten Information für weniger raue Gebiete, wenn die Rasterauflösung in Abhängigkeit von der Rauigkeit des Geländes gewählt wurde, oder es ist gerade umgekehrt, d. h., Geländedetails werden nicht erfaßt.

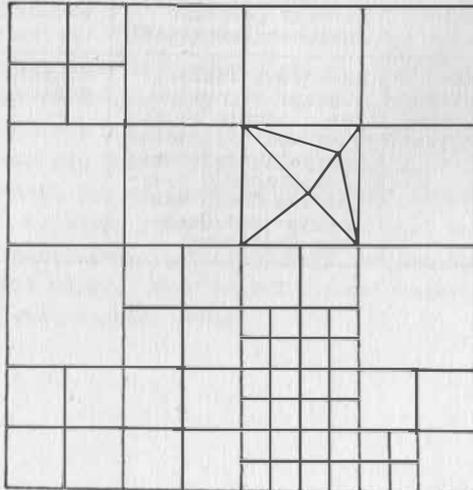
Tab. 1. Übersicht über digitale Reliefmodelle

Reliefmodell	Vorteile	Nachteile
Höhenlinienmodell (vektoriisierte Höhenlinien)	Anpassungsfähigkeit an Reliefformen; geringer Speicher- platzbedarf	Mängel bei Verar- beitung
Höhenrastermodell (regelmäßige Rech- eckmaschen)	regelmäßige Punkt- anordnung; günstige Speicherung und Verarbeitung	Redundanz oder fehlende Details je nach Rasterweite
Höhenrastermodell mit lokaler Drei- ecksvermaschung	Vollständigkeit der Reliefformen	kompliziertere Datenverwaltung
Höhenmodell aus unregelmäßigen Dreieckmaschen	Vollständigkeit der Reliefformen	höhere Ansprüche bei Verarbeitung
Höhenrastermodell mit variablem Raster und Drei- ecksvermaschung	Vollständigkeit der Reliefformen; aus- reichende geometri- sche Genauigkeit und geomorpholo- gische Qualität	komplizierte Daten- verwaltung
Gerippllinienmodell (vektoriisierte Strukturlinien)	RangEinstufung für Generalisierung; äußerst geringer Speicherplatzbedarf	Anwendbarkeit ist vom Reliefcharakter abhängig
Höhenschichten- modell im Raster- modus (äquidistan- te Höhenschichten)	Anwendung vektori- sierter Algorith- men, leichte Ablei- tung von bestimmten Darstellungsformen; platzsparende Spei- cherung durch Run- length- und Quad- tree-Codierung	Äquidistanz der Höhenschichten

3.3. Höhenmodelle mit Rechteck- und/oder Dreiecksmaschen

Andere Datenstrukturen wurden mit dem Ziel entwickelt, die Vorteile der beiden Modelltypen zu vereinigen. Beispiele hierfür sind Rastermodelle mit lokaler Dreiecksvermaschung. Außerdem gibt es das unregelmäßige Dreiecksnetzmodell als solches. Dabei wird jedoch die Datenverwaltung komplizierter. Es soll die Entwicklung eines digitalen Höhenrastermodells mit variablem Raster und Dreiecksvermaschung (DÜSEDAU u.a. 1987) kurz dargestellt werden.

Damit auf die Daten des digitalen Reliefmodells schnell zugegriffen werden kann, wurde die Organisation der Datenbasis nach Ebenen gegliedert. Die erste Ebene umfaßt $m \times n$ gleich große quadratische Teilgebiete, wobei $m \times n$ in der Größenordnung 10^3 liegt. Jedes Teilgebiet wird in 8×8 kleine Einheiten unterteilt. Da maximal fünf Ebenen zugelassen sind, könnte eine solche Unterteilung fünfmal erfolgen. Sonach erlaubt eine einstufige Organisation $8m \times 8n$ Rastermaschen, eine zweistufige Organisation $64m \times 64n$ Rastermaschen, eine dreistufige Organisation $512m \times 512n$ Rastermaschen usw. zu verwalten.



Für die meisten Anwendungen dürfte die dreistufige Organisationshierarchie bereits ausreichen, da beispielsweise mit $m = n = 40$ und 20-m-Rasterweite die Fläche für ein digitales Reliefmodell 409,6 km x 409,6 km beträgt.

Das Relief wird durch ein der Geländeform angepaßtes variables Raster auf der untersten Ebene dargestellt. Je nach den Gelände- verhältnissen kann die Oberfläche eines Teilgebietes durch eine Rastermasche oder durch bis zu 64 Rastermaschen beschrieben werden. Charakteristische Geländelinien und -punkte, die in einer Rastermasche liegen, werden zusätzlich durch lokale Dreiecksvermaschung erfaßt. Dabei werden Geripp- und Kantenlinien sowie Aussparungslinien zu Dreiecksseiten der Vermaschung, und Höchst-, Tiefst- und Sattelpunkte sowie die vier Rasterpunkte der betreffenden Masche zu Eckpunkten von Dreiecken. Abb. 1 veranschaulicht eine Rasterstruktur mit Dreiecksvermaschung als Beispiel für vier benachbarte Teilgebiete. Indem in der beschriebenen Datenstruktur eine vollständige Relieferfassung gewährleistet ist, können auch die Forderungen hinsichtlich ausreichender geometrischer Genauigkeit und geomorphologischer Qualität erfüllt werden. Dabei erweist sich als sehr effizient, das digitale Reliefmodell durch schrittweise Rasterverdichtung aufzubauen.

3.4. Geripplinienmodell

Eine weitere Möglichkeit für eine Datenstruktur des digitalen Reliefmodells besteht darin, die charakteristischen Geländelinien und -punkte selbst zu verwenden. Erst einmal bilden die als Geripplinien bezeichneten Rücken- und Muldenlinien zwei ineinandergreifende Liniensysteme. Hinzu kommen die Kantenlinien, die mehr oder weniger ausgeprägte Gefällwechsel anzeigen. Die markanten Punkte schließlich sind die Höchst- bzw. Gipfelpunkte der Vollformen (Berge, Bergrücken, Hügel, Bodenwellen), die Tiefstpunkte der Hohlformen (Kessel, Senken, Wannen, Mulden) und die Sattelpunkte. Bei der topographischen Aufnahme basiert die ein-

wandfreie Höhenlinienentwicklung bekanntlich darauf, daß auf diese Weise die Geländeformen erfaßt werden. Abb. 2 zeigt das Mont-Blanc-Gebiet der Alpen (a) und den westlichsten Teil der Hohen Tatra (b) in dieser Form als Übersichtsschemata.

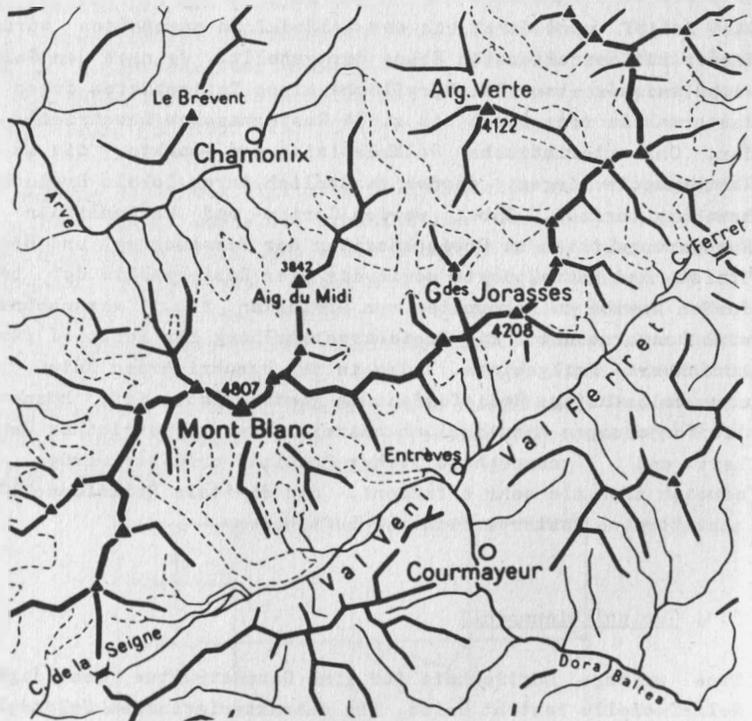


Abb. 2a. Geripliniendarstellung.
Mont-Blanc-Gebiet (IMHOFF 1982)

Es wurden Experimente angestellt (DOUGLAS 1987), ein digitales Geriplinienmodell aus einem digitalen Höhenrastermodell zu erzeugen und wieder in dieses umzuwandeln. Beispielsweise ergaben sich für ein 100-m-Rastermodell von einem 15 km x 15 km großen Hochgebirgsgebiet, also 22 500 Höhenwerten Z, 5 761 bzw. 4 918 Punkte oder 17 283 bzw. 14 754 Koordinatenwerte X, Y, Z im

Zweckmäßig ist es, den Modelltyp durch andere informationsreiche Linien, z. B. einige Fall- und Formlinien, zu vervollständigen. Unmittelbar zum Aufbau solcher Modelle sollten topographische Aufnahme oder photogrammetrische Verfahren benutzt werden. Hieraus können direkt maßstabsgerechte Höhenlinienmodelle abgeleitet werden (s. auch WU, HE-HAI 1981).

Damit die automatisierte Bearbeitung der Reliefdarstellung für Folgemaßstäbe relativ leicht realisiert werden kann, ist bereits bei Erstellung des digitalen Reliefmodells zu berücksichtigen, welche Kartenarten und -maßstäbe mit welchen Höhenliniensystemen aus dem gewählten Grundmaßstab hergestellt werden sollen. Dies kann in der Weise geschehen, daß die informationsreichen Linien und Punkte nicht nur nach Typ, sondern auch nach Rang eingestuft werden. Hierfür ist die Anzahl Folgemaßstäbe entscheidend. Welches Höhenliniensystem angewandt wird, richtet sich neben Kartenmaßstab und Geländeverhältnissen nach der Zweckbestimmung der Karten. Die Ergebnisse eines derartigen Experiments (PRASOLOV 1987) für die topographische Maßstabsreihe 1:25 000 bis 1:500 000 sind in Abb. 3 wiedergegeben. Wie ersichtlich, haben die abgeleiteten Höhenliniendarstellungen die charakteristischen Reliefformen behalten.

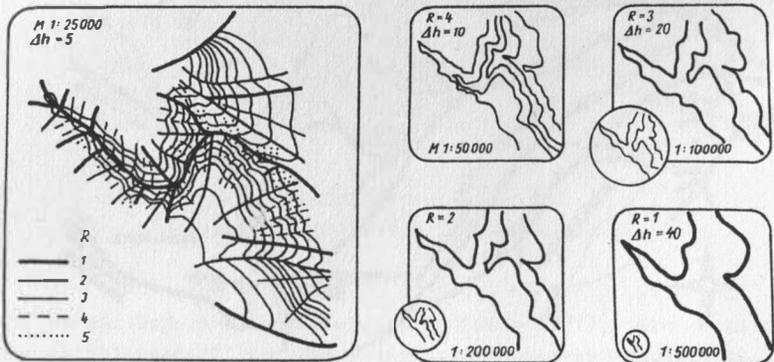


Abb. 3. Beispiel für Höhenliniendarstellungen, abgeleitet aus einem digitalen Geripplinienmodell (PRASOLOV 1987):
R - Rang, Δh - Höhenlinienabstand in Metern

3.5. Höhenschichtenmodell im Rastermodus

Schließlich kann ein digitales Reliefmodell durch äquidistante Höhenschichten im Rasterformat dargestellt werden. Man erhält das Höhenschichtenmodell, indem die Flächen zwischen benachbarten Höhenlinien mit Pixeln gefüllt werden, deren Grauwert mit jeder Höhenstufe variiert.

Das Höhenschichtenmodell ist deshalb zu beachten, weil zu seinem Aufbau und zu seiner Auswertung vektorisierte Algorithmen verwendet werden können (NIESE und WEBER 1987). In ihnen ist die kleinste logische Recheneinheit das ganze Modell. Folglich werden alle Pixel homogen, d. h. nach derselben Vorschrift verarbeitet. Besonders vorteilhaft ist es, dafür Parallelprozessoren einzusetzen. Bei iterativen Rechenvorgängen kann erreicht werden, daß sich bisweilen der Rechenaufwand durch hierarchische Grauwertverarbeitung erheblich verringert (WEBER 1986). Gegenüber dem regelmäßigen Höhenrastermodell hat das Höhenschichtenmodell im Rastermodus den Vorteil, daß es sich durch Run-length- oder Quadtree-Codierung platzsparend speichern läßt.

Das vektorisierte Verfahren zur Erstellung des digitalen Höhenschichtenmodells kann beispielsweise hierarchisiert werden, wenn die Art der Höhenlinien in den digitalen Grauwerten ihrer Pixel erkennbar ist. Es gibt den Vorschlag, die Methode anzuwenden, um aus digitalisierten Höhenlinien das digitale Höhenlinienmodell in Rasterform zu erzeugen (GIEBELS und WEBER 1982).

Vorteilhaft lassen sich folgende Darstellungsformen des digitalen Höhenschichtenmodells aus diesem ableiten: die scheinplastische Reliefdarstellung als Schrägansicht, die Reliefschummerung nach TANAKA, die Hangneigungskarte und die kontinuierliche Reliefschummerung.

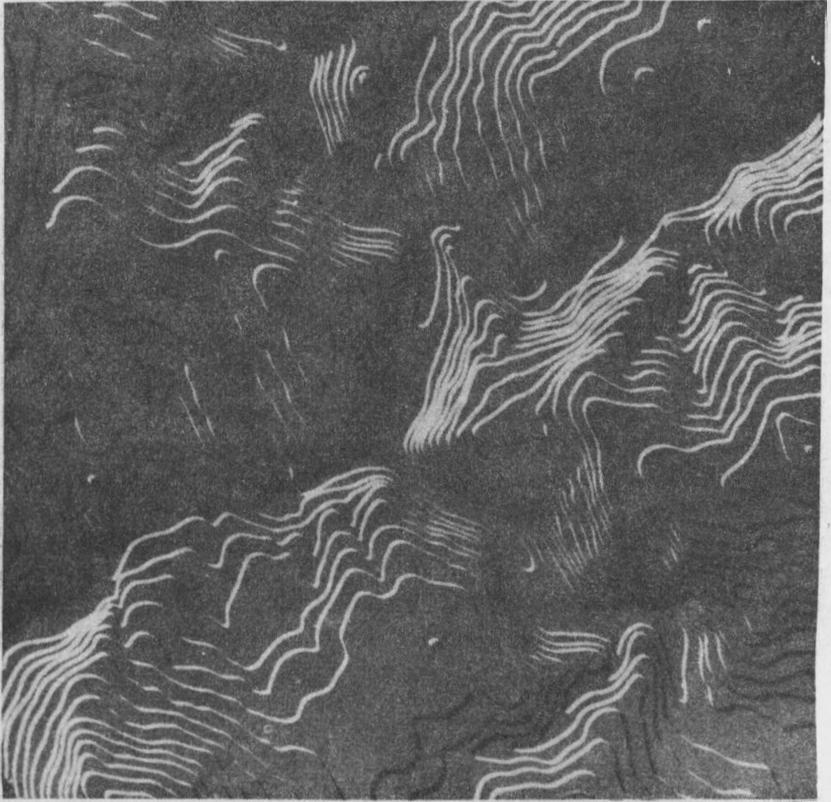


Abb. 4. Beispiel für Reliefschummerung nach TANAKA, abgeleitet aus einem digitalen Höhenschichtenmodell (NIESE und WEBER 1987)

Eine Reliefschummerung nach TANAKA ist in Abb. 4 dargestellt. Hierbei wird eine Beleuchtung des Reliefs aus Nordwest unter einem Einfallswinkel von 45° angenommen. In einer Hangneigungskarte wird die lokale Reliefneigung durch den Grauwert der dortigen Pixel veranschaulicht. In einer Hangrichtungskarte hingegen variiert der Grauwert der Pixel mit dem Azimut der Falllinien. Was die kontinuierliche Reliefschummerung betrifft, so kann man diese

ganz einfach durch digitale Überlagerung der Hangneigungskarte mit der Hangrichtungskarte erhalten. Dabei ist zu jedem Pixel ein Grauwert zuzuordnen, der nach dem gewählten Schummerungsgesetz zu dem betreffenden Grauwertpaar der beiden Karten gehört. Das Verfahren zur automatischen Herstellung der Reliefschummerung ist für die Praxis bedeutsam.

4. Schlußbemerkungen

In den letzten Jahren sind die Möglichkeiten zur digitalen Datenerfassung, -verarbeitung und -speicherung sowie zur Datenvisualisierung und graphischen Datenausgabe enorm gewachsen. Um künftigen Anforderungen aus allen Anwendungsbereichen zu genügen, werden deshalb landesweite digitale Reliefmodelle aufgebaut. Sie bilden zugleich einen Baustein für digitale topographische Informationsmodelle (digitale Landschaftsmodelle), automatisierte kartographische Systeme und Geoinformationssysteme.

Die Daten hierfür werden entweder durch direkte Messungen (topographische Aufnahme, photogrammetrische Verfahren) oder durch Digitalisierung von Analogdarstellungen (Höhenlinien, Höhenprofile) gewonnen. Aus ihnen werden bisher gerechnete Höhenrastermodelle erzeugt, weil sie sich, wie schon oben erwähnt, günstig speichern und weiterverarbeiten lassen. Beispielsweise wurde für das Land Baden-Württemberg (BRD) ein regelmäßiges 50-m-Rastermodell mit ca. 16 Mio Höhenpunkten aus digitalisierten Höhenprofilen erstellt, das aus Dateien für die Gebiete der Topographischen Karte 1:50 000 (ca. 25 km x 28 km) besteht (SIGLE 1985). Auf Grund von Untersuchungen (LEBERL u.a. 1984) wurde für Österreich vorgeschlagen, ein digitales Reliefmodell mit einer Rasterweite von 1" (30 m) zur Österreichischen Karte 1:50 000 aus digitalisierten Höhenlinien abzuleiten, d. h. 8×10^5 Höhenpunkten je Kartenblatt. Viele Beispiele für die Erstellung landesweiter digitaler Höhenmodelle könnten angegeben werden, insbesondere, wenn man berücksichtigt, daß diese beim Aufbau digitaler topographischer Informationsmodelle mit geschaffen werden.

Literatur

- ADAMEČ, V.; ROUBAL, R.: Hohe Tatra, Touristenführer. Bratislava: SPORT 1980
- DOUGLAS, D.H.: Experiments To Locate Ridges and Channels To Create A New Type of Digital Elevation Model. The Canadian Surveyor, Ottawa 41 (1987) 3, S. 373 - 406
- DÜSEDAU, G.; HÖSSLER, R.; REINHARDT, W.; THIEMANN, R.: Digitale Geländemodelle - Neue Entwicklungen und Möglichkeiten. Bildmess. u. Luftbildwesen, Karlsruhe 55 (1987) 5, S. 175 - 194
- GIEBELS, M.; WEBER, W.: Höhenliniendigitalisierung nach Verfahren der Raster-Datenverarbeitung. Nachr. Kt.-u. Vermess.-Wesen R.I. Frankfurt/M. (1982) 88, S. 61 - 75
- HAKKE, G.: Kartographie I. 6., Neubearb. Aufl. Berlin; New York: Walter de Gruyter 1982
- HAKKE, G.: Kartographie II. 3., Neubearb. Aufl. Berlin, New York: Walter de Gruyter 1985
- IMHOF, E.: Cartographic Relief Presentation. Ed. by H.J. Steward. Berlin; New York: Walter de Gruyter 1982
- LEBERL, F.; GLÄNZER, S.; BEER, M.: Herstellung sehr dichter Höhenraster aus digitalisierten Schichtenlinien. Z. Vermess.-Wesen, Stuttgart 109 (1984) 1, S. 27 - 34
- NIESE, D.; WEBER, W.: Vektorisierte Rasteralgorithmen zur Verarbeitung von Höhenschichten. Nachr. Kt.-u. Vermess.-Wesen R.I. Frankfurt/M. (1987) 99, S. 121 - 142
- OGRISSEK, R. (Hrsg.) Brockhaus abc Kartenkunde. 1. Aufl. Leipzig: VEB F.A. Brockhaus Verlag 1983
- PRASOLOV, V.N.: Ob odnom iz variantov avtomatizirovannoj obrabotki izobraženija rel'efa. Geodezija i Aerofotos'emka, Moskva (1987) 4, S. 94 - 99
- SIGLE, M.: Das digitale Höhenmodell für das Land Baden-Württemberg. Nachr. Kt.-u. Vermess.-Wesen R.I. Frankfurt/M. (1985) 95, S. 143 - 154
- WEBER, W.: Hierarchische Grauwertverarbeitung in Kartographischen Rasteralgorithmen. Nachr. Kt.-u. Vermess.-Wesen R.I. Frankfurt/M. (1986) 97, S. 85 - 108
- WU, HE-HAI: Prinzip und Methode der automatischen Generalisierung der Reliefenformen. Nachr. Kt.- u. Vermess.-Wesen R.I. Frankfurt/M. (1981) 85, S. 163 - 174

Geomorphologische Bearbeitungen von
digitalen Reliefmodellen

R. Böhm

VEB Robotron-Vertrieb Berlin

Zusammenfassung

Aus digitalen Reliefmodellen im Rasterformat lassen sich mit relativ einfachen Verfahren der digitalen Bildverarbeitung verschiedene geomorphologisch interpretierbare Verarbeitungsergebnisse erzeugen. Ausgehend von partiellen Ableitungen der Höhendaten lassen sich die Beträge und die Richtungen der Hangneigungen berechnen. Mehrfache partielle Ableitungen gestatten Aussagen über Geländekrümmungen. Es werden verschiedene Algorithmen und Verarbeitungsergebnisse vorgestellt.

Краткий реферат

На основе рельефной модели в растровом формате можно получить, используя относительно простые методы обработки изображений, геоморфологически интерпретируемые результаты обработки. Исходя из частных производных значений высот, можно определить величины скосов склонов. Частные производные выше первого порядка позволяют делать выводы о выпуклостях и вогнутостях рельефа. Представлены различные алгоритмы и результаты обработки.

Summary

Image processing algorithms permit some geomorphological analyses of digital relief models in raster form. Based on partial derivations of relief data slope gradient and slope direction can be computed. Multiple derivations allow the calculation of relief curvature. Some algorithms and processing results will be described.

Das Bildverarbeitungssystem Robotron A 6472, bisher auf dem Gebiet der Fernerkundung der Erde vornehmlich zur Bearbeitung von Luft- und Weltraumbildern eingesetzt, eignet sich auch recht gut zur Verarbeitung von Daten, welche keine Strahlungs- oder Reflexionscharakteristika der Erdoberfläche repräsentieren.

Aus Bildern, deren Punkte Geländehöhen repräsentieren, lassen sich eine Reihe geomorphologisch interpretierbare Ergebnisse ableiten.

Theoretische Vorbemerkungen

Die Höhe von Punkten der Erdoberfläche läßt sich als Funktion von zwei Veränderlichen beschreiben:

$$h = f(x, y).$$

Wenn es auch sicher wenig sinnvoll sein dürfte, diese Funktion explizit beschreiben zu wollen, bilden dennoch Ableitungen dieser Funktion nach den einzelnen Koordinatenrichtungen einen Ansatz zu geomorphologischen Untersuchungen.

Die beiden ersten partiellen Ableitungen f_x und f_y wählen aus den ∞^2 möglichen Ebenen, welche sich an einen Geländepunkt legen lassen genau die Tangentialebene aus. Sie haben aber den Nachteil, daß sie nicht invariant gegenüber Richtungsänderungen (Drehungen des Koordinatensystems) sind.

Mit den Ansätzen

$$(1) \quad b = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

und

$$(2) \quad r = \arctan\left(\frac{f_x}{f_y}\right)$$

lassen sie sich in richtungsinvariante Merkmale überführen:

Hangneigungsbetrag (b)

und

Hangneigungsrichtung (r).

Aussagen über Geländekrümmungen lassen sich durch erneutes Differenzieren gewinnen. Die 3 zweiten Ableitungen f_{xx} , f_{xy} und f_{yy} wählen gemeinsam mit den ersten Ableitungen (f_x und f_y) aus den ∞^5 möglichen Flächen zweiten Grades, welche sich durch einen Geländepunkt legen lassen, genau die Fläche aus, welche sich dem Gelände am besten anschmiegt. Auch die zweiten Ableitungen sind koordinatenrichtungsabhängig. Die Ableitung richtungsinvarianter Merkmale ist sicher möglich, diese können aber recht verschieden definiert werden: Aus der Geomorphologie sind Vertikalkrümmung (Konvexität) und Horizontalkrümmung (Konvergenz) bekannt /1/, die Differentialgeometrie unterscheidet Haupt- und Nebenkrümmungen von Flächen. (In beiden Fällen müßte noch ein drittes Merkmal hinzugezogen werden, um die zweite Ableitung vollständig zu beschreiben.) Ferner sei auf Merkmale wie die sicher geomorphologisch interpretierbare Gaußsche Krümmung und die Windschiefe hingewiesen.

Die Vertikalkrümmung läßt sich mit dem Ansatz

$$(3) \quad v = \sqrt{f_{xx}^2 + f_{yy}^2}$$

berechnen.

Praktische Versuche

Als Ausgangsmaterial diente ein digitales Reliefmodell der Größe 512 x 512 Bildpunkte, welches freundlicherweise vom Kombinat Geophysik Leipzig bereitgestellt wurde (Abb. 1). Die horizontale Auflösung beträgt ca. 125 m, die Höhenauflösung 3 m. Die Abbildungen zeigen einen Ausschnitt mit dem Elbtaldurchbruch zwischen Dečín und Bad Schandau. Recht deutlich sind der Hohe Schneeberg (Dečinský Sněžník; im linken unteren Bildteil), das Massiv des Grossen Winterberges (oben rechts) und der Rosenberg (Růžovský v., am rechten Bildrand) zu erkennen.

Das Differenzieren des Höhenmodells F erfolgt durch punktweise Differenzbildung der jeweils rechten/linken bzw. oberen/unteren Nachbarn aller Bildpunkte F :

$$FX = \frac{1}{2} (F_{i+1,j} - F_{i-1,j}) ; i, j = 0 \dots 511$$

$$FY = \frac{1}{2} (F_{i,j+1} - F_{i,j-1}) ; i, j = 0 \dots 511.$$

FX und FY sind die Bilder mit den beiden ersten Ableitungen. Die Division durch 2 erfolgt zur Vermeidung von Überläufen. Der nächste Schritt

$$B_{i,j} = \sqrt{FX_{ij}^2 + FY_{ij}^2} ; i, j = 0 \dots 511$$

liefert den Betrag der Hangneigungen. Das Ergebnis ist in Abb. 2 wiedergegeben. Für die Grafikdruckausgabe wurden die Hangneigungsbeträge 4 Klassen zugeordnet, welche allerdings (bedingt durch die horizontale Auflösung) etwas verfälscht sein können.

Um Formel (2) anwenden zu können, mußten zunächst Divisionen durch 0 ausgeschlossen werden. Da dies im ebenen Gelände der Fall ist, wurde eine Maske erzeugt, welche alle Bildpunkte markiert die mindestens 3 Nachbarn mit gleichem Höhenwert besitzen (Abb. 3). Die punktweise Berechnung mit (2):

$$R = \arctan\left(\frac{FX}{FY}\right) ; i, j = \emptyset \dots 511$$

und anschließende "Maskenkopie" mit Abb. 3 lieferte Bild 4. Für den Grafikdruck wurde die Anzahl der signifikant unterscheidbaren Hangneigungsrichtungen von ca. $2\emptyset \dots 4\emptyset$ auf die 4 Himmelsrichtungen eingeschränkt.

Als Beispiel für eine zweifache Ableitung sei in Abb. 5 eine Darstellung der Vertikalkrümmung wiedergegeben. Die Berechnung erfolgte in folgenden Schritten:

• zweites Differenzieren:

$$FXX_{ij} = \frac{1}{2} (FX_{i+1,j} - FX_{i-1,j}) ; i, j = 0 \dots 511$$

$$FYY_{i,j} = \frac{1}{2} (FY_{i,j+1} - FY_{i,j-1}) ; i, j = 0 \dots 511$$

• geometrische Addition:

$$V_{i,j} = \sqrt{FXY_{i,j}^2 + FYY_{i,j}^2} ; i, j = 0 \dots 511.$$

Schlußbemerkungen

Die Versuche haben die Eignung relativ einfacher Bildverarbeitungsalgorithmen für geomorphologische Untersuchungen an Hand digitaler Reliefmodelle im Rasterformat bestätigt.

Durch die Nutzung des Bildverarbeitungssystems Robotron A 6472 liegen die Rechenzeiten im Bereich von 0.1 s (Bildsubtraktion) bis 20 s (Division), wodurch die Ableitung verschiedener Merkmale aus Höhendaten, welche ohne Rechentechnik nur mit sehr hohem Zeitaufwand möglich ist, in rascher Folge mit verschiedenen Parametern erfolgen kann.

Im Gegensatz zu anderen Bereichen der digitalen Bildverarbeitung (z. B. Visualisierungsaufgaben) sind die angegebenen Verfahren relativ empfindlich gegenüber Digitalisier- und Rundungseffekten, so daß auf eine möglichst hohe Rechengenauigkeit Wert gelegt werden sollte. Auf weitere Einsatzgebiete wie z. B. der Ableitung von kartographischen Geländedarstellungen /2/ aber auch auf mögliche Analysen anderer Daten (rezente Erdkrustenbewegungen, meteorologische Daten, Dichtewerte aller Art usw.) sei an dieser Stelle nur hingewiesen.

Literatur

- /1/ KRCHO, J.: Teoretická koncepcia komplexného digitalného modelu reliefu (KDMT).
Geographica Nr. 23 (Acta Facultatis rerum naturalium universitatis comenianae)
Slovenské pedagogické nakladateľstvo,
Bratislava, 1984
- /2/ BRASSEL, K: Modelle und Versuche zur automatischen Schräglichtschattierung
Zürich: 1973

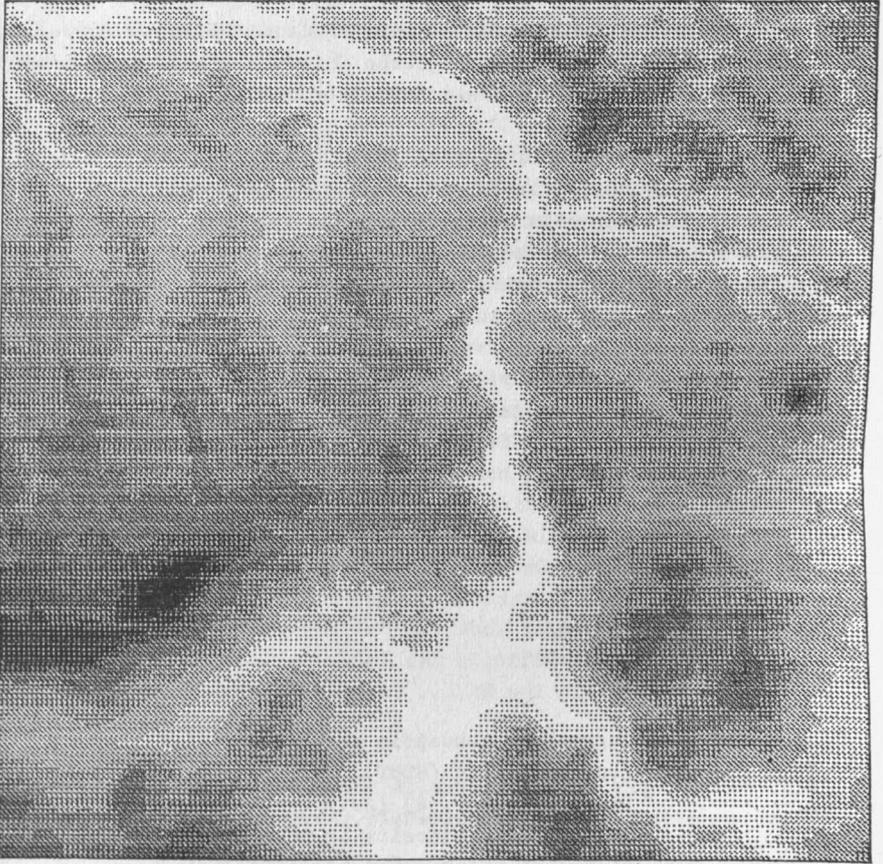
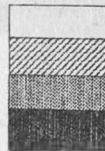


Abb. 1
Digitales Höhenmodell. Im Original 256 Graustufen, durch Grafikdruck
entstehen 10 Höhenschichten



Abb. 2
Hangneigungsbeträge



bis ca. 4°
ca. 4° ... 15°
ca. 15° ... 30°
über 30°

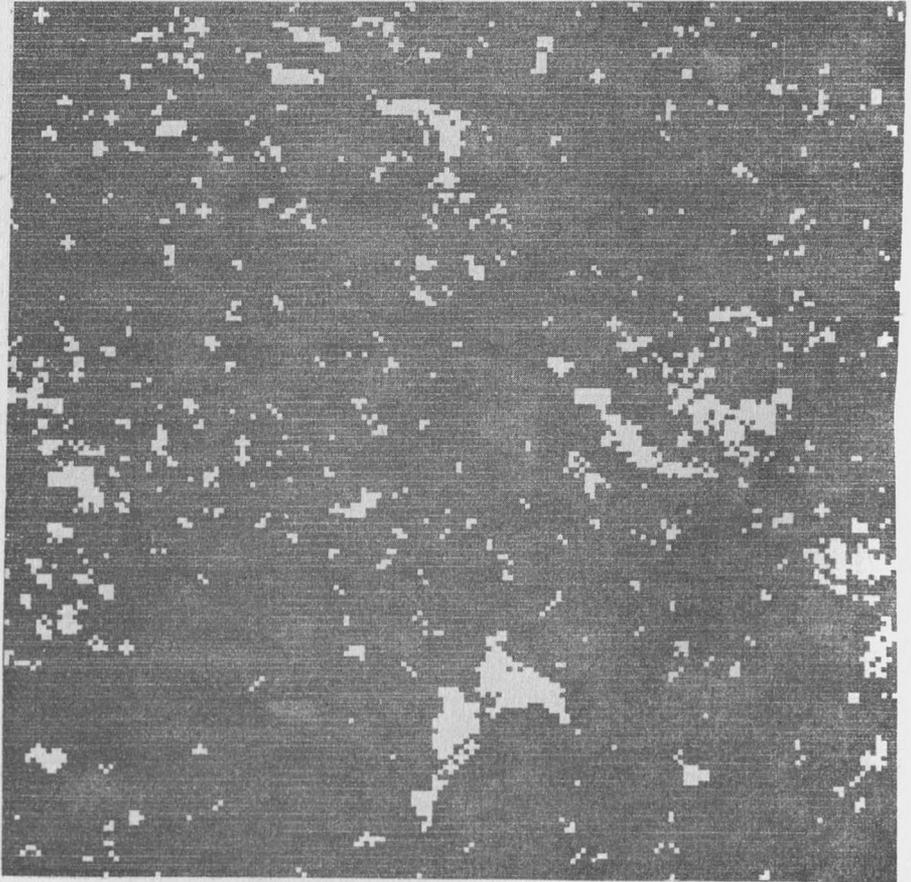


Abb. 3
Horizontale Ebenen (diese weiß, Hänge schwarz)

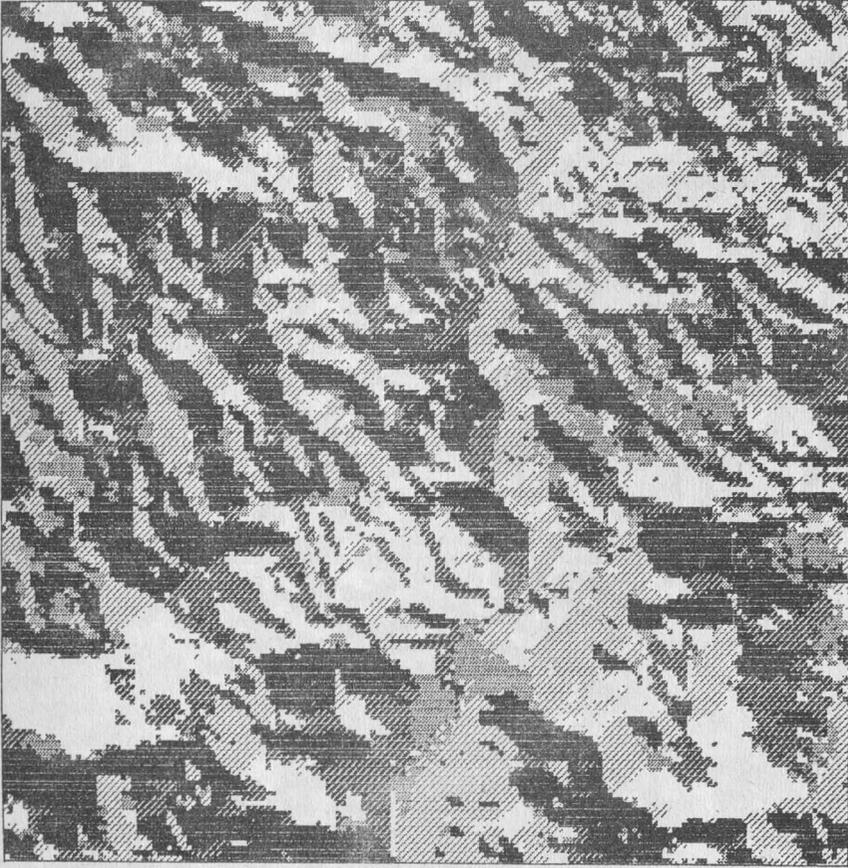
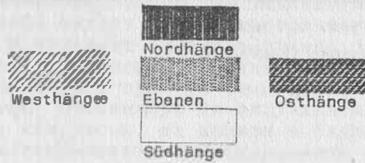


Abb. 4
Hengneigungsrichtungen



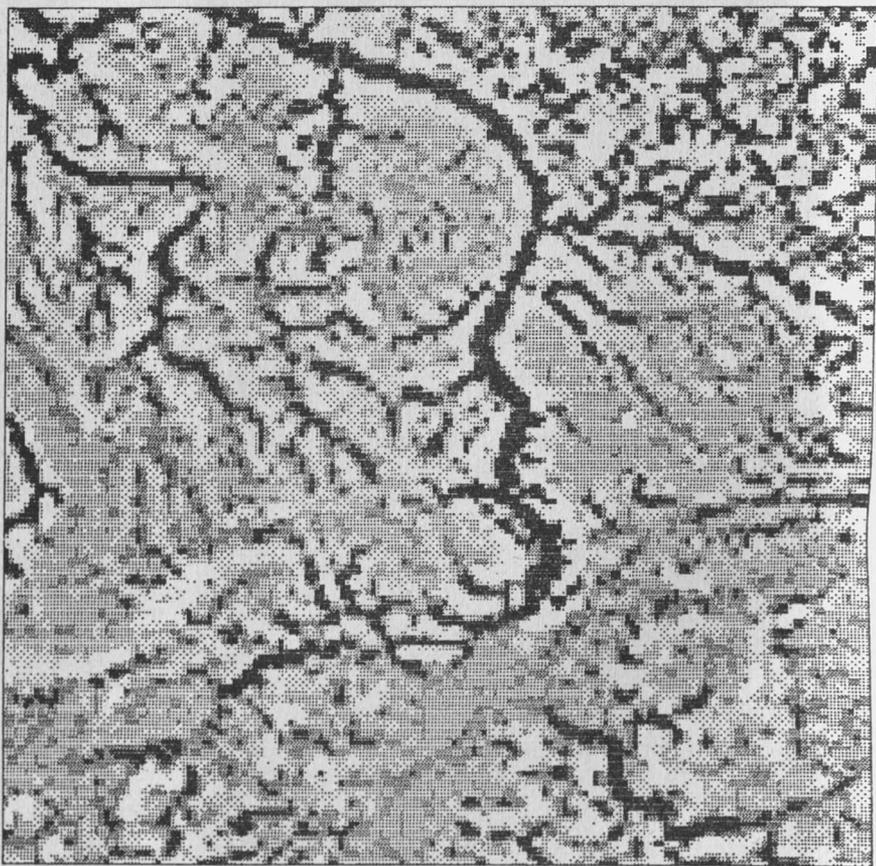
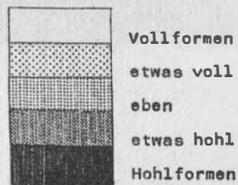


Abb. 5
Vertikalkrümmung (Konvexität)



J. NEUMANN

Tschechoslowakische Akademie der Wissenschaften
Institut für Informationstheorie und Automatisierung, Prag

Zusammenfassung

Das digitale Geländemodell der Erdoberfläche bildet einen untrennbaren Bestandteil der Geoinformationssysteme. Es besitzt ein breites, durch analytische, technologische und interpretative Aufgaben geschaffenes Anwendungsfeld. Die Technologien zur Schaffung des digitalen Geländemodells werden auf photogrammetrische oder kartometrische Verfahren orientiert. Unter Bedingungen des einmaligen Aufbaus eines Geoinformationssystems für eine flächenbegrenzte Gebietseinheit kann eine einfache Technologie der Schaffung des digitalen Geländemodells vorteilhaft angewandt werden. Diese Technologie beruht auf visueller Ablesung von Höhen aus einer Karte nach einem Gitternetz, ihrer manuellen Eintragung in Formulare und nachfolgender automatisierter Überführung der eingetragenen Daten durch das System für optisches Zeichenlesen in die Form einer digitalen Magnetbandaufzeichnung.

Summary

The digital terrain model of the earth surface makes an integral part of geo-information systems and may be widely applied to solving analytical, technological and interpretational tasks. The digital terrain model results from photogrammetrical or cartometrical processes. When a single geo-information system is needed covering a territorial unit of limited acreage, a simple technology of making the digital terrain model offers great advantages. Here, the heights are visually read from the square net in the map and manually enlisted into forms, the entries then being automatically put, by an optical character recognition system, into digital model notations on the magnetic tape.

Резюме

Цифровая модель рельефа земной поверхности представляет неотъемлемую составную часть геoinформационных систем. Она имеет широкое поле применения, создаваемое задачами аналитическими, технологическими и задачами интерпретации. За технологиями создания цифровой модели рельефа следят фотограмметрические или картометрические процессы. В условиях одновременного создания геoinформационной системы для территории, ограниченной в отношении площади, можно выгодно применить простую технологию подготовки цифровой модели рельефа, основанную на визуальном считывании высот с карты по сети квадратов, их записи в бланки вручную и на последующем автоматизированном преобразовании этих записей посредством системы для оптического распознавания символов в форму цифровой записи модели на магнитной ленте.

1. Das Relief der Erdoberfläche und sein digitales Modell

Das Relief der Erdoberfläche bildet eines der Grundphänomene eines Gebietes. In seinen Formen widerspiegeln sich die Ergebnisse einer Reihe von Naturprozessen, und es wirkt auch auf manche Naturerscheinungen und -objekte. Sehr wichtig sind auch die Wechselbeziehungen zwischen dem Menschen und dem Relief. Einerseits beeinflußt die Gestalt der Erdoberfläche die Prozesse der menschlichen Erkenntnis eines Gebietes und die Entscheidung des Menschen bezüglich der Eingriffe in die in Zeitraumdimensionen verlaufenden Prozesse. Andererseits drückt dieser dem Relief durch seine Tätigkeit die neuen, anthropogenen Formen als Ergebnis seiner Entscheidungen über die Gestaltung eines Gebietes auf. Deshalb bilden gegenwärtig die Informationen über das Relief der Erdoberfläche einen wichtigen Bestandteil der Bezugsgrundlage der territorialorientierten gesellschaftlichen Erkennungs- und Entscheidungsaktivitäten.

Diese Bezugsgrundlage wird durch ein auf hochentwickelter Rechen-technik basiertes Geoinformationssystem (GIS) repräsentiert, in das die reliefbezogenen Informationen in Form eines digitalen Geländemodells (DGM) eingeführt werden. Viele wissenschaftliche Forschungsanstrengungen wurden in der letzten Zeit der Analyse der optimalen Struktur von DGM gewidmet mit dem Ziel, das höchste Niveau des Informationspotentials zu erreichen. In der Praxis überwog jedoch bei der Schaffung eines GIS der Akzent auf ökonomische und technologische Aspekte. Demzufolge werden die meisten tatsächlich betriebenen DGM in Form einer Matrix von im objektiv definierten Höhensystem gegebenen Erdrelieffhöhen gebildet. Die Zeilen und Spalten dieser Matrix sind parallel zu den Achsen eines ebenso objektiv bestimmten Lagesystems und haben äquidistante, in der Regel in Abhängigkeit von der vertikalen Gliederung des darzustellenden Reliefs gewählte Abstände.

2. Grundrichtungen der Anwendung des digitalen Geländemodells

Das DGM repräsentiert im gegenwärtigen GIS eine Informationsbasis für die automatisierte Lösung eines breiten Kreises von raumbezogenen Aufgaben. Prinzipiell handelt es sich um Aufgaben von

dreierlei Art: analytische, technologische und interpretative.

2.1. Analytische Aufgaben

Analytische DGM-Anwendungen umfassen einerseits die Aufgaben vom allgemeinen geomorphologischen Charakter, andererseits die aus der unmittelbaren Fachrichtung des gegebenen GIS resultierenden thematischen Aufgaben. Die allgemeinen geomorphologischen Aufgaben werden in erster Linie auf die morphometrische Analyse orientiert, die herkömmlich die Gesetzmäßigkeiten der Verteilung von Reliefhöhen sowie andere reliefbezogene Aspekte behandelt / 1 /. Zwischen diesen Aufgaben sind insbesondere diejenigen von Bedeutung, die die Umformung des Höhenfeldes des Reliefs auf das Feld von Reliefneigungen und -krümmungen und die nachfolgende Analyse ihrer Regelmäßigkeiten betreffen. Die Lösung dieser Klasse von Aufgaben hat insbesondere in den letzten Jahren zu einer interessanten Rationalisierung geführt / 2 /. Ein verhältnismäßig neuer Bereich der Anwendungsarten von DGM wird durch die Aufgaben der Analyse von Reliefformen repräsentiert, die auf Prinzipien von Strukturmethoden der Bilderkennung basieren und die sich an den topologischen Aspekt des Reliefs anlehnen. Deren ständige Entwicklung kann seit den sechziger Jahren verfolgt werden / 3 /. Abgesehen davon, gehen die meisten analytischen Anwendungen von der Reliefmetrik aus, während der topologische Aspekt bisher als wichtige Informationsreserve bleibt.

Das zweite Gebiet im behandelten Anwendungsbereich des DGM nehmen die analytischen Aufgaben auf dem Relief ein, die auf den Hauptanwendungsbereich des gegebenen GIS gerichtet sind. Die zahlreichen Beispiele können im für den Bedarf der Geologie aufgebauten GIS begegnet werden, die anderen finden Anwendung im zu meteorologischen Zwecken geformten GIS und dgl. Auch im zur Befriedigung der Informationsbedürfnisse der Landwirtschaft vorbereitenden GIS können mehrere spezifische Beispiele der analytischen Anwendungen von DGM gefunden werden. Es handelt sich z.B. um die Klassifikation der landwirtschaftlichen Grundstücke nach ihrer Bonität, die auch von Neigungs- und Expositionsbedingungen des Reliefs abhängig ist / 4 /. Das DGM findet auch bei der Analyse des Einflusses des Reliefs auf die Ergänzung von Bestän-

den der Bodenfeuchtigkeit / 5 / sowie bei Analysen des Fixationsmaßes von Düngern an Boden unter verschiedenen Neigungsbedingungen Anwendung / 6 /. Bedeutsam für die praktische Funktionsweise eines solchen GIS ist auch die Möglichkeit der Analyse der Abhängigkeit der Erträge der landwirtschaftlichen Pflanzen von Besonderheiten des Reliefs der betreffenden Felder / 7 / und manch anderen Landwirtschaftsanwendungen, die die wichtige Rolle des GIS als Mittel der thematisch orientierten raumbezogenen Analysen bestätigen.

2.2. Technologische Aufgaben

In technologischer Hinsicht kommt das DGM insbesondere in einem modernen GIS, in dem die anspruchsvolle Herstellung und Erneuerung von Informationsbasen unter rationeller Nutzung der aerokosmischen Erkundung des Gebietes durchgeführt wird, zur Geltung. Die Luft- und Satellitenbilder sind mit vielen Verzerrungen behaftet, von denen einige vom Relief des abgebildeten Gebietes herrühren. Die Elimination dieser Verzerrungen ist Gegenstand der geometrischen und radiometrischen Bildentzerrung, die an Hand der Digitalmethoden unter Nutzung von DGM automatisiert werden kann. Bei der geometrischen Bildentzerrung wird das DGM unmittelbar als Informationsquelle über den Höhenunterschied zwischen dem laufenden Punkt des abgebildeten Gebietes und der ausgewählten Bezugsfläche, der eines der Argumente für die Bestimmung von Radial- und Querverschiebungen zur Korrektur von Bildpunkten ist, genutzt / 8 /. Bei der automatisierten radiometrischen Bildentzerrung wird es als eine der Eingabesätze der lokalen Neigungs- und Expositionscharakteristiken des Reliefs, die im Sinne von 2.1. eine transformierte Form von DGM vorstellen, genutzt / 9 /. Mit Rücksicht darauf, daß bei der Errichtung des GIS die Fernerkundung nur einen qualifizierten Dienst durch Lieferung von objektiven, entzerrten territoriumsbezogenen Informationen leisten kann, stellt die angedeutete technologische Anwendung von DGM eine der Realisierungsbedingungen der gegenwärtigen GIS-Entwicklungsvorhaben dar. Die Kompliziertheit der Widerspiegelung von Radiationsverhältnissen eines Gebietes in aerokosmischen Bildern verursacht, daß die Elimination der Verzerrungseinflüsse

keine geschlossene technologische Angelegenheit, sondern Gegenstand der weiteren Forschung ist / 10 /, in der das DGM eine weitere Anwendung finden kann.

2.3. Interpretationsaufgaben

Die Interpretationsaufgaben bilden eine breite Klasse von DGM-Anwendungen, in welcher wenigstens zwei markante Gruppen identifiziert werden können, nämlich die kartographischen und die übrigen. Die Lösung dieser Aufgaben lehnt sich entweder direkt an das DGM oder an die Ergebnisse seiner analytischen bzw. technologischen Bearbeitung an. Die kartographischen Anwendungen beinhalten vor allem die Herstellung eines Höhenlinienbildes des Reliefs. Seine auf dem DGM basierte rechnergestützte Generierung besitzt manche Varianten, von genauen und zeitaufwendigen Verfahren angefangen / 11 / bis zu diesen von geringer Genauigkeit, jedoch von großer Beweglichkeit / 12 /. Die häufigsten kartographischen Anwendungen von DGM bestehen in der automatisierten Schattenschummerung eines Höhenlinienbildes des Reliefs / 13 / sowie in der Bildung einer Reihe anderer kartographischer Modelle, welche die durch analytische Verfahren aus dem DGM abgeleiteten Parameter sowie deren Verhältnisse zu anderen Gebietselementen darstellen / 14 /.

Zunehmend werden andere auf DGM beruhende Interpretationsaufgaben gelöst. Eine besondere Bedeutung bei der anschaulichen Vermittlung von GIS-Ausgaben gewinnt ihre dreidimensionale axonometrische Abbildung / 15 /, die auch eine Problemlösung der Abgrenzung von beschatteten Territorialzonen beinhaltet / 16 /. Auch die Anzahl der Anwendungen von DGM bei der Interpretation von aerokosmischen Bildern eines Gebietes wächst ständig. Das Modell bestätigt sich bei der automatisierten Herstellung der synthetischen Stereopaare von Satellitenbildern / 17 / und als eine zur Qualitätssteigerung der Bildinterpretation beitragende Ergänzung des Satellitenbildes eines Gebietes / 18 /. Am Ausgang der technologischen Anwendung von DGM können als eine der möglichen Interpretationen auch die Orthophotos gewonnen werden, die die geometrisch korrigierten aerokosmischen Bilder eines Gebietes repräsentieren / 19 /.

Aus dem angeführten kurzen Überblick der analytischen, technologischen und interpretativen DGM-Anwendungen ist offensichtlich, daß für ihre automatisierte Realisierung eine ausreichende Algorithmen- bzw. Software-Basis zur Verfügung steht. Ein Nachteil ist jedoch, daß diese in der Regel an verschiedenen Stellen ad hoc für einzelne Probleme oder Problemgruppen aufgebaut wird, wobei keine einheitliche Systemauffassung besteht. Demzufolge besteht die Prioritätsaufgabe bei der Entwicklung von DGM-Anwendungen im Rahmen eines GIS in der Schaffung einer einheitlichen Konzeption. In Anlehnung an diese Konzeption wird es dann möglich, ein System von allgemeinen Programmmodulen zu formen, zu denen die beabsichtigten Anwendungsprogramme entwickelt werden.

3. Schaffung des digitalen Geländemodells

Die Schaffung von DGM stellt eine ökonomisch anspruchsvolle Aufgabe dar, und deshalb lohnt es sich, ihre Lösung erst nach gründlicher Identifizierung des entsprechenden Anwendungsfeldes im Rahmen des aufgebauten GIS zu realisieren. Die allgemeine GIS-Beschaffenheit prädestiniert auch das Verfahren zur Schaffung von DGM.

3.1. Grundtechnologie

In den letzten Jahren wurde als Ergebnis der Anstrengungen nach Ausnutzung des DGM-Informationspotentials eine beträchtliche Menge von Verfahren zu seiner Schaffung entwickelt, wobei die einzelnen Lösungen nach Ausdehnung des Modellraums sowie nach anderen Parametern voneinander abweichend sind. Gegenwärtig werden die DGM prinzipiell entweder photogrammetrisch aufgrund der aerokosmischen Aufnahme eines Gebietes oder durch kartometrische Verfahren unter Nutzung der hypsometrischen Karte des Gebietes generiert. Die photogrammetrischen Verfahren zur Bildung von DGM wurden durch den Einsatz von digitalen Bildkorrelationsgeräten im Auswertungsprozeß von Stereobildpaaren weitgehend automatisiert. Dennoch sind diese auch mit negativen Attributen belastet, zu denen hohe Kosten der benutzten Gerätetechnik,

objektiv begründete, zur Notwendigkeit der Kontrolle und Verbesserung der Ergebnisse führende Fehlerhaftigkeit / 20 / und andere gehören. Demzufolge wird die Schaffung von DGM auf kartometrische Verfahren orientiert, die überdies den Vorteil der Nutzung von verfügbaren, mit anderen GIS-Elementen koordinierten Reliefbildern eines Gebietes anbieten.

Die Anstrengung nach Automatisierung von kartometrischen Verfahren zur Schaffung von DGM führte zur Digitalisierung von Höhenlinien einer hypsomtrischen Karte durch manuelle Nachführung der Meßmarke eines Vektor-Digitalisiergerätes. Der Arbeitsaufwand dieser Methode führte später zum Übergang zu einem Scanner. Der rationelle Einsatz von Scannern wurde jedoch oft durch sehr aufwendige manuelle Aufbereitung der abgetasteten hypsomtrischen Karte bedingt / 21 / und konnte die komplizierte rechnergestützte Umformung der gewonnenen Digitalaufzeichnung in Form des zu schaffenden DGM nicht entbehren / 22 /. Dafür hat sich auf diesem Gebiet die Nutzung von Rasterdigitalisierung der hypsomtrischen Karte mit nachfolgender interaktiver Bearbeitung der Ausgabedaten in Finalform von DGM in einer Technologie stabilisiert, deren Grundlagen bereits in den sechziger Jahren gelegt wurden / 23 /. Der Vorgang der Umformung eines Ausgangshöhenlinienbildes des Reliefs in die gewünschte Form von DGM ist nicht einmal bei diesem Verfahren einfach, und diese Tatsache regt das Suchen von neuen rationellen technologischen Varianten an.

3.2. Effektive technologische Variante

Die Rationalisierung der Schaffung von DGM ist offensichtlich auf eine höchstmögliche Verkürzung des Bearbeitungsprozesses der Höhenangaben in die Matrixform eines Modells gerichtet. Im Falle der GIS, die der intensiven Erkennungs- und Entscheidungstätigkeit in bezug auf eine flächenbegrenzte Gebietseinheit (z.B. einen landwirtschaftlichen Betrieb) dienen, und wenn die Schaffung von DGM lediglich eine einmalige Maßnahme darstellt, so hat sich die Technologie / 24 / als besonders effektiv bewährt, bei der zweckmäßig ein einfaches manuelles Digitalisierverfahren

mit Anwendung der zugänglichen Automatisierungstechnik kombiniert wird. Ihre Realisierung besteht in direkter visueller Ablesung von Höhen eines künftigen DGM in Knotenpunkten eines auf transparenter Unterlage aufgezeichneten Entnahmenetzes, das auf das Höhenlinienbild des Reliefs gelegt wird. Die abgelesenen Höhen werden dann manuell in Aufzeichnungsformulare eingetragen. Aus diesen werden die Daten automatisch unter Nutzung von einem System für optisches Zeichenlesen auf die zur weiteren rechnergestützten Verarbeitung geeignete digitale Magnetbandaufzeichnung überführt.

Als kartographische Unterlage wird dabei die Höhen-Druckvorlage einer möglichst detaillierten Karte des gegebenen Gebietes genutzt. Die benutzte Karte besitzt ein exakt definiertes Lage- und Höhensystem, in dem mindestens die Eckkoordinaten der Kartenblätter, die kartographischen Verzerrungen des Kartenbildes und die Genauigkeit der vermittelten Höhen der Erdoberfläche bekannt sind (für die CSSR / 25 / und / 26 /). In der Höhen-Druckvorlage wird für das Gebiet des geschaffenen GIS ein lokales rechtwinkliges Koordinatensystem definiert, in welches die Ecken aller benutzten Kartenblätter der Kartenunterlagen durch ein graphisch-numerisches Verfahren transformiert werden. Im auf diese Weise bestimmten lokalen Koordinatensystem werden dann die Eckkoordinaten der einzelnen Legungen des Entnahmenetzes berechnet, wobei die Netzzeilen bzw. -spalten zu der einen bzw. anderen Achse des GIS-Koordinatensystems parallel sind und in die gegebene kartographische Unterlage eingezeichnet werden. Jeder Legung des Entnahmenetzes wird dabei eine eigene Identifizierungsnummer zugeordnet, die die Lage der entsprechenden Submatrix im Rahmen des zu schaffenden DGM eindeutig bestimmt.

Das Entnahmenetz ist ein genaues, auf transparenter maßhaltiger Plastfolie durch einen Zeichenautomaten gezeichnetes Gitternetz. Der Netzlinienabstand ist in Abhängigkeit von der vertikalen Reliefgliederung so gewählt, daß bei gegebenem Quantisierungsschritt kein Verlust von der das gegebene Höhenfeld betreffenden relevanten Information entsteht. Zur Objektivierung dieser Wahl dient die morphographische Rayonierung eines Gebietes mit ausgewerteten statistischen Reliefcharakteristiken einzelner Zonen (für die CSSR / 27 /). Der auf dieser Basis bestimmte Netzlinien-

abstand wird in den Maßstab der Unterlagekarte mit Rücksicht auf die lokale Längenverzerrung des Kartenbildes überführt. Die Anzahl von Knotenpunkten in jeder Zeile und die Anzahl von Zeilen im Entnahmenetz ist nach der Anzahl dreiziffriger Höhenangaben (die voneinander mit einstelliger Lücke getrennt sind) in jeder Zeile des Aufzeichnungsformulars sowie nach der Gesamtanzahl Formularzeilen bestimmt. Das Aufzeichnungsformular hat eine nach Hardware- und Softwareausstattung des betreffenden Systems des optischen Zeichenlesens standardisierte Form, und die Aufzeichnungen von Höhen werden mit stilisierten Ziffern durchgeführt. Jedes Formular ist nach der Lage durch die Nummer einer Submatrix des resultierenden DGM identifiziert.

Der eigentliche Prozeß der Schaffung von DGM beginnt mit der Einpassung des Entnahmenetzes in das bestimmte Feld des Blatt-schnittnetzes auf der Höhenlinienunterlage und mit der Positionsfixierung. Die Reliefhöhen werden in Knotenpunkten mittels einer in der Richtung der überwiegenden Reliefneigung durchgeführten Interpolation am besten nach ganzen Zeilen oder Spalten mit einer Genauigkeit von rundem Meter abgelesen und ins Formular eingetragen. Dabei wird eine laufende Kontrolle der abgelesenen Höhen durch ihren Vergleich mit Angaben benachbarter Zeilen und Spalten durchgeführt. Besondere Aufmerksamkeit wird der Kontrolle von Angaben am Übergang zwischen einzelnen Legungen des Entnahmenetzes sowie an den Blattrandlinien benachbarter Kartenblätter der kartographischen Unterlage gewidmet. Die Umformung des Inhaltes der Aufzeichnungsformulare in die Form der digitalen Magnetbandaufzeichnung wird durch das System des optischen Zeichenlesens automatisch realisiert. Die Umformungsgeschwindigkeit ist z.B. beim System Scandata 2250 durch den Wert von 800 Zeichen je Sekunde charakterisiert. Die Zusammenstellung von Submatrizen zu einer Matrix des gesamten DGM wird aufgrund der Inzidenztabelle der Submatrizeinteilung rechnerisch durchgeführt. Der Aufbau eines experimentellen DGM mit einer Äquidistanz von 50 m für das Gebiet eines landwirtschaftlichen Betriebes im Ausmaß von etwa 8000 Hektar, welches durch 31500 Höhenangaben repräsentiert ist, wurde an Hand von dieser Technologie mit zwei Mitarbeitern innerhalb eines Monats vollständig realisiert, wobei die Kosten 10000 Kronen nicht überschritten.

4. Schlußfolgerungen

Die rechnerorientierten GIS erfuhren in den letzten Jahren einen beachtenswerten Umschwung, der immer neue Interessenten zu ihrer Entwicklung und Bildung anregt. Außer positiven Aspekten dieses Trends entsteht jedoch ein Risiko, daß beträchtliche ökonomische und intellektuelle Mittel auf betreffende Aktivitäten aufgewendet werden, ohne ihre vielfache Rückgewinnung durch rationelle Nutzung von GIS in Wissenschaft und Forschung sowie in der Erkennungs- und Entscheidungspraxis zu gewährleisten. Die auf die Bildung von DGM als organischem Bestandteil eines GIS gerichteten Tätigkeiten bieten jedoch die erforderliche Garantie mittels eines breiten Sortiments von tatsächlichen analytischen, technologischen und interpretativen Anwendungen an. Überdies deuten die experimentellen Erfahrungen an, daß sogar unter Bedingungen intensiver Entwicklung und Ausnutzung von automatisierten Verfahren zur Bildung und Nutzung des GIS das DGM zu sehr annehmbaren Kostenanforderungen als Ergebnis einer zweckmäßigen Kombination von herkömmlichen und modernen Verfahren geschaffen werden kann. Deshalb kann die Bildung und Nutzung des DGM als ein Muster für die effektive Schaffung und Anwendung anderer Bestandteile eines GIS betrachtet werden.

Literatur

- [1] ПИРИЕВ, Р.Х.: Методы морфометрического анализа рельефа
Элм - Баку 1986
- [2] PAPO, H.B., GELEMAN, E.: Digital terrain models for slopes and curvatures
Photogrammetr. eng. and rem. sens. 50(1984)
S.695-701
- [3] ГРЕЙСУХ, В.Л.: Возможность исследования формы рельефа на электронных вычислительных машинах (ЭЦВМ)
Изв. АН СССР, сер. геогр. 1986 S.102-110
- [4] KLEČKA, M. et al.: Bonitace čs. zemědělských půd a směry jejich využití, 1. díl
FMZVŽ - Praha, Bratislava 1984
- [5] HANNA, A.Y., HARLAN, P.W., LEWIS, D.T.: Effect of landscape position and aspect on soil water recharge
Agron. j. 75(1983) S.57-60

- [6] MAHLER, R.L., BEZDICEK, D.F., WITTERS, R.E.: Influence of slope position on nitrogen fixation and yield of dry peas
Agron.j. 71(1979) S.348-351
- [7] CIHA, A.J.: Slope position and grain yield of soft white winter wheat
Agron.j. 76(1984) S.193-196
- [8] LARSSON, J.: Rectification of digital images for remote sensing analysis
Fotogram.meddel. 2:43 (1980)
- [9] LEDREW, E., DUGUAY, C.: Radiation modelling in a high relief environment using a digital terrain model and Landsat-TM imagery
Univ. of Waterloo - Waterloo 1986
- [10] DAVE, J.V., BERNSTEIN, R.: Effect of terrain orientation and solar position on satellite-level luminance observations
Rem.sens.of envir. 12(1982) S.331-348
- [11] BUTLER, E.R.: Contour plotting of response surfaces
Oklahoma State Univ. - Oklahoma 1967
- [12] WARD, S.A.: Real time plotting of approximate contour maps
Comm. of the ACM 21 (1978) S.788-790
- [13] BATSON, R.M., EDWARDS, K., ELIASON, E.M.: Computer-generated shaded-relief images
J.res.U.S.Geol.surv. 3(1975) S.401-408
- [14] БЕРЛЯНТ, А.М.: Образ пространства: карта и информация
Мысль - Москва 1986
- [15] JUNKIN, B.G.: Development of three-dimensional spatial display using a geographically based information system
Photogrammet.eng.and rem.sens. 48(1982) S.577-586
- [16] BREME, H.J.: Contour map and terrain intervisibility processing: a literature survey
New York Univ., Lab.electrosoci.res.tech. rep.403-11 - New York 1970
- [17] BATSON, R.M., EDWARDS, K., ELIASON, E.M.: Synthetic stereo and Landsat pictures
Photogrammet.eng.and rem.sens. 42(1976) S.1279-1284

- [18] SEIDEL, K., ADE, F., LICHTENEGGER, J.: Augmenting Landsat MSS data with topographic information for enhanced registration and classification
IEEE transact.on geosci.and rem.sens. GE-21(1983) S.252-258
- [19] - - : Разработка алгоритмов и программ автоматизированного построения фотопланов на лист трапеции заданного масштаба на ЭВМ типа ЕС
Госцентр Природа - Москва 1989
- [20] HANNAH, M.J.: Error detection and correction in digital terrain models
Photogrammet.eng.and rem.sens. 47(1981) S.63-69
- [21] ПЕТРЕНКО, А.И.: Обработка графической информации на ЭВМ
Наукова думка - Киев 1974
- [22] ВАС, Р.Г., ВУДНЯК, А.А., ДЯДЮРА, В.А.: Алгоритм обработки геолого-геофизической информации на ЭВМ с применением устройства кодирования и воспроизведения карт
Сбор. Методы и устройства преобразования графической информации
Наукова думка - Киев 1968
- [23] SHEPHERD, W.H.: Automatic contour digitizer
Photogrammet.eng. 34(1968) S.75-82
- [24] NEUMANN, J.: Digitální model reliéfu území
Zpráva ÚTIA ČSAV č.1425 - Praha 1986
- [25] BÖHM, J.: Transformace souřadnic v geodesii
Typus - Praha 1948
- [26] KUČERA, K.: Kritéria přesnosti topografického mapování v měřítku 1:5 000 a 1:10 000
Sborník výzkum.prací VÚGTK IV (1962)
- [27] MARTINEK, M.: Některé základní kvantitativní údaje získané při morfografické typizaci reliéfu ČSSR
Geodet.a kartograf.obzor 16/58 (1970) S.293-298

Erfassung stadtlandschaftsökologisch bedeutsamer Freiflächen
für eine Problemdatei Landeskultur

H. WALDENBURGER
VEB Hermann Haack Gotha

W. FROTSCHER
Martin-Luther-Universität Halle
Sektion Geographie

Zusammenfassung

Stadtlandschaftsökologisch bedeutsame Freiflächen wurden in multispektralen, und darunter auch spektrazonalen Luftbildern auf der Grundlage visueller Interpretation unterschieden. Dabei wurden 5 Klassen Wasserflächen, 15 Klassen Vegetationsflächen und 4 Klassen vegetationslose versiegelte und unversiegelte Freiflächen sicher getrennt. Die gewonnenen Informationen über Flächenarten lassen sich in Datenspeicher zum Problembereich Landeskultur einspeisen. Dazu wird exemplarisch ein in der Territorialpraxis nachvollziehbares Verfahren der Umsetzung qualitativer und quantitativer Kennwerte für Raster-einheiten mittels Dokumator-Lesegerät erörtert.

Summary

Urban open space, which is significant in urban landscape ecology, got distinguished in multiband aerial photographs including spektrazonal aerial photographs on the base of visual interpretation. There were find out 5 classes of water areals, 15 classes of vegetation areas and 4 classes of barren of vegetation areas with respectively without the mark of water permeability. The information about types of areas can be feeded into data base systems of environmental control. A pertinent method of the convert of qualitative and quantitative marks for scanning unities is presented with the help of the film-reading device "Dokumator".

Резюме

С помощью визуальной интерпретации дифференцировались на многозональных, в том числе и спектрозональных аэроснимках незастроенные ареалы, имеющие значение для ландшафтной экологии города. Надёжно обособились 5 классов водных ареалов, 15 классов растительных ареалов и 4 класса водопроницаемых и водонепроницаемых незастроенных ареалов без растительности. Полученную информацию о видах ареалов можно ввести в банк данных по проблематике устройства окружающей среды. По этому вопросу рассматривается в качестве примера применяемый на территориальной практике способ превращения качественных и количественных показателей для растровых единиц с помощью прибора для чтения "Докуматор".

1. Zum Begriff "Freifläche"

Das Analyseobjekt "Freifläche" definieren KRAUSE u.a. (1980) als "exakt abgrenzbarer, nicht bebauter, (aber-H.W.) befestigter oder bewachsener oder unbewachsener Ausschnitt der natürlichen Grundfläche ... Der Freiflächenbegriff sagt nichts darüber aus, ob diese Flächen genutzt oder ungenutzt sind." Grundtypen ökologisch relevanter Oberflächenarten der Freiflächen sind

- versiegelte (= befestigte) Freiflächen
- unversiegelte (= offene) vegetationslose Freiflächen
- unversiegelte (= offene) Vegetationsfreiflächen
einschließlich baumüberschirmter Freiflächen
- Wasserflächen.

2. Zur Stellung stadtdlandschaftsökologisch bedeutsamer Analysen der Freiflächen mit Methoden der Geofernerkundung

Die Gewinnung von Kenntnissen über Typ und Zustand der interessierenden Freiflächen bedarf rationeller, d.h. zeit-, kosten- und arbeitskraftsparender Methoden. Die herkömmliche Geländeerhebung, z.B. bei BREUSTE (1986), gestaltet sich angesichts der Breite der inhaltlichen Ausstattung mit vielfältigen Merkmalnuancen, eine oftmals geringe Größe und das feine Anordnungsmuster sowie die teilweise natürliche oder rechtsträgerisch eingeschränkte Begehbarkeit und Erfassbarkeit als äußerst aufwendig. Hier nun rückt vor allem die Interpretation groß- und mittelmaßstäbiger Luftbilder als Informationsquelle ins engere Blickfeld. Sind die flächenhaften Indikatoren für die geforderte qualitative und quantitative Bestandaufnahme bestehender Strukturen (LESER 1976) und deren Laufendhaltung fernerkundungsspezifisch, sollten entsprechende Methoden gegenüber terrestrischen Erhebungen dominieren (DODT 1974). Werden hiermit nun Informationen über die areale Verteilung und relative Merkmalunterschiede abgebildeter Flächen betont, bleiben Teilaussagen einer inhaltlichen Kennzeichnung und Quantifizierung (z.B. abiotischer Standortmerkmale) überwiegend terrestrischen Erhebungen zugewiesen (BORMANN 1980). Über Luftbilder

hinaus verdienen die anderen Techniken der Fernerkundung, insbesondere das Thermalscanning, wachsende Beachtung für diesbezügliche Informationsbereitstellungen.

3. Das verwendete Luftbildmaterial

Die luftbildgestützten Untersuchungen an Freiflächen erfolgen am Beispiel von Testgebieten der ökologisch stark beanspruchten Stadtregion Halle. Dafür standen multispektrale und hierunter auch spektrazonele Transparentpositive einer Spezialbefliegung Anfang Juli 1985 zur Verfügung. Die vorliegenden Aufzeichnungen kennzeichnen folgende gravierende Abweichungen gegenüber internationalen Erfahrungen und Empfehlungen:

- der deutlich kleinere Aufnahmemaßstab von 1 : 24 800 im Gegensatz zu dem oft vorgeschlagenen und angewandten Maßstab von 1 : 10 000, der die Auflöschungsgrenze für kleinste Objekte unterschreiten könnte,
- der recht frühe Aufnahmetermin mit resultierenden Konsequenzen einer eingeschränkten Vitalitätsdifferenzierung von Vegetation gegenüber Ende Juli / August im Spektrazonalfilm,
- die geringe Bildüberlappung, die eine stereoskopische Auswertung ausschließt.

4. Visuell-gerätegestützte Erfassung und Kennzeichnung städtischer Freiflächen

Den Untersuchungen von Objekt-Abbild-Beziehungen der Freiflächen wurden Geländearbeiten, wie Kartierungen und multispektrale Fototests, aber auch Auswertungen weiterer Karten und spezieller Literatur und laborative Untersuchungen vorangestellt (vgl. WALDENBURGER 1987).

Die visuell-gerätegestützte Interpretation mittels Interpretoskop, Spiegelstereoskop und Dokumator-Lesegerät betrachtet die Bildmerkmale Grundriß, Grauton, Muster, Textur und Schatten sowie Lage und Vergesellschaftung als grundlegend für eine Erfassung und Kennzeichnung von Freiflächen. Ausgewählte Erkenntnisse werden nachfolgend verbal dargestellt.

Trotz des ausgezeichneten Auflösungsvermögens der Aufnahmen mit beeindruckender Konturenschärfe selbst bei über 20facher Vergrößerung bleiben kleine Gebüsche und jung angepflanzte

Bäume bei geringem Schattenwurf oft, auf vegetationsbestandenem Gras- und Staudenflächen gänzlich unaufgedeckt, ebenso ruderale Spontanvegetationsinseln mit einer Arealbreite kleiner als 0,5 m. Eine Unterscheidung ruderaler Gras- und Staudenflächen von flächendeckenden Gebüschpflanzungen, eine Trennung von Gebüsch und Gehölzen und eine Baumzählung in Beständen erscheinen im konkreten Bildmaterial wegen fehlender stereoskopischer Auswertbarkeit fast aussichtslos. Daher sollte an der Forderung nach Aufnahmemaßstäben nicht kleiner als 1 : 10 000 festgehalten werden.

Auch die Befürchtung eines zu frühen Aufnahmetermins wurde bestätigt. Die im Hallenser Stadtbild verbreiteten Linden (*Tilia cordata*, *Tilia platyphyllos*) standen noch in Blüte, bzw. Blüten waren wie bei Roßkastanien (*Aesculus hippocastanum*) nicht überall und vollständig abgefallen und die Nadeln von Lärchen (*Larix decidua*) z.T. noch auffällig hell. Sie alle zeigen im Spektrazonalbild Aufhellungen der Rottöne, die hier ohne Kenntnis der Baumart zusätzlich zu den literaturbekannten Effekten von Ulmenvarietäten und Schnurbäumen (KENNEWEG 1980, FIETZ 1983) zwangsläufig Vitalitätseinbußen vortäuschen. Einige offenbar naturdunkle Eiben mit gelbbraunen Nadelorganen wirken in recht dunkelpurpurrot getönten Abbildungen von Nadelbäumen noch abgedunkelter, so daß auch in diesem Fall die Vitalitätsansprache Trugschlüsse enthalten könnte.

Interpretationsunsicherheiten bestehen mitunter in der Ansprache und gegenseitigen Abgrenzung von Flächen mit Halbtrocken- gegenüber Trockenrasen. Wenn zwar ersteren im Spektrazonalfilm bei bereits deutlichen Grünanteilen noch relativ intensiv getönte Anteile zudem weitflächig verbreiteter Rottöne in den Arealen eigen sind, so erschweren doch die bestehenden fließenden Tonübergänge zwischen beiden Klassen eine eindeutige Zuordnung betreffender Flächen. Ausgesprochene Fehlinterpretationen und deren Korrektur belegt exemplarisch Tab. 1.

Bei vegetationslosen Freiflächen tritt auffällig in Erscheinung, daß eine Trennung in versiegelte und unversiegelte Flächen nicht sicher möglich ist. Selbst Straßen und mit ihnen verbundene Plätze können nicht eindeutig in die Kategorie versiegelter Flächen eingestuft werden, wie entsiegelte Bauvorbe-

Tab.1
Fehlinterpretationen städtischer Flächen in spektrazonalen-
Einzelluftbildern

Fehlinterpretiertes Objekt	Fehlinterpretation als	reale Flächenklasse	Korrekturmaßnahme zur Ausmerzung der Fehlinterpretation
Gewächshaus	Vegetationsfläche (Nutz- und Zierpflanzenfläche)	bebaute Fläche	vergleichende Nutzung aktueller topographischer Stadtkarten
Teich mit Linsendecke	Halbtrockenrasen	Wasserfläche	Einbeziehung von Lage- und Vergesellschaftungsindizien

5. Mögliche Klassifizierung von Freiflächen nach Oberflächenarten mittels Luftbildinterpretation

Trotz aller getroffenen Einschränkungen kann nachfolgend nun die Eignung der Luftbildinterpretation für stadtdlandschafts-ökologisch bedeutsame Freiflächenklassifizierungen nachgewiesen werden. So lassen sich aus gerätegestützten Vergrößerungen von Spektrazonelaufnahmen des Maßstabs 1 : 24 800 auf ca. 1 : 1 200 unter Berücksichtigung der Gliederung der Typen arealer Strukturelemente der Stadtdlandschaft bei BREUSTE (1986) und der Gliederung von Oberflächenstrukturmerkmalen der Siedlungsfläche der Stadt bei KRAUSE (1986) folgende stadtdlandschaftsökologisch relevante Oberflächenarten relativ sicher unterscheiden:

1. Wasserflächen
 - 1.1. Fließgewässer
 - 1.1.1. Fließgewässer mit unverbautem Ufer
 - 1.1.2. Fließgewässer mit technisch verbautem Ufer
 - 1.2. Stehende Gewässer
 - 1.2.1. Stehende Gewässer ohne technisch verbautem Ufer
 - 1.2.2. Stehende Gewässer, z.T. mit technisch verbautem Ufer
 - 1.2.3. Stehende Gewässer mit völlig technisch verbautem Ufer
2. Vegetationsflächen
 - 2.1. Gras- und Staudenflächen
 - 2.1.1. Zierrasen
 - 2.1.2. Trittrassen
 - 2.1.2.1. Trittrassen, dicht
 - 2.1.2.2. Trittrassen, lückig
 - 2.1.3. Ruderele Gras- und Staudenflächen
 - 2.1.3.1. Ruderele Gras- und Staudenflächen, dicht
 - 2.1.3.2. Ruderele Gras- und Staudenflächen, lückig
 - 2.1.4. Gras- und Staudenflächen an Standorten extremer Feuchte
 - 2.1.4.1. Gras- und Staudenflächen nasser / feuchter Standorte
 - 2.1.4.2. Halbtrockenrasen
 - 2.1.4.3. Trockenrasen

- 2.1.5. Nutz- und Zierpflanzenfläche
- 2.2. Gebüsch- und Strauchflächen
 - 2.2.1. Flächen höherer Gebüsch- und Sträucher
 - 2.2.2. Feucht- und Ufergebüschflächen
 - 2.2.3. Zwergsträucher
- 2.3. Baumgehölzflächen (und ihre Sonderformen)
 - 2.3.1. Einzelgehölze
 - 2.3.2. Gehölzreihen
 - 2.3.3. Gehölzflächen
- 3. Vegetationslose versiegelte und unversiegelte feste Freiflächen
 - 3.1. Nutz- und Zierpflanzenflächen, z.Z. ohne Vegetation
 - 3.2. Felsflächen
 - 3.3. Schutt- und Müllflächen
 - 3.4. Sonstige vegetationslose Freiflächen
- 4. Bebaute Flächen (hier kein Untersuchungsgegenstand)

Deutlicher als bei terrestrischen Erhebungen treten hervor

- die unterschiedliche Bestandesdichte von Trittrasen
- die Differenzierung trockener Vegetationsstandorte in Halbtrockenrasen, Trockenrasen, Zwergsträucher
- die Unterscheidung von Baumgehölzen nach ihrer Vergesellschaftung
- die Trennung des aktuellen Oberflächenzustandes (vorhandener bzw. fehlender Bewuchs) von Ackerflächen und gärtnerischen Kulturflächen z.Z. der Aufnahme.

Demgegenüber treten Informationsverluste im Vergleich zu terrestrischen Untersuchungen auf

- zum Artenreichtum
- zum Ausdauerungsvermögen von Gras- und Staudenflächen
- durch Nichterkennung niedriger Sträucher und Bäume
- durch Unsicherheiten in der Ansprache als gärtnerische Anlage, Verwilderung oder spontane Besiedlung.
- wegen beinahe ausgeschlossener Baumartenerkennung
- durch fehlende Untergrundinformation bei dichtem Baumbestand
- wegen äußerst geringer spektraler Unterscheidbarkeit selbst unterschiedlichster vegetationsloser Flächen.

Für die o.g. Klassen erstellt WALDENBURGER (1987) einen Interpretationsschlüssel nach dem Eliminierungsprinzip und unterbreitet Varianten einer analog-kartographischen und digitalen Datenspeicherung.

6. Digitale Speicherung gewonnener Freiflächeninformationen in rechnergestützten Informationssystemen

DOI: <https://doi.org/10.2312/zip.1989.106.02>

Die grundlegenden Anforderungen für die digitale Speicherung

territoriale Daten, die Abwägung von Vor- und Nachteilen polygonaler und quadratrasterbezogener Bezugsflächen und Beispiele für Einspeisungen terrestrisch gewonnener Stadtlandschaftsdaten als Modellstudie für Halle-Süd finden sich bereits bei BREUSTE (1986).

Für einen Quadratkilometer im Bereich Halle-Giebichenstein soll die quadratrasterbezogene Gewinnung von Daten für eine Problemdaten "Oberflächenarten" mit Methoden der Luftbildinterpretation vorgestellt werden.

So wurden aus den Daten der 1985er Befliegung wichtige flächenstatistische Maße, wie Flächensummen und Flächenanteile, auf der Basis der 4 Klassen Vegetationsflächen, unversiegelte und versiegelte vegetationslose feste Freiflächen, Wasserflächen und bebaute Flächen hergeleitet. Sie liegen als Rasterkarte und als rechnerkompatible Eingabebeispiele vor. Während BREUSTE (1986) Kodierungen von 10 m x 10 m großen Flächen durch Einpassung eines Gitternetzes in entzerrten Luftbildern vorschlägt, wurden 50 m x 50 m gewählt, so daß jeder km^2 in 400 Einzelflächen à 25 a aufgerastert wird. Diese Basis erscheint ausreichend, da

- bei den verwendeten unentzerrten Luftbildern mit zudem verhältnismäßig kleinem Maßstab selbst kleinste Ungenauigkeiten der Einpassung eines recht feinmaschigen Gitternetzes hohe Wertverfälschungen nach sich ziehen können
- eine derartige Detailliertheit stadtplanerischen Überblicken genügt und für konkrete Planungsabsichten ohnehin zur Realflächenbetrachtung in größeren Maßstäben übergegangen wird.

Der Raster wird durch das Gitternetz topographischer Karten vorgegeben. Die unentbehrliche Maßstabskorrektur des Luftbildmaterials erfolgt nach einem von WALDENBURGER (1987) entwickelten Verfahren der Kombination von Vergrößerung mit weitgehender Entzerrung mittels Dokumator-Lesegerät. Bei einer Vergrößerung auf den Maßstab 1 : 1 000 genügt die Anheftung eines transparenten Gitternetzes (z.B. Millimeterpapier) am Bildschirm des Gerätes, um die Auswertungen vorzunehmen. Die Verzeichnungen in Richtung Bildschirmrand begründen die notwendige Neueinpassung jeder einzelnen Bezugsfläche. Für jede Quadratrasterfläche mußte im genannten Abbildungsmaßstab ein jeweils 5 cm x 5 cm großes

Gitterquadrat auf dem Bildschirm ausgezählt werden. Zur Ermittlung der absoluten und prozentualen Flächenverhältnisse erfolgt dessen Zerlegung in 100 Teilquadrate mit 5 mm x 5 mm Kantenlänge, die also 25 m^2 bzw. 1 % der Bezugsrasterfläche repräsentieren. Die Addition der Anteile von Oberflächenklassen basiert auf diesen Grundflächen, von denen jeweils die dominierende Ausstattung berücksichtigt wird. Vor allem mit verringerter Arealgliederung kann die Größe dieser Flächen vervielfacht werden; bei einer einzigen Oberflächenart, die also 25 a bzw. 100 % der Fläche einnimmt, kann folglich auf diese Feinteilung verzichtet werden.

Fehlerquellen der Auswertung können resultieren aus

- unexakten Einpassungen des Gitternetzes
- Vernachlässigung untergeordneter Arealanteile anderer Oberflächenarten bei der Auszählung der Teilquadrate eines Rasters
- Fehlinterpretationen beschatteter Flächen
- Übershirmungen
- Registrierfehler.

Genannte Fehlerursachen unterdrückt weitgehend eine abschließende Rundung der Werte auf ausreichende 100 m^2 bzw. 4 % Genauigkeit bzw. durch Klassenbreiten von 10 %.

Nunmehr lassen sich Dateneinspeisungen in ein digitales territoriales Informationssystem vornehmen. Sie können z.B. unterrichten über

- den Freiflächenanteil
- den Vegetationsflächenanteil (einschließlich baumüberschirmter Flächen)
- den Anteil vegetationsloser fester Freiflächen (ohne baumüberschirmte Flächen)
- die dominante Oberflächenart
usw. für Bezugsrasterflächen $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ bei Klassenbreiten von 250 m^2 bzw. 10 %.

Die Informationsbereitstellung für 1 km^2 Beispielfläche bedurfte ca. 24stündiger Auszählung, davon fast ein Drittel für die notwendigen Neueinpassungen jedes einzelnen Quadratgitters der topographischen Karte. Sie schwankt in Abhängigkeit von der inneren Strukturierung des Gebietes und der Bearbeitungsroutine. Damit erscheint das Verfahren terrestrischen Erhebungen gleicher

Tab. 2

-Vegetationsflächenanteil (einschl. baumüberschirmter Flächen) - Beispiel eines möglichen Ausdrucks aus dem Datenspeicher

NW-Eckpunkt: HW 5708000
RW 4496000

Bezugsbasis: 50 m x 50 m - Quadratraster
Unmaßstäblicher Schreibmaschinenausdruck!

```

07 08 06 06 07 05 06 03 03 04 04 07 06 01 01 03 02 06 04 03
o6 07 07 06 10 08 05 05 07 06 01 03 03 02 05 02 04 07 04 07
07 09 04 04 08 08 07 06 06 05 06 04 05 04 05 08 07 08 04 05
07 06 01 02 05 08 05 06 09 08 05 03 04 02 03 02 03 03 03 00
04 03 01 00 00 05 09 09 10 10 07 06 06 08 08 03 01 00 01 03
05 07 02 03 04 05 10 10 10 10 10 10 08 05 02 00 02 05 07 07
07 09 07 09 08 08 10 10 10 09 07 05 01 00 02 02 02 06 06 08
o8 o8 05 07 10 10 10 09 08 07 06 01 00 04 07 06 01 04 07 05
01 03 06 08 10 10 07 05 05 07 03 00 06 06 06 06 04 03 04 04
01 10 09 08 10 08 07 08 10 08 00 05 06 08 08 07 06 02 05 06
02 08 08 09 09 03 09 10 10 07 01 07 05 05 06 02 04 04 04 01
05 05 06 08 07 04 10 10 10 06 01 09 09 04 02 02 03 03 03 00
05 06 07 06 09 03 10 10 10 06 03 10 06 07 07 06 05 03 01 01
06 06 06 09 09 04 09 10 10 08 00 09 03 04 06 03 05 03 00 00
07 07 08 06 09 04 08 10 10 09 00 08 04 08 08 03 02 04 02 01
07 09 06 05 06 06 05 10 10 10 02 07 09 08 08 07 01 04 02 00
03 09 06 06 06 06 04 10 10 10 05 03 08 08 04 05 03 02 01 00
06 08 05 03 03 07 06 09 10 10 08 01 08 08 06 05 08 08 02 01
03 02 02 04 04 07 06 03 08 10 10 02 06 08 06 05 03 08 03 02
10 08 06 04 06 07 08 07 03 10 10 07 02 07 08 06 09 08 07 06
    
```

Vegetationsflächenanteil

Klassen:

```

00 = 0    ... < 10 %
01 = 10   ... < 20 %
02 = 20   ... < 30 %
03 = 30   ... < 40 %
04 = 40   ... < 50 %
05 = 50   ... < 60 %
06 = 60   ... < 70 %
07 = 70   ... < 80 %
08 = 80   ... < 90 %
09 = 90   ... < 100 %
10 = 100 %
    
```

Tab. 3

Dominanter Oberflächenzustand (Flächenanteil $\geq 40\%$, aber mindestens 10% höher als der Anteil der nächsten Zustandskategorie) - Beispiel eines möglichen Ausdrucks aus dem Datenspeicher

NW-Eckpunkt: HW 5708000
RW 4496000

Bezugsbasis: 50 m x 50 m - Quadratraster
Unmaßstäblicher Schreibmaschinenausdruck!

B7 B8 B6 B6 B7 B5 B6 L4 01 B4 B4 B7 B6 01 L6 L4 L5 B6 B4 01
 B6 B7 B7 B6 B0 B8 B5 B4 B7 B6 L4 01 01 L5 B5 L4 01 B7 01 B7
 B7 B9 01 B4 B8 B8 B6 B6 B6 B6 B5 01 B5 B4 B5 B8 B7 B8 B4 B5
 B7 B6 L7 L4 B5 B8 B5 B6 B9 B8 B5 G5 G5 01 L5 L5 L4 01 W6 W9
 B4 L6 L7 L5 G5 B5 B9 B9 B0 B0 B7 B6 B6 B8 B8 L4 W6 W8 W8 W5
 B5 B7 L5 L4 B5 B0 B0 R0 R0 B0 B0 B0 B8 B5 W6 W5 W8 B5 B7 B7
 B7 B9 B7 B9 B8 B8 B0 R0 R0 R9 R7 R5 W7 W0 W7 L4 L6 B6 B6 B8
 B8 B0 B0 B0 B0 R0 R0 R9 B8 B7 B6 W8 W9 01 B7 B6 L7 01 B7 B5
 L5 L5 B6 B8 B0 B0 B7 B5 B5 B7 W6 W9 B6 B6 B6 B6 B1 L6 01 B4
 L5 R0 B9 B8 B0 B8 B7 B8 B0 B8 W9 B5 B6 B8 B8 B7 B6 L5 B5 B6
 L6 B8 B8 B9 B9 L4 B9 B0 B0 B7 W8 B7 B5 B5 B6 L5 B4 01 01 G5
 B5 B5 B6 B8 B7 W5 B0 B0 B0 B0 W8 B9 B9 01 L4 L5 L5 01 01 G6
 B5 B6 B7 B6 B9 W6 B0 B0 B0 B6 W7 B0 B6 B7 B7 B6 B5 01 L5 01
 B6 B6 B6 B9 B9 W5 B9 B0 B0 B8 W9 B9 L6 L6 L6 L6 B5 01 01 L5
 B7 B7 B8 B6 B9 W5 B8 B0 B0 B9 W9 B8 01 B8 B8 L6 L8 B4 G5 G4
 B7 B9 B6 B5 B6 B6 01 B0 B0 B0 W6 B7 B9 B8 B8 B7 L9 B4 G4 01
 L6 B9 B6 B6 B6 B6 W5 B0 B0 B0 01 W5 B8 B9 L5 01 L6 L7 L6 01
 B6 B8 01 01 01 B7 B6 B9 B0 B0 B8 W8 B8 B8 B6 B5 B8 B8 L6 L4
 L6 L7 L7 B1 01 B7 B6 W6 B8 B0 B0 W7 B6 B8 B6 B5 L5 B8 L5 L6
 B0 B8 B6 01 B6 B7 B8 B7 W6 B0 B0 W7 W8 B7 B8 B6 B9 B8 B7 B6

1. Position: Zustandsform

B = Vegetationsfläche, hier-
von 50 % Gehölzfläche.
 R = Vegetationsfläche, hier-
von 50 % Gehölzfläche.
 L = Vegetationslose feste
Freifläche.
 W = Wasserfläche.
 G = Gebäudefläche.
 0 = keine dominante Zustands-
form.

2. Position: Flächenanteil in %

1 = entfällt, da keine domi-
nante Zustandsform
 4 = 40 ... < 50 %
 5 = 50 ... < 60 %
 6 = 60 ... < 70 %
 7 = 70 ... < 80 %
 8 = 80 ... < 90 %
 9 = 90 ... < 100 %
 0 = 100 %

7. Literatur

- /1/ BORMANN, P.: Erdfernerkundung.
Veröff. d. Zentralinst. f. Physik d. Erde,
Bd. 65, Potsdam 1980
- /2/ BREUSTE, J.: Methodische Ansätze und Problemlösungen
bei der Erfassung der urbanen Landschafts-
struktur und ihrer ökologischen und landes-
kulturellen Bewertung unter Berücksichti-
gung von Untersuchungen in Halle / Saale.
Diss. (B), Fak. f. Naturwiss., Univ. Halle
1986
- /3/ DODT, J.: Luftbildauswertung durch "Indikatoren".
Möglichkeiten und Grenzen für die Raumplan-
nung.
Vermessungswesen und Raumordnung, Bonn, 36
(1974), 12, S.434-444
- /4/ FIETZ, M. Berliner Straßenbäume im Color-Infrarot-
luftbild.
Berl. Geowiss. Abhandl., R.A, Bd. 47, Berlin
(West), 1983, S. 179-188
- /5/ KENNEWEG, H.: Luftbildinterpretation und die Bestimmung
von Belastung und Schäden in vitalitätsge-
minderten Wald- und Baumbeständen,
Verfahren, Möglichkeiten und Grenzen des
operationeilen Luftbildeinsatzes.
Schriften aus der Forstl. Fak. d. Univ. Göt-
tingen und der Niedersächs. Forstl. Versuchs-
anstalt, Bd. 62, Frankfurt / M. 1980
- /6/ KRAUSE, K.-H.: Großmaßstäbige Flächennutzungskartierungen
unter stadtoökologischen Aspekten.
Landschaftsarchitektur, Berlin, 15 (1986), 2,
S. 48 - 50
- /7/ KRAUSE, K.-H. u.a.: Methodische Untersuchungen zur Flächen-
nutzungserfassung und -darstellung in den
Maßstäben 1 : 1 000 bis 1 : 50 000 und Mög-
lichkeiten ihrer Anwendung in der Planungs-
praxis und in der geographischen Forschung.
Fo.-ber. G 4, Fo.-aufg. 061/002, Sekt. Geo-
graphie, Univ. Halle 1980 (unveröff.)
- /8/ LESER, H.: Landschaftsökologie. Stuttgart 1976
- /9/ WALDENBURGER, H.: Analyse multispektraler Luftbilder zur
Kennzeichnung städtischer Freiflächen.
Diss. (A), Fak. f. Naturwiss., Univ. Halle
1987

Verbesserte Bodenfeuchteinterpretation aus Luftbildern

Prof. Dr. sc. techn. U. BONAU

Wilhelm-Pieck-Universität Rostock

Zusammenfassung

Die Erfassung nässebeeinflusster Problemflächen auf landwirtschaftlich genutzten Standorten mit Hilfe von Luftbildern hat sich in vielen Meliorationsbetrieben durchgesetzt. Bei fehlenden, zeitgleich zur Befliegung durchgeführten terrestrischen Erhebungen ist die Interpretation jedoch mit Unsicherheiten behaftet. Es wurde nachgewiesen, daß bei Einbeziehung hydroklimatischer Daten sowie hydrologischer und hydrogeologischer Informationen die Aussagefähigkeit vorhandener Luftbilder besser eingeschätzt und die Interpretationssicherheit erhöht werden kann.

Summary

Surveying of wet areas situated in a site under consideration by means of aerial photographs has become usual in many soil and water management offices. However, the results remain uncertain if no supplemental soil investigation on the ground is carried at the time the photos are taken. The results obtained from the aerial photographs can be improved, if hydrological and hydrogeological information is taken into account.

Rezjume

Vo mnogich predpriyatijach GDR provoditsja kartirovanie arealov intensivnoj vlažnosti na sel'skochozjajstvennyh ploščadjach s pomoščju aerofotosnimok. Odnako pri otsustsvii izyskanii mestnosti, kotorye provodjat obyčno odnoremennno s poletom, často javljaetsja interpretacija aerofotosnimok nedostatočno nadežnoj. Ispol'zovanie gidroklimatečeskych dannych i gidrologičeskich i gidrogeologičeskich informacii pokazalo, čto pri etom povyšajutsja vozmožnosti i nadežnosti interpretacii aerofotosnimok.

In jedem Frühjahr sind große Teile der landwirtschaftlichen Nutzfläche für eine mehr oder minder lange Zeitspanne durch hohe Bodenfeuchtigkeit gekennzeichnet. Übersteigt die Nässe hinsichtlich Intensität und Dauer bestimmte Grenzen, werden die davon betroffenen Teilflächen als vernäßt bezeichnet und aus der Sicht der Nutzung den Problemflächen zugeordnet. Für ihre Erfassung werden seit fast 20 Jahren Fernerkundungsverfahren eingesetzt, wobei in der DDR der Schwerpunkt auf die Luftbildanwendung gelegt wurde und wird. HOFFMANN und SUCCOW, HERFMANN, SCHULZ, MÜZEL und RADEGAST trugen mit ihren Untersuchungen und Versuchen dazu bei, daß heute die Luftbildnutzung für Arbeiten zur bodenhydrologischen Standortaufnahme Bestandteil der in Richtlinien festgelegten Arbeitsverfahren ist. Hiernach wird eine Kartierung der Bodenfeuchte aus Luftbildern in 4 Intensitätsstufen vorgenommen.

Die praktische Realisierung wird allerdings dadurch begrenzt, daß im Luftbild lediglich die Feuchteverhältnisse direkt an der Bodenoberfläche widerspiegelt werden. Eine Teilfläche, die bei der Feuchtekartierung in die Stufen 3+ oder gar 4+ eingeordnet wird, muß deshalb nicht unbedingt im Sinne der TGL-Kriterien vernäßt sein, für eine im Luftbild als Stufe 1 oder 2 erkannte Teilfläche kann das hingegen wegen des hohen Bodenwassergehaltes unterhalb der oberflächennahen Schicht durchaus zutreffen. Bekanntlich wird deshalb stets ein optimaler Befliegungszeitpunkt gefordert, optimal im Sinne einer Widerspiegelung der Verhältnisse in der gesamten bearbeiteten und das Pflanzenwachstum beeinflussenden Bodenschicht. Es ist das aber eine Forderung, die wegen vieler anderer Einflußfaktoren (Substrataufbau horizontal und vertikal, Reliefposition, Bodenbedeckung, Bodenbearbeitung) nie für eine größere zusammenhängende Fläche erfüllt werden kann. Dort, wo diese Zusammenhänge nicht beachtet wurden, kam es zu Fehlinterpretationen und Fehlschlüssen und daraus resultierend zu Zweifeln vor allem der Praktiker an der Aussagefähigkeit von Luftbildern.

Seit Beginn der 80-er Jahre wird am Lehrstuhl für Geodäsie und Fernerkundung der WFU daran gearbeitet, die komplizierten Wechselbeziehungen der Einflußfaktoren zu erfassen und mehr Sicherheit in die Luftbildinterpretation zu bringen.

Das erscheint unter dem Aspekt einer zunehmenden Nutzung von Archiv-Luftbildern, für die keine zeitgleichen terrestrischen Untersuchungen vorliegen, besonders wichtig, wenn dadurch eine Möglichkeit der Einschätzung der Aussagefähigkeit und Aussagebegrenzung vorhandener Befliegungen geschaffen wird. Und die Sicherheit der Luftbildinterpretation als Quelle von Informationen ist erforderlich, weil sie künftig auch für landwirtschaftliche Datensysteme wie z. B. das Informationssystem Boden (ISBO) genutzt werden soll.

Die stärkere Nutzung von Archiv-Luftbildern hat auch einen ganz pragmatischen Hintergrund: Auf einer Spezialbefliegung sind selbst bei günstigen Bedingungen kaum mehr als 50 % der Ackerflächen hinsichtlich der aktuellen Bodenfeuchte kartierbar, es werden also stets mehrere Befliegungen für eine Zielstellung benötigt. Multitemporale Spezialbefliegungen sind zu kostspielig, multitemporale Fernerkundungsdaten aus Satelliten mit einem für Meliorationsziele erforderlichen Auflösungsvermögen stehen noch nicht zur Verfügung bzw. sind mit den KFA-1000-Aufnahmen erst in der Erprobung - folglich bleiben nur Archiv-Luftbilder allgemein zugänglich.

Befliegungen aus verschiedenen Jahren müssen vergleichbar sein, wenn ich sie für eine bestimmte gemeinsame Aussage verwenden will. Die Bodenfeuchtigkeit wird - außer von den bereits genannten Substratverhältnissen, der Bodenbedeckung und der Reliefposition- in erster Linie vom Witterungsverlauf (Niederschlag, Verdunstung) beeinflusst; im kurzfristigen Zeitraum zeigt sich das besonders im Oberboden, im mittel- und langfristigen Zeitraum widerspiegelt es sich im Steigen und Fallen des Grundwasserspiegels.

Die wissenschaftliche Aufgabe besteht also darin, Archiv-Luftbilder vergleichbar zu machen.

Als ein erster Schritt in diese Richtung wurde versucht, durch die Nutzung hydrologischer und geohydrologischer Daten aus bestehenden Informationssystemen die aus einer Befliegung vorgenommene Bodenfeuchtekartierung zu werten. Dazu wurden die hydroklimatischen Daten Temperatur (T), Niederschlag (N) und Sonnenscheindauer (H) verwendet, die potentielle Evapotranspiration (PET) nach TURC berechnet und daraus abgeleitet die klimatische Wasserbilanz (KWB) bzw.

auf Empfehlung von STÜDEMANN der Atmosphärische Ausschöpfungsanspruch (AAA) verwendet.

$$PET = (A_i + B_i \cdot H_{tat}) \cdot \frac{T}{T + 15} \quad (\text{mm/d})$$

$$KWB = N - PET$$

$$AAA = - KWB$$

mit A und B als territorial und zeitgebundene Parameter und AAA ab Wendepunkt in der KWB-Ganglinie.

Die KWB -kumulativ über Tages- oder Pentadenwerte berechnet-kennzeichnet prinzipiell die Zu- oder Abnahme des Bodenwassers, wobei der Bodenwassergehalt selbst vom oberflächlich abfließenden Anteil des N sowie von der Intensität der Bewegung des Wassers in Richtung tieferer Bodenschichten abhängt.

Aus der Form der in Abb. 1 dargestellten KWB-Ganglinien lassen sich folgende Aussagen ableiten:

- Ein steiler Anstieg kennzeichnet hohe Niederschläge in einer relativ kurzen Zeitspanne. Werden dabei große KWB-kum-Werte erreicht, ist eine intensive Bodendurchfeuchtung und die Ausbildung von Naßstellen zu erwarten.
- Ein relativ flacher Anstieg läßt darauf schließen, daß der in einer längeren Zeitspanne fallende Niederschlag in tiefere Bodenschichten versickert bzw. bei Vorhandensein von Dränsystemen durch diese abgeführt wird, d. h. kaum vernässungswirksam werden kann.
- Ein kleiner KWB-kum-Wert deutet eine relativ geringe Tiefenwirksamkeit des Niederschlags an, d. h., es ist kaum mit der Ausbildung von Nässe zu rechnen.

Ein Umschlagen von ansteigender in eine fallende Tendenz der KWB-Ganglinie ist Ausdruck für den Beginn des Abtrocknungsprozesses, ihre Neigung kennzeichnet die Abtrocknungsintensität. Hier beginnt auch der AAA Werte anzunehmen (vgl. nochmals Abb. 1).

Bisherige Erfahrungen zeigen, daß ein AAA von 4 mm bis 6 mm die besten Voraussetzungen für eine differenzierte Bodenfeuchtekartierung aus Luftbilder bietet, d. h.:

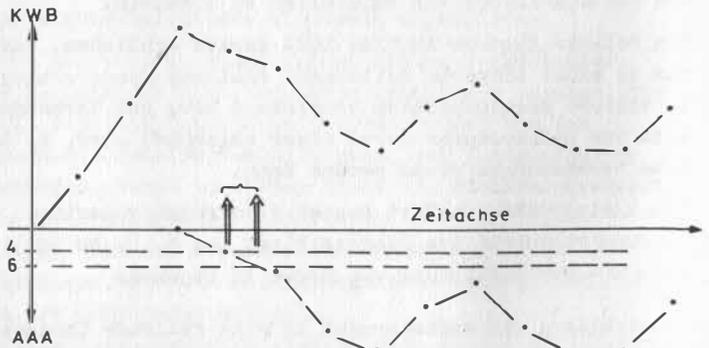
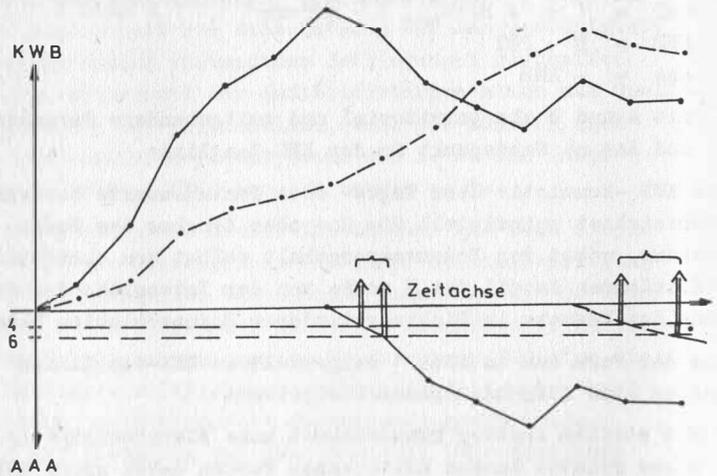


Abb.1 : Beispiele für Ganglinien der Klimatischen Wasserbilanz und des Atmosphärischen Ausschöpfungsanspruches

flußt. Auch relativ geringe Niederschläge führen in der Regel zu länger anhaltender oberflächiger Nässe.

Eine hemmende Wirkung auf den Versickerungsprozeß und damit ein passiver Einfluß bzgl. Vernässung der oberen Bodenschichten ist auch auf Flächen mit einem Flurabstand des Hauptgrundwasserleiters < 5 m festzustellen (die Wirkung ist ähnlich wie bei einem Staukörper). Eine Vernässung tritt allerdings erst nach reichlichen Niederschlägen auf.

Zum Erkennen von Gesetzmäßigkeiten, zumindest von Analogien, wurde der überjährige Verlauf (1980-1986) der Grundwasserganglinien von 31 Grundwassermeßstellen ausgewertet. Aus der Schwankungsbreite der Ganglinien, dem Tendenzverhalten von Hoch- und Niedrigwasser und der Einordnung eines aktuellen Zeitpunktes konnte auf Dauer und Intensität der im Luftbild erkennbaren Nässe geschlossen werden. Damit wurde eine weitere äußerst wichtige Möglichkeit erarbeitet, Luftbilder aus verschiedenen Jahren vergleichbar zu machen.

Die Untersuchungsergebnisse sollen an folgenden Beispielen demonstriert werden:

Das Luftbild vom 2.4.82 zeigt einen hohen Grundwasserstand, sichtbar an den stark wassergefüllten Hohlformen. Er liegt real etwa ein Meter über dem mittleren Frühjahrswert. Die Grundnässe-Intensität muß sehr hoch sein, denn auch die KWB-Spitze von 28 mm vor der Befliegung und die aus GEHYDROL entnommene Information, daß der Grundwasserflurabstand in dem betrachteten Gebiet < 5 m ist, deuten darauf hin. Die KWB- bzw. AAA-Ganglinien zeigt andererseits eine in den letzten 10 Tagen vor der Befliegung eingesetzte intensive Abtrocknung mit einem AAA-Wert von 11 mm (vgl. Abb. 2). Eine flächenhafte Bodenfeuchtekartierung nach diesem Luftbild wird deshalb zu völlig falschen Ergebnissen führen. Bei den als naß erkennbaren Stellen handelt es sich um Zulaufpositionen oder Artesikflächen, die in jedem Jahr längerfristig vernäßt sein werden. Die Befliegung erfolgte eindeutig zu spät.

Bei intensiver Abtrocknung muß zwei bis drei Tage nach Abtrocknungsbeginn befliegen werden, bei sehr geringer Abtrocknungsintensität wird auch eine Befliegung 14 Tage später noch gute Ergebnisse liefern. Damit ist bereits eine gute Möglichkeit gegeben, Aussagen über die Verwendbarkeit von Luftbildern für eine Nässekartierung und über die Vergleichbarkeit von Archiv-Luftbildern zu machen.

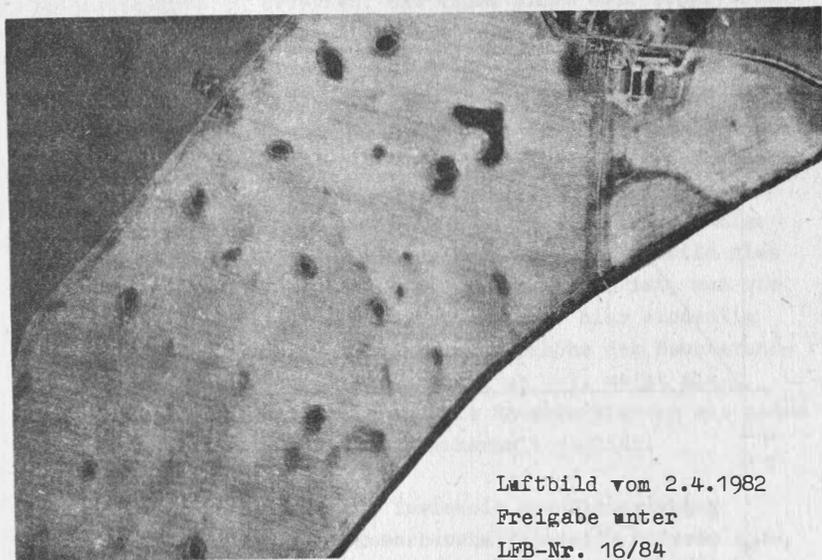
Diese durchaus logischen Interpretationen werden vor allem durch folgende Faktoren gestört:

- a) die Bodenfeuchteverhältnisse zu Beginn der KWB-Berechnung
- b) den aktuellen Einfluß des Grundwassers in Richtung Geländeoberfläche
- c) die Oberbodenverdichtung und Porenverschmierung und deren negative Auswirkung auf das Eindringvermögen des Niederschlags in den Boden.

Um diese Störfaktoren weitestgehend zu reduzieren, wurde die KWB-Berechnung 6 Wochen vor dem Befliegungstermin begonnen. Damit ist eine recht sichere Aussage über den Sättigungszustand des Bodens mit Wasser aus dem Niederschlag möglich. Bei Vorliegen des geplanten EDV-Datenspeichers hydroklimatischer Meßwerte wird es auch kein Problem sein, den Berechnungsbeginn noch weiter vorzuverlegen und damit z. B. die Winterfeuchte einzubeziehen.

Als wesentlich schwieriger zeigt sich die Erfassung und Berücksichtigung des Grundwassereinflusses. Hierzu wurden von DIETRICHS grundlegende Untersuchungen zur Erschließung der Daten des Informationssystems GEHYDROL der Wasserwirtschaft durchgeführt und ein Modell zur Vernässungswirksamkeit des gespannten Grundwassers in der Grundmoränellandschaft erarbeitet. Die Kenntnis der Grundwasserdruckhöhe im gespannten Hauptgrundwasserleiter zeigt sich als besonders wichtig. Die Aussagen hierfür können aus den Daten der zahlreichen Grundwassermeßstellen mit hinreichender Sicherheit abgeleitet werden.

Die in GEHYDROL als "Artesik-Warnflächen" gekennzeichneten Gebiete sind besonders vernässungsgefährdet. Durch die hohe Grundwasserdruckhöhe sind sie ganzjährig grundwasserbeein-



Luftbild vom 2.4.1982
Freigabe unter
LFB-Nr. 16/84



Luftbild vom 22.3.1984
Freigabe unter
LFB-Nr. 55/84

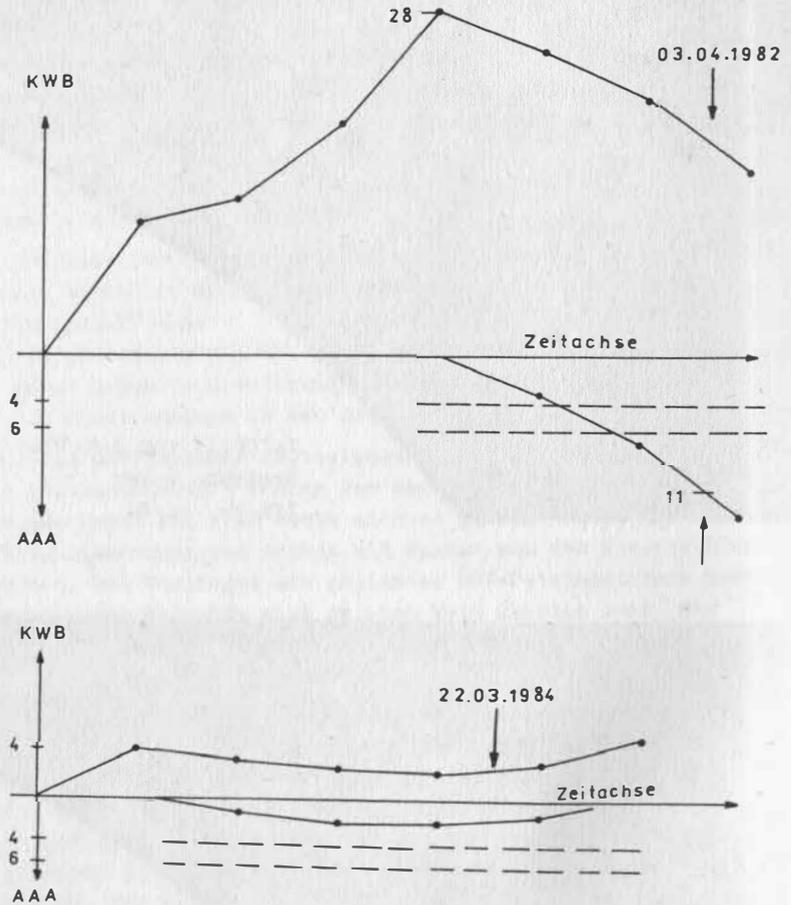


Abb. 2 : Ganglinien für KWB und AAA zu konkreten Befliegungsterminen

Aus dem Luftbild vom 22.3.84 ist relativ wenig Wasser in den Ackerhohlformen zu erkennen, was einen nicht sehr hohen Grundwasserstand andeutet. Er liegt real etwas tiefer als der überjährige Mittelwert und wird damit die Bodenfeuchte in den oberen Schichten bis auf den Bereich der Artesikflächen wenig aktiv beeinflussen. Auch die ab 1.3.84 berechnete KWB läßt mit ihrem höchsten Wert von 4 mm nicht auf eine intensive Bodendurchfeuchtung schließen (vgl. Abb. 2). Andererseits zeigt der AAA-Wert von 2 mm eine geringe oberflächige Abtrocknung durch Verdunstung an. Wenn auf dem Luftbild also eine gute Bodenfeuchtedifferenzierung erkennbar ist, muß sie aus der Winterfeuchte resultieren und zeigt hier eindeutig den passiven Einfluß der Grundwasserdruckhöhe des Hauptgrundwasserleiters an. Eine KWB-Berechnung ab 1.2. weist die Richtigkeit dieser Annahme nach. Die Nässekartierung aus einem solchen Luftbild ist mit hoher Sicherheit möglich.

Gegenwärtig wird untersucht, inwieweit die Einbeziehung eines modifizierten Bodenwasserhaushaltsmodells weitere Aussagen zur Oberbodenfeuchte ermöglicht. Ziel ist es, gesicherte Angaben zur Erkennbarkeit von Alldränen machen zu können - eine Forderung, die bisher noch von keiner Fo-Einrichtung zufriedenstellend erfüllt werden konnte.

Abschließend soll noch darauf hingewiesen werden, daß die Ergebnisse natürlich nicht nur für LB anwendbar sind sondern z. B. auch zur Einschätzung der Aussagefähigkeit von KFA-1000-Aufnahmen.

Literatur

- Dietrichs, I.: Grundnässe durch gespanntes Grundwasser in der Grundmoränellandschaft - Verhalten und Vernässungswirksamkeit des Grundwassers, Identifizierung
Univ. Rostock 1987, Diss., 96 S.
- Herrmann, H.: Beitrag zur Untersezung der Mittelmaßstabigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung für meliorationskundliche Fragestellungen auf der Grundlage von Luftbildern, dargestellt an einigen ausgewählten Standorten im Kreis Teterow. Univ. Rostock 1982, Diss., 152 S.
- Hoffmann und Succow : Anwendung des Luftbildes für die Meliorationsvorbereitung
Wiss.-Techn. Informationen für das Meliorationswesen,
Bad Freienwalde, VEB Ing.-Büro für Meliorationen, 1977
- Mizel : Verbesserung der standortgerechten und effektiven Meliorationsdurchführung mittels Auswertung von Luftbildern am Beispiel der Standortgruppe 11 im Bezirk Karl-Marx-Stadt. Akad. d. Landw.-Wiss. d. DDR, Berlin 1985, Forschungszentrum f. Bodenfruchtbarkeit, Diss.
- Radegast, M.: Beitrag zur bodenhydrologischen Standortaufnahme unter Einbeziehung von Fernerkundungsmaterialien für die Kartierung der Wasserverhältnisse
Univ. Rostock 1985, Diss., 114 S.
- Schulz, R.: Erkennbarkeit der Bodenvernässung auf Ackerland in Luftbildern unter besonderer Berücksichtigung der Berglehmsstandorte in der Standortgruppe 13
Akad.d.Landw.-Wiss.d.DDR, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit, Eberswalde 1984, Diss.
- Stüdemann, O.: Eine Klimacharakteristik des Tieflandes der DDR für die landwirtschaftliche Standortbeurteilung
Tag.-Ber. der Akad.d.Landw.-Wiss.d.DDR, Berlin (1986) 245, S.195-202

Probleme der Entwicklung
von Expertensystemen für die Geowissenschaften

I. Raasch

Akademie der Wissenschaften der DDR
Zentralinstitut für Physik der Erde
Potsdam

Zusammenfassung

Expertensysteme (ES) für die Geowissenschaften werden im allgemeinen mit sehr großen räumlichen Datenmengen operieren. Ihre Wissensbasis wird mit Fakten und Regeln recht unterschiedlicher Natur gefüllt sein. Am Beispiel der Merkmalsextraktion aus Fernerkundungsdaten werden verschiedene Wissensarten dargestellt. Bei der Entwicklung entsprechender ES wird empfohlen, Rahmensysteme zu verwenden und eingeengte, bald erfolgreiche Teillösungen zu schaffen. Die Datenmanipulationen sollten auf der Basis eines einheitlichen internen Formats mittels bekannter Methoden realisiert werden.

Summary

In general expert systems (ES) for earth sciences operate with large amounts of spatial data. Their knowledge base consists of facts and rules of a remarkable variety. The feature extraction is taken as an example for different kinds of knowledge. Developing suitable ES recommendation is given to use shells and then to create restricted but successful partial solutions. The manipulation of data should be realized by means of usual methods based on unified internal format.

Резюме

Экспертные системы для наук о Земле часто обрабатывают большие массивы пространственных данных. Их база знаний заполняется фактами и правилами довольно разной природы. На примере извлечения признаков из данных дистанционного зондирования представляются разные виды знаний. При разработке соответствующих ЭС рекомендуется использовать скелетные системы и создавать ограниченные частные решения, которые быстро начинают работать с успехом. Обработку данных рекомендуется производить известными методами на основе единого внутреннего формата.

In der Abbildung wurde das allgemeine Schema eines Expertensystems dargestellt, wie es aus Anwendungen in Medizin und Technik bekannt ist. Allerdings wurden bezüglich der Ein- und Ausgänge Präzisierungen vorgenommen, um die Breite und damit die Problemvielfalt bei der ES-Entwicklung in den Geowissenschaften zu symbolisieren.

• Stadien des Wissenserwerbs:

- Problemidentifikation
 - Klarheit über zu lösende Aufgaben schaffen;
 - abgegrenztes Fachgebiet, in dem weder Allgemeinwissen noch "gesunder Menschenverstand" verlangt werden;
 - Bestimmung der Teilnehmer für den Wissenserwerb (Experte, Wissensingenieur, event. Nutzer);
 - Bestimmung der Quellen und Ressourcen für den Wissenserwerb;

- Konzeption
 - Klärung von Datentypen, Wissensarten und -formen;
 - Sind Hypothesen vorhanden? Welche Relationen bestehen zwischen den Objekten des Fachgebietes?

- Formalisierung
 - Teilaufgaben (Basiskonzepte) und Informationsfluß in mehr formale Darstellung bringen;

- Realisierung
 - Software-Erstellung in Abhängigkeit der Programmiersprache und -mittel sowie Hardware;

- Testung
 - mittels einiger Beispiele, die Defekte in der Wissensbasis und der Inferenzmaschine offenlegen.

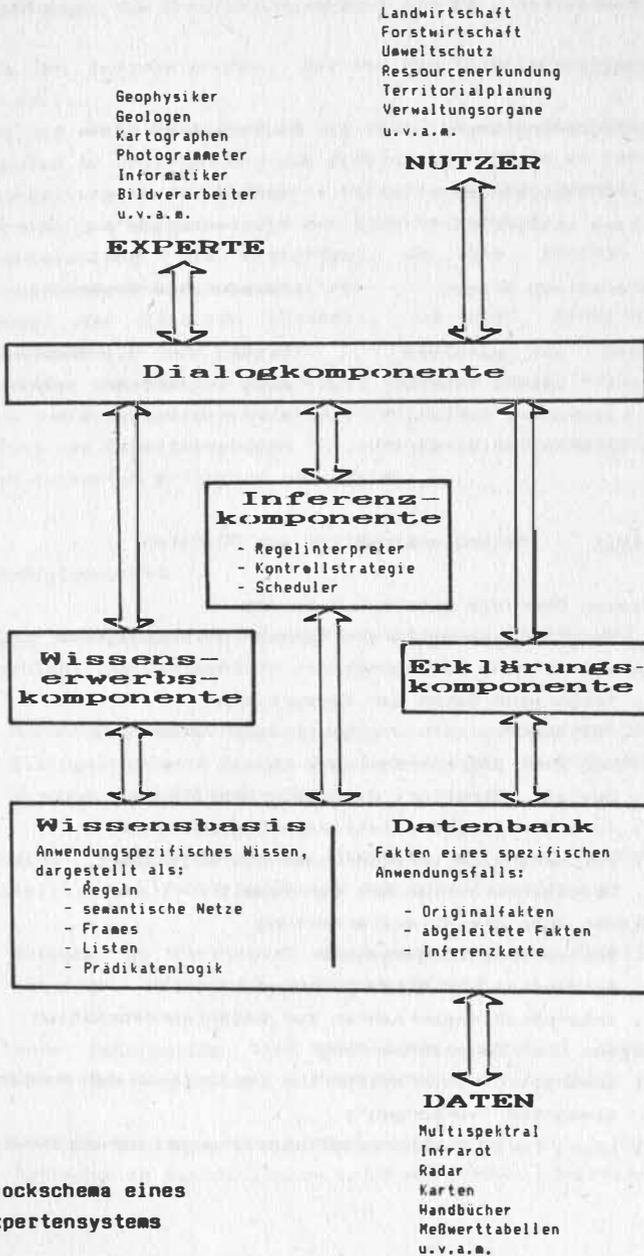


Abb. Blockschema eines
Expertensystems

2. Wissensarten

Allgemein:

Allgemeinwissen	<---->	Fachgebietswissen
(in heutigen ES kaum integriert)		(oft fehlt das "Tiefenwissen")
deklaratives Wissen	<---->	prozedurales Wissen
(Wissen als passives Objekt - Daten, Fakten aus Literatur, Karten, vom Experten ableitbar)		(Wissen über die Anwen- dung von Wissen, selten universell, zu viele "Sonderfälle")

Beispiel: Merkmalsextraktion aus FE-Daten

- Wissen über die externen Faktoren
 - . Berechnungsmodelle zur Sonnen- u. Erdrotation
 - . klimatische Bedingungen
 - . technische Daten der Sensortypen
 - . radiometrische und geometrische Verzerrung
- Wissen über das zuerkennende Objekt
 - . Gestalt, Struktur, Material, Oberfläche
 - . funktionale und relationale Eigenschaften
 - . zeitabhängige Veränderungen des Objektes
 - . Objektinteraktion mit der Umwelt
- Wissen über die Bildverarbeitung
 - . Bildverarbeitungstechnik
 - . Bildaufbau und Bilderfassungsprozesse
 - . Interpolationsverfahren zur Datentransformation
- Wissen über Objekterkennung
 - . semantische Information ist implizit in den Raster-
elementen "verborgen";
 - . Lage, Form, Nachbarschaftsbeziehungen werden herangezogen.

3. Empfehlungen zum Entwicklungsablauf von ES

- Eignung der Aufgabe prüfen, die mit dem Expertensystem gelöst werden soll;
- Entwicklung eines ES-Prototyps mit dem Ziel, die Wissensbasis im Computer zu schaffen und das Problemverständnis zu vertiefen;
- Herausarbeitung und verbesserte Formulierung der Regeln mit den Termini und Methoden, die der Experte benutzt;
- Weiterentwicklung des Prototyps, um die Dialog- und Erklärungskomponenten zu gestalten;
- Interesse des Experten bewahren, um über Mißerfolge hinwegzukommen;
- Entwicklung des zweiten Prototyps, nachdem reale Tests mit Nutzern und Experten die Defekte offenlegten;
- Bewertung des Expertensystems in jeder Phase entsprechend der anfangs fixierten Kriterien und Ziele;

4. Schlußfolgerungen

- Experten und Nutzer sind keine Computerspezialisten und können unterschiedliche Fachgebiete repräsentieren
 - > Verwendung von Rahmensystemen mit nutzerfreundlicher Dialogkomponente und leistungsfähigen Werkzeugen zum Wissens- und Datenerwerb
- Benötigtes Wissen ist sehr komplex und verschiedenartig dargestellt, noch fehlt teilweise das Prozeßverständnis
 - > Aufgabe im Fachgebiet stark einengen und Teillösungen schaffen, die bald erfolgreich sind
- Anfallende Datenmengen sind sehr hoch, manchmal von nicht kompatiblen Quellen und mit widersprüchlichem Charakter erfaßt
 - > Vorverarbeitung und Datenmanipulation mit bekannten Methoden im einheitlichen internen Format realisieren

Literatur

- Florath, P.: Internationaler Stand und Trends bei der Anwendung und Entwicklung von Expertensystemen. Vortragsmanuskripte, INFO'88, Dresden, 22.-26.2.1988, S.188-192
- Forsyth, R.: Expert systems - principles and case studies. Chapman and Hall, London, 1984
- Hayes-Roth, F.; Waterman, D.A.; Lenat, D.B.: Building expert systems. Edinon-Wesley, London, 1983
- Lambird, B.A.; Lavine, D.; Kanal, L.A.: Distributed architecture and parallel non-directional search for knowledge-based cartographic feature extraction systems. Intern.Journal Man-Machine Studies, 20 (1984), pp.107-120
- Matsuyama, T.: Knowledge-based aerial image understanding system and expert system for image processing. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-25, No.3, May, 1987, pp.305-316
- McKeown, D.M.: The role of artificial intelligence in the integration of remotely sensed data with geographic information systems. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-25, No.3, May, 1987, pp.330-348
- Remote sensing - today's solutions for tomorrow's information needs. Proc. of IGARSS'86 Symposium, Zürich, 8.-11.9.86, Ref. ESA SP-254, S.235ff

Wissensbasierte kartographische Mustererkennung

W. LICHTNER

Institut für Kartographie, Universität Hannover, BRD

Beim Aufbau von Geoinformationssystemen (GIS) spielt die Digitalisierung vorhandener Karten und graphischer Vorlagen eine große Rolle. Bisher werden diese Arbeiten mit Hilfe von Tischdigitizern ausgeführt. Da es sich dabei aber um ein Massenproblem handelt, verschrecken notwendiger Zeit- und Kostenaufwand viele interessierte Anwender. Abhilfe erhofft man sich durch die Anwendung von Verfahren der automatischen Digitalisierung und Mustererkennung von kartographischen Vorlagen, die sich gegenwärtig in der Entwicklung befinden.

Im Institut für Kartographie der Universität Hannover wird an der Entwicklung eines Systems zur wissensbasierten kartographischen Mustererkennung gearbeitet. Das System geht von gescannten Kartenbilddaten (Rasterdaten) aus, die nach einem Preprocessing binärisiert und anschließend einer Raster-Vektor-Conversion unterzogen werden. Das Ergebnis sind nicht-strukturierte Vektordaten und Merkmale von Kartenobjekten, die dann einer automatischen Strukturierung (Mustererkennung und Zuweisung von Objektkodes) zugeführt werden. Nach einem Postprocessing stehen somit strukturierte Vektordaten zur Verfügung, die zur Modellbildung in ein Datenbanksystem übernommen werden können.

Dem System liegt die Strategie der sog. Wissensbasierten Systeme zugrunde. Das heißt, in einer Wissensdatenbank werden Daten, Parameter, Algorithmen, Regeln und Fakten (also das sog. Wissen) abgelegt. Nach der Strategie wird nun im Rahmen der Mustererkennung eine Hypothese aufgestellt, die dann einer Überprüfung und Bewertung unterzogen wird. Danach erfolgt die Annahme oder Ablehnung der Hypothese. Im Fall der Ablehnung wiederholt sich der Prozeß nach Aufstellung einer neuen Hypothese.

Beispiel für ein PROLOG-gestütztes natürlich-sprachiges Geo-
Auskunftssystem

R. EICHHORN, U. HENGELHAUPT

Büro für Sozialhygiene des Bezirkes Suhl

Die praktische Anwendbarkeit und Akzeptanz von Geoinformationssystemen wird in hohem Maße von der Effektivität jener Systemkomponenten mitbestimmt werden, die einen dezentralen, operativen und nutzerfreundlichen Zugriff auf geographische Datenbasen im Sinne einer Auswertung bzw. Auskunftserteilung erlauben. Vor dem Hintergrund zunehmender Verfügbarkeit leistungsfähiger Mikrorechentechnik auf 16- bzw. 32-Bit-Niveau sind hard- und softwaremäßige Voraussetzungen zu erwarten, die auch für den Problembereich des nutzerseitigen Zugriffs auf Datenbasen neue Möglichkeiten eröffnen.

Von besonderem Interesse dürfte in diesem Zusammenhang u. a. die Sprache PROLOG (PROgrammierung in LOGik) sein, die sich schon für eine Reihe von Problemstellungen, insbesondere für komplexe "wissensbasierte" Anwendungen, so z. B. im Bereich der künstlichen Intelligenz, bei der Erstellung von natürlichen Sprach-Schnittstellen, sowie bei der Entwicklung von Expertensystemen als leistungsfähige Hilfsmittel erwiesen hat. Die deklarative Struktur und der deskriptive Charakter dieser Sprache ermöglichen Programmlösungen, die sich auf eine formal-logische Beschreibung des (geographischen) Problems reduzieren lassen. Zu einer derartigen Beschreibung gehören:

1. Name und Struktur von Objekten, die geographisch relevant sind,
2. Namen von Beziehungen, die zwischen diesen Objekten existieren,
3. Fakten und Regeln, die diese Beziehungen beschreiben.

Gegenwärtig kann auf IBM-kompatiblen Mikrorechnern wie ESER-PC 1834 bzw. Arbeitsplatzcomputer A 7150 eine geographische Daten- bzw. Wissensbasis implementiert werden, die über ein natürliches Sprach-Interface mittels komplexer Anfragen im Dialog auswertbar ist.

INTERPRETATION OF THE EARTH'S ELECTROMAGNETIC SOUNDING DATA USING
A BANK OF MODELS

V. V. SPICHAK

Academy of Sciences of the USSR
Institute of Terrestrial Magnetism and Radio-Wave Propagation
(IZMIRAN), Troizk

Zusammenfassung

Es wird eine neue Konzeption zur Interpretation elektromagnetischer Daten vorgeschlagen, die auf der "Interpretation" als Suche nach einem äquivalenten Bereich der Modellparameter im Raum basiert. Signifikantes Merkmal dieser Konzeption ist die multivariante Berechnung von elektromagnetischen Modellfeldern und ihre Speicherung in einer Bank in einem peripheren Speicher.

Abstract

A new approach to the problem of electromagnetic data interpretation, that regards "data interpretation" as search for an equivalence domain in the space of model parameters, is suggested. A significant feature of this approach is the multivariant calculation of model electromagnetic fields and their storage in a bank on a peripheral computer memory.

Резюме

Предложен новый подход к интерпретации электромагнитных данных, основанный на понимании "интерпретации" как поиске областей эквивалентности в пространстве модельных параметров. Существенной особенностью такого подхода является многовариантный расчет модельных электромагнитных полей и накопление их в банке на внешнем носителе информации ЭВМ.

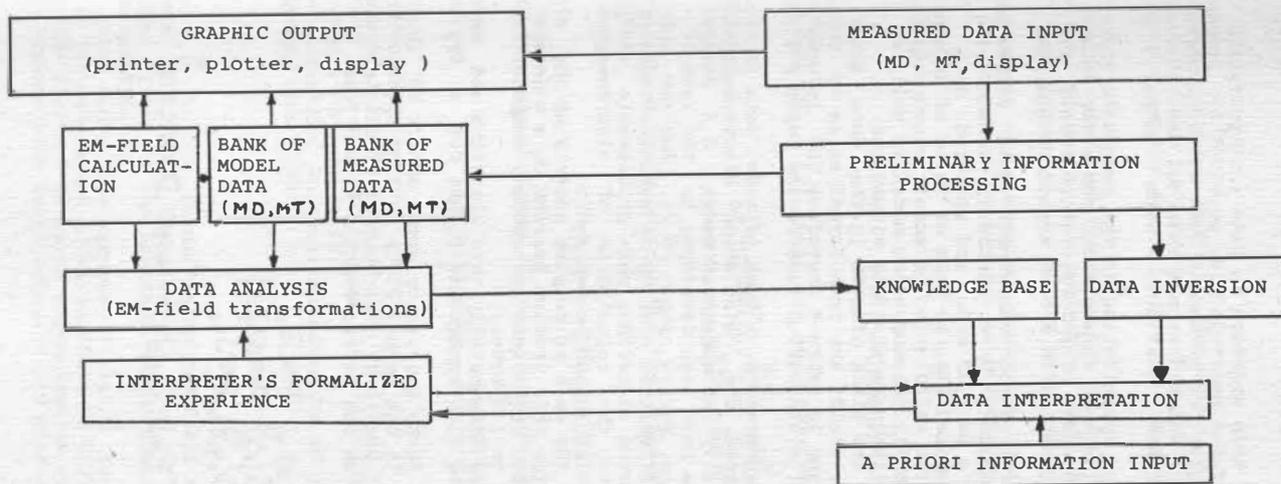
The aims of the Earth's electromagnetic soundings carried out today both from its surface and from near space are to solve structural problems, to search for mineral deposits often lying at great depths, to test various hypotheses concerning the origin of observed anomalies, etc. Profile and areal measurements of electromagnetic fields provide geophysicists with a large quantity of data conveying useful information about the spatial distribution of the Earth's conductivity.

Transition from profile observations (and, hence, two-dimensional data interpretation) to areal surveys (and, hence, three-dimensional data interpretation) has created a great demand for efficient methods of numerical modeling of electromagnetic fields in 3-D media, their analysis, and data interpretation. Now different approaches to electromagnetic data interpretation are under development at our Institute (see the block diagram of Fig. 1). They can be provisionally classified into two basic groups. One includes direct inversion techniques involving a priori information about a studied geoelectric section. Within this approach, data interpretation is identified with the solution of the so called inverse problem, since measured electromagnetic fields and a known one-dimensional distribution of the Earth's conductivity are used to establish the geometry of an anomalous region, the value of conductivity therein, etc. In this case the lack of exhaustive original information and the uncertainties stemming from measurement errors are an inevitable "evil" to be overcome by recourse to a priori information and by regularization of the solution process. Along these lines the recent years have witnessed fairly good results. In particular, IZMIRAN has elaborated the methods of tightening surfaces and finite functions / 1 /, the electromagnetic migration method / 2 /, and some others.

At the same time, in practical applications it often becomes necessary to interpret data under the conditions where a priori information on the Earth's conductivity distribution is either sadly lacking or insufficient for applicability of the above techniques. Here an alternative approach drawing on an expert system / 3 / may prove effective.

This latter approach to the problem of electromagnetic data interpretation regards "data interpretation" as search for an equivalence domain in the space of model parameters. Implementation of this approach involves:

- (1) generation of a bank of simplified models of realistic geophysical situations,
- (2) multivariant calculation of model electromagnetic fields and their storage in a bank on a peripheral computer memory,
- (3) search for invariants of fields and their transforms under parameter variations in the space of parameters of the field source, medium, and anomaly of electric conductivity,
- (4) data interpretation itself, i. e. establishment of correspondence between observed electromagnetic fields and equivalence domains in the space of model parameters.



443

Fig.1. Block diagram of electromagnetic data processing, analysis, and interpretation.

A significant feature of this approach to data interpretation is the utmost utilization of the opportunities provided by present-day computers, in particular, of permanent data store on peripheral information carriers, which does not rule out the allowance for formalized experience available with actual data interpretation.

A further important factor contributing in the suggested approach is the fact that, unlike the most common trial-and-error method of model selection, the processes of interpretation itself and of retrieval of stored information in a bank are organized on the time sharing basis.

Fig. 1 is a block diagram of electromagnetic data processing, analysis, and interpretation. Here centrally located are a knowledge base as well as a bank of model and measured data. The knowledge base is a formalized (in the form of rules of inference) experience available in the calculation of model electromagnetic fields in three-dimensionally inhomogeneous media as well as in the interpretation of realistic geophysical situations.

An essential element of the block diagram is the data analysis unit where electromagnetic fields are transformed so as to represent them more clearly and to extract therefrom the information about conductivity spatial distribution (see review paper / 4 /).

The major instrument in generating a bank of model data is the FDM3D program pack designed for calculating electromagnetic fields in three-dimensionally inhomogeneous media / 5 /. Several approaches to this problem have been developed in the last 10 - 15 years (see, for instance, review paper / 6 /). But the substantial computational difficulties arising in certain stages of realization of the suggested algorithms make problematic their practical applications to the calculation of electromagnetic fields in three-dimensionally inhomogeneous media.

Studies / 7, 8 / expound the main principles underlying the elaboration of an algorithm for this problem bearing on a moderate-speed (500 to 1 000 thousand operations per second) computer with a limited core memory (up to 1 M bytes).

In what follows we will describe briefly this algorithm and exemplify the calculation of electromagnetic fields for a typical three-dimensional model.

Let some domain Ω in the Earth's crust or upper mantle be isotropic, nonmagnetic ($\mu = \mu_0$ is the permeability of free space), and characterized by a three-dimensional distribution of electric conductivity $G(x, y, z)$ which can be represented in the form

$$G(P) \begin{cases} G(z), & P \in \Omega_1 \\ G(x, z), & P \in \Omega_2 \\ G(x, y, z), & P \in \Omega_3 \end{cases}$$

where $\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2 \cup \Omega_3$, $P = P(x, y, z)$, with $\Omega_i \neq \emptyset$.

The electromagnetic field in the domain Ω is induced by a plane wave vertically incident on the Earth's surface. The time dependence of the field is given by an exponential factor $\exp(-i\omega t)$.

Knowing a specified distribution $\sigma(x, y, z)$ it is necessary to determine electric and magnetic fields everywhere in the domain $\Sigma = \Omega \cup \Omega_0$ where Ω_0 is the lower atmosphere adjacent to Ω .

Over periods of interest to geophysics, the field in the domain Σ is quasi-stationary and satisfies the Maxwell equations:

$$\text{rot } \vec{H} = \sigma \vec{E} \quad (1)$$

$$\text{rot } \vec{E} = i\omega\mu_0 \vec{H} \quad (2)$$

Equations (1) - (2) yield an equation for the electric field:

$$\begin{aligned} \Delta \vec{E} - \text{grad}(\text{div } \vec{E}) + k^2 \vec{E} &= 0, \\ \text{where } k &= (i\omega\mu_0\sigma)^{1/2}, \text{ Re } k > 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Taking the divergence from the two sides of equation (1) we derive:

$$\sigma \text{div } \vec{E} + (\text{E, grad } \sigma) = 0 \quad (4)$$

With due account taken of (4), equation (3) takes the form:

$$\Delta \vec{E} + \text{grad} \left(\vec{E}, \frac{\text{grad } \sigma}{\sigma} \right) = 0 \quad (5)$$

To determine the electromagnetic field in the domain Σ , we have to solve a boundary-value problem for the field \vec{E} satisfying within Σ equation (5) and then calculate the value of \vec{H} according to formula (2).

The algorithm in question makes use of the following asymptotic boundary conditions:

$$\left\{ 1 - inr + r \frac{\partial}{\partial r} \right\} (\vec{E} - \vec{E}^n) = 0$$

where \vec{E}^n is the "normal" electric field corresponding to the case where $\sigma \equiv \sigma(z)$ for all $P \in \Sigma$; r is the distance between the points lying on the boundary of the domain Σ and the origin of the coordinates.

As noted above, the magnetic field \vec{H} can be readily calculated from the determined electric field by differentiating it in terms of the finite-difference approximation of equation (2). However, in regions with large conductivity gradients this way may cause

in the blunders calculation of the relevant derivatives of the electric field and, eventually, false values of the magnetic field. Particularly, in the calculation of the horizontal components

H_x and H_y at the Earth's surface according to formula (2), the derivatives $\partial E_x / \partial z$ and $\partial E_y / \partial z$ are not liable to stable determination. This difficulty is overcome by the Hilbert integral transforms / 2 /:

$$H_x(x_0, y_0, 0) = H_x^n - (2\pi)^{-1} \iint \frac{H_z(x, y)(x - x_0)}{[(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2]^{3/2}} dx dy$$

$$H_y(x_0, y_0, 0) = H_y^n - (2\pi)^{-1} \iint \frac{H_z(x, y)(y - y_0)}{[(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2]^{3/2}} dx dy$$

where the value of H_z is pre-calculated according to formula (2); H_x^n and H_y^n are the components of the "normal" magnetic field near the Earth's surface.

To derive discrete equations for space grid nodes, let us proceed from the continuous vector function \vec{E} to the discrete one $\vec{U}_{\ell, m, n}$ defined only at the node of this grid, and employ the approach known as an integro-interpolation method or a balance method.

Integrating equation (5) with respect to the volume of an elementary cell in the vicinity of the node (1, m, n) we obtain

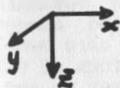
$$\iint_{S_{\ell, m, n}} \text{grad} \bar{U}_{\ell, m, n} dS + \iint (U_{\ell, m, n}, \text{grad} \ln G_{\ell, m, n}) dS + \iiint \kappa_{\ell, m, n}^2 \bar{U}_{\ell, m, n} dV = 0, \quad (6)$$

where $l = 1, 2 \dots L$; $m = 1, 2 \dots M$; $n = 1, 2 \dots N$.

Substituting the derivatives of U and G in equation (6) by finite differences and approximating the integrals by the trapezoid rule we arrive at a linear algebraic equation relating the values of the vector function U only in 7 adjacent nodes

$$\bar{U}_{\ell, m, n} = D_{\ell, m, n}^{(0)-1} \left\{ D_{\ell, m, n}^{(1)} \bar{U}_{\ell, m, n-1} + D_{\ell, m, n}^{(2)} \bar{U}_{\ell, m-1, n} + D_{\ell, m, n}^{(3)} \bar{U}_{\ell-1, m, n} + D_{\ell, m, n}^{(4)} \bar{U}_{\ell+1, m, n} + D_{\ell, m, n}^{(5)} \bar{U}_{\ell, m+1, n} + D_{\ell, m, n}^{(6)} \bar{U}_{\ell, m, n+1} \right\},$$

where $D_{\ell, m, n}^{(i)}$ ($i = 1, 2, \dots, 6$) are the matrix coefficients having a size (3×3) and determined by the grid geometry, distribution of conductivity G , and field frequency. The matrix of a system of linear algebraic equations (8) has a block-banded shape and it is very sparse. Such systems are solved most effectively by iterative methods. In particular, the study



$$\sigma_2 = 0.01 \text{ S/m}$$

$$h_2 = 50 \text{ km}$$

$$\sigma_3 = 1 \text{ S/m}$$

$$h_3 = \infty$$

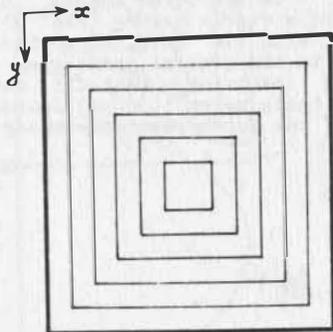


Fig.2. Model "island".

involves the use of the block over-relaxation method. As mentioned earlier, the above algorithm for problem solution is realized as a pack of the FDM3D programs in the FORTRAN-IV language / 5 /. It is noted for a relatively fast speed, acceptable accuracy of results, adaptation to the size of the core memory of the computer used, presentation of results in the form of tables, graphs, and maps of isolines of any field component at any section of a space grid.

The above possibilities provided by the FDM3D pack permit numerical modeling of electromagnetic fields in three-dimensional media a complex distribution of conductivity at minimum computing expenditures as well as store the computation results in the bank of solutions.

We will demonstrate now the potential of the FDM3D pack using, as example, a typical model of the "island"-type oceanic structure / 8 /. The relevant three-dimensional model is depicted in Fig. 2. The island is modelled by a rectangular inclusion whose conductivity increases from the center to its edges.

Poorly conducting formations in the Earth's crust and upper mantle are imitated by a homogeneous layer of conductivity σ_2 , while highly conducting formations of the mantle are presented by a homogeneous basement of conductivity σ_3 . Calculations were carried out for periods $T = 675$ s, $T = 168$ S, and $T = 21$ s.

Fig. 3 displays very well the current "channeling" at the "island" surface, which reflects the structure of conductivity horizontal distribution in the model. As the period increases, the "channeling" becomes blurred due to greater depths of current penetration to adjacent areas. On the ocean bottom, the structure of the anomalous field is of a dipole nature (Fig. 4).

In concluding, we wish to note that the present paper is restricted solely to the general principles of electromagnetic data interpretation involving a bank of models. The software generated on this basis makes it possible to analyze and interpret the results of the Earth remote sounding by electromagnetic techniques.

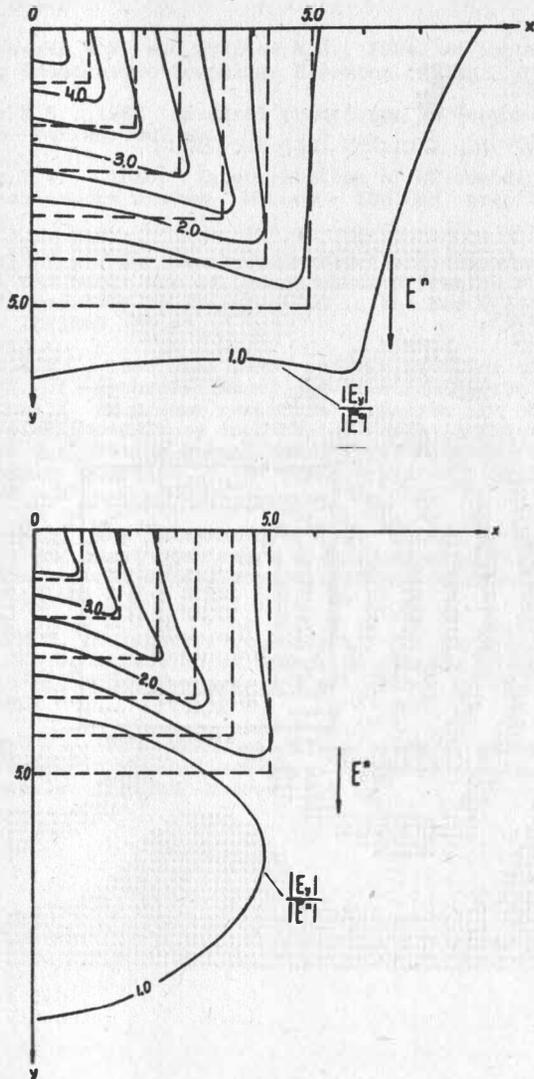


Fig.3. Maps of isolines of the normalized component of the electric field at the Earth's surface for periods $T=21$ s (top) and $T=168$ s (bottom).

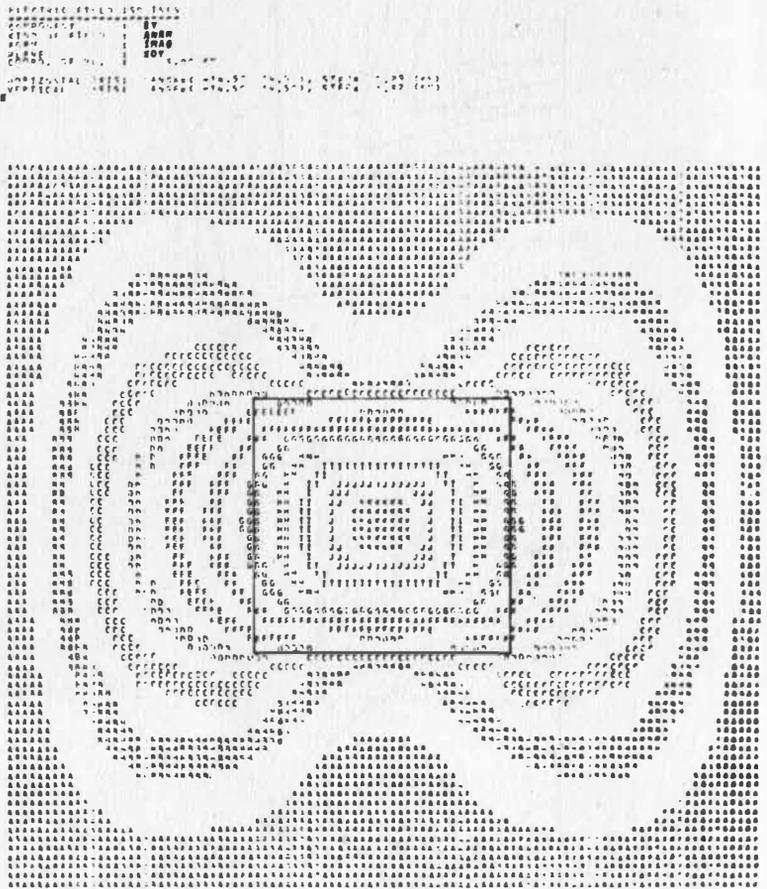


Fig.4. Map of isolines of an anomalous electric field ($\text{Im } E_x^a$) on the ocean bottom.

References

- / 1 / Berdichevsky, M.N. and Zhdanov, M.S., 1984. Advanced Theory of Deep Geomagnetic Sounding. Elsevier, 408pp.
- / 2 / Zhdanov, M.S., 1988. Integral transforms in Geophysics. Springer-Verlag, 367 pp.
- / 3 / Spichak, V.V., 1988. Interpretation of MT-sounding data using an expert system. Moscow, IZMIRAN preprint (in press).
- / 4 / Spichak, V.V., 1988. Electromagnetic field transformation methods and their use in interpretation (review paper). Proc. IX Workshop on EM-induction in the Earth and Moon. Moscow, IZMIRAN, 20 pp.
- / 5 / Spichak, V.V., 1983. The FDM3D program pack for numerical modeling of a three-dimensional electromagnetic field. Algoritmy i programmy resheniya pryamykh i obratnykh zadach elektromagnitnoy induktsii v Zemle (Algorithms and Programs for Solving Direct and Inverse Problems of Electromagnetic Induction in the Earth). Moscow, IZMIRAN, p. 58-68.
- / 6 / Zhdanov, M.S. and Spichak, V.V., 1984. Modern methods used for modeling quasi-stationary electromagnetic fields in three-dimensional media. Moscow, IZMIRAN preprint No 45 (519), 31 pp.
- / 7 / Zhdanov, M.S.; Golubev, N.G.; Spichak, V.V.; Varentsov, Iv.M. 1982. The construction of effective methods for electromagnetic modeling. Geophys. J.R.Astr.Soc., v. 68, No 3, p. 589-607.
- / 8 / Spichak, V.V., 1983. Mathematical modeling of electromagnetic fields in three-dimensional inhomogeneous media. Ph.D. thesis. IZMIRAN, Moscow, 215 pp.

Zu Beziehungen zwischen Digitalkartographie und Geoinformatik

H. Wirth

Akademie der Wissenschaften der DDR
Zentralinstitut für Physik der Erde, Potsdam

Der Einfluß der digitalen Rechentechnik ist in allen gesellschaftlichen Bereichen grundsätzlicher Art. Er zwingt zur Konzipierung neuer Lösungswege und zum Überdenken überkommener Konventionen und Technologien zur Erzeugung und Bereitstellung von Produkten mit gesellschaftlich nützlichen Eigenschaften. "Erdgebundene" oder "territoriale" Daten/Informationen sind derartige Produkte.

Territoriale Informationen werden verbreitet als graphische Karten dargestellt und genutzt. Gegründet auf den realen Bedarf werden gegenwärtig weltweit erhebliche wissenschaftlich-technische, materielle und finanzielle Aufwendungen für die Realisierung einer rechnergestützten Produktion und Laufendhaltung von Kartenwerken eingesetzt.

Die Automatisierung in der Kartographie bedeutet die Automatisierung einer Folge von kartographischen Prozessen. Voraussetzung dafür ist eine vollständige digitale Erfassung der in Karten graphisch dargestellten Informationen und deren Speicherung auf digitalen Speichermedien als Datenbasis für die nachfolgenden rechnergestützten kartographischen Bearbeitungen.

Die durchgängige automatisierte Kartenproduktion erfordert die Schaffung eines spezialisierten Informationssystems für territorial gebundene Daten/Informationen der drei Grundtypen "punkt"-, "linien"- und "flächenbezogen". Im Rahmen von Geoinformationssystemen ist ein weiterer Grundtyp, die "volumenbezogenen" Daten/Informationen, einzubeziehen. Ferner tritt bei allen Informationstypen ihre Zeitabhängigkeit stärker in den Vordergrund.

Die Nutzungsziele von Geoinformationssystemen sind von erheblicher Vielfalt und schließen z. B. kartographische Aufgabenstellungen ein. Deshalb müssen die fundamentalen Strukturen der Datenbasis erweiterungs- und abänderungsfähig gestaltet werden.

Ein Modell der Integration von Fernerkundungsinformationen in rechnergestützte Informationssysteme

R. DONNER

Technische Universität Dresden, Sektion Geodäsie und Kartographie

Zusammenfassung

Daten der Fernerkundung haben große Bedeutung für die Aktualisierung von Geoinformationssystemen. Die unzureichende geometrische Genauigkeit und thematische Zuverlässigkeit der durchgängig digitalen Bildauswertung bringt der visuellen Interpretation in der gegenwärtigen Praxis den Vorzug. Eine Vielzahl der mit der Integration visuell interpretierter Informationen in räumliche Informationssysteme verbundenen Funktionen werden von modernen analytischen photogrammetrischen Auswertegeräten gut unterstützt. Allerdings ist die hohe geometrische Genauigkeit dieser Geräte nicht immer erforderlich. Expertensysteme eröffnen der durchgängig digitalen Auswertung von Daten der Fernerkundung neue Möglichkeiten.

Summary

Remote sensing data play an important role in actualizing geoinformational systems. A not satisfactory geometric precision and thematic reliability of the comprehensive digital image evaluation give preference to the visual interpretation in recent practice. A number of functions connected with the integration of visually interpreted information to spatial information systems are well supported by modern analytical photogrammetric evaluation devices. A high geometrical precision of these devices, indeed, is not always necessary. Expert systems open new ways for a complete digital data evaluation.

Резюме

Данные дистанционного зондирования играют важную роль в актуализации геoinформационных систем. Недостаточная геометрическая точность и тематическая надёжность полной цифровой обработки снимков делают визуальную интерпретацию в практике сегодняшнего дня более приемлемой. Множество функций, связанных с объединением визуально интерпретируемой информации в пространственные цифровые системы, осуществляются с помощью современных аналитических приборов для фотограмметрической обработки данных. Высокая геометрическая точность этих приборов, конечно, не всегда может быть использована. Экспертные системы открывают перед полной цифровой обработкой данных дистанционного зондирования новые возможности.

1 Problemanalyse

Die digitale Verknüpfung von Daten verschiedener Quellen mit aktuellen Bildaufzeichnungen innerhalb eines räumlichen Informationssystems erschließt neue Möglichkeiten der Entscheidungsvorbereitung. Das gilt insbesondere für die komplexe Auswertung von auf die Erde oder die Erdatmosphäre bezogenen Daten und Daten der Fernerkundung innerhalb eines Geoinformationssystems (GIS). Ein modernes GIS gestattet

- die effektive Erfassung von Daten und Wissen aus verschiedenen Quellen, einschließlich der Fernerkundung. Dazu gehören Koordinaten, punkt-, flächen-, raumbezogene Daten und deren numerische, nichtnumerische Attribute und Qualitätsmaße, aber auch Modelle und Methoden als formalisierte Erfahrung, in Gestalt von Regeln, semantischen Netzen, Listen oder spezifischen Sprachen.
- deren rationelle Speicherung und Verwaltung;
- eine arithmetische oder logische Verknüpfung verschiedenartiger Informationen und
- die nutzergerechte Darstellung der Ergebnisse.

Hier soll die Erfassung aus Fernerkundungsdaten (DFE) abgeleiteter Informationen behandelt werden.

Die Verbindung von Fernerkundung und rechnergestützter Auswertung ermöglicht heute die operative Nutzung des "Werkzeuges" Informationssystem auf den Gebieten Landnutzung, Umweltschutz, Forstwirtschaft, Territorialplanung, Ressourcenerkundung und -bewirtschaftung, Landwirtschaft und Geowissenschaften. Beispielsweise sollen in der DDR Daten der Fernerkundung auch im

- digitalen Datenspeicher des Institutes für Geographie und Geoökologie Leipzig
- Datenspeicher Waldfonds
- Datenspeicher Boden der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften
- Räumlichen Informationssystem der Stadt Dresden

genutzt werden.

Im Rahmen der Datenerfassung sind folgende drei Teilaufgaben zu lösen:

a) Räumliche Zuordnung der Bilddaten

Die Verbindung zwischen den aktuellen Bilddaten und den vorhandenen Daten ist für die Auswertung unerlässlich und erfolgt über das Ordnungselement des Informationssystems, den Raumbezug. Dabei kann eine regionale, d.h. sehr grobe Zuordnung ausreichen oder mit der Genauigkeit des räumlichen Auflösungsvermögens erforderlich sein. Bei höheren Anforderungen wird eine fotogrammetrische Einpassung der Daten notwendig. Hierbei sind, abhängig von der notwendigen Genauigkeit, technologisch und gerätetechnisch unterschiedlich aufwendige Verfahren möglich. Der Aufwand hängt von der Aufgabe bzw. deren Lösungsweg ab und fällt in den Bereich zwischen näherungsweise optischer Einzelbildentzerrung, grafischer Entzerrung und punktwise analytischer Auswertung.

b) Dechiffrierung und Interpretation

Interpretation im weiteren Sinn ist das Entschlüsseln der in Signalen (z.B. Schwärzungsänderung im Bild) oder Daten bereits implizit vorhandenen Information und die Ableitung neuer Informationen daraus. Interpretation im engeren Sinne umfaßt nur die Ableitung neuer Informationen und gehört zum o.a. dritten Aufgabenbereich eines GIS.

Unter Dechiffrierung wird das Entschlüsseln der im Bild bereits vorhandenen Information verstanden. Der Begriff wird vielfach mit Objekterkennung gleichgesetzt. Das Ergebnis der Dechiffrierung ist die explizite Darstellung der relevanten Information.

c) Datenkonversion

Hierzu gehören Editieren ,Strukturieren ,Formatieren und datenbankgerechte Aufbereitung der abgeleiteten Information.

Die Entschlüsselung der Bildinformation erfolgt anhand von Interpretationsmerkmalen, d.h. anhand charakteristischer geometrischer, physikalischer oder funktionaler Eigenschaften, die Objekten einer Klasse eine gemeinsame Bedeutung zuordnet und verschiedene Klassen zu unterscheiden gestattet. Ein Teil der objektbeschreibenden Eigenschaften ist in den Bilddaten in Form des Grauwertes (der Farbe) bzw. deren räumlichen Anordnung enthalten. Die in der klassischen Fotointerpretation verwendeten Interpretationsmerkmale können nach steigender Komplexität geordnet werden:

	Grauton/Farbe		- primäres Merkmal, Einzelinformation
Größe	Form	Textur)
) Funktion der
Struktur	Höhe	Schatten) räumlichen Anordnung
) des primären Merkmals,
Lage	Kontext	Vergesellschaftung) Folgen von Einzelinf.

Da die Interpretationsmerkmale die Grundlage für die qualitative und quantitative Bildanalyse bilden, sollte bei der Gestaltung des gesamten Informationsgewinnungsprozesses von den Übertragungseigenschaften des Systems bezüglich der für die Interpretation relevanten Merkmale ausgegangen werden. Die Bedeutung der einzelnen Interpretationsmerkmale für eine bestimmte Aufgabe hängt von der Objektgröße ab. Vereinfacht kann man sagen, daß die komplexeren Interpretationsmerkmale (Struktur, Höhe, Lage, Kontext) gegenüber den Primärmerkmalen Grauton/Farbe mit zunehmender Objektgröße an Bedeutung gewinnen. Das gilt beim Übergang auf antropogene Objekte, insbesondere für die Höheninformation. Bei Objektgrößen unter 30 m ist ein Abstandsbild für die Erkennung des Objektes und dessen räumlicher Anordnung informativer als ein Intensitätsbild. Dabei darf natürlich nicht vergessen werden, daß der Rechenaufwand beim Übergang auf die dritte Dimension um etwa eine Größenordnung steigen wird. Der Objekterkennung folgt die Analyse des Zustandes vorwiegend auf der Grundlage physikalischer

und funktionaler Merkmale.

2 Rechnergestützte Informationserfassung aus Bilddaten

In diesem Abschnitt wird ein Überblick über die Möglichkeiten der Integration aus Daten der Fernerkundung abgeleiteter Informationen als Bestandteil eines Geoinformationssystems gegeben. Es wurde versucht, die aus verschiedenen Wissenschaftsgebieten stammenden Operationen der Aufgabenstellung unterzuordnen. Dabei entstand das Modell, wie es in Abb. 1 vorgestellt wird. Bereits jetzt sind nicht alle sinnvollen Verbindungen eingetragen, einige Felder sind noch frei, andere werden bei der praktischen Umsetzung ihre Plätze wechseln.

Erläuterung der einzelnen Prozesse:

Abbildung. Die Remissionseigenschaften der Objekte auf der Erdoberfläche modulieren die remittierte und reflektierte elektromagnetische Strahlung der Sonne oder eines aktiven Sensors. Durch die Inhomogenität des Objektes, aber auch durch den Übertragungskanal wird im Sensor ein verrauschtes Signal empfangen, das in seiner zweidimensionalen Ausdehnung Auskunft über die Richtungen im Raum zu den Objektpunkten gibt. Wenn durch die elektromagnetische Strahlung die Kristalle einer fotografischen Schicht belichtet werden, entsteht nach der Laborverarbeitung ein fotografisches Bild, dessen optische Dichte entsprechend der charakteristischen Kurve (Kennfunktion des Systems) von der Strahlungsintensität abhängt. Bei elektrooptischen Sensoren wird das örtlich diskretisierte Signal in elektrische Spannungen umgewandelt, deren Größe quantisiert und danach durch einen Zifferncode repräsentiert wird. Bei aktiven Verfahren ist mitunter eine kompliziertere Umrechnung der unmittelbaren Meßgrößen in Objekteigenschaften notwendig. (Zu den in der Fernerkundung am häufigsten eingesetzten aktiven Systemen - die beobachtete Szene wird künstlich angestrahlt - gehört das Seitensicht radar mit realer oder künstlicher Apertur. Dabei werden Mikrowellenimpulse zur Erde gesendet und die Spannung der zurückkommenden Strahlung in Abhängigkeit von der Echozeit gemessen. Das Radarmeßbild hängt hinsichtlich des Objektes von der Geometrie, dem Reflexionsvermögen, der Oberflächenrauigkeit sowie von Anisotropie und Absorptionseigenschaften des Objektes ab. Zu den Vorteilen der Mikrowellensensoren gehört die nahezu vollständige Unabhängigkeit von der Witterung und von der Tageszeit, die gute Durchdringung von Vegetation, Schnee und Eis und die von der Schrägentfernung unabhängige, hohe geometrische Auflösung (Seitensicht radar mit künstlicher Apertur). Dem stehen Schattenbildung und - besonders in den nicht so hoch entwickelten Ländern - ein hoher technischer Aufwand und eine aufwendige rechentechnische, geometrische Auswertung gegenüber./MNUAL, S. /) Im Ergebnis der Abbildung entstehen ein- oder mehrkanalige fotografische oder digitale Abbildungen. Während der Bildgewinnung werden Zusatzdaten gemessen, die die Analyse unterstützen oder erst ermöglichen. Solche Zu-

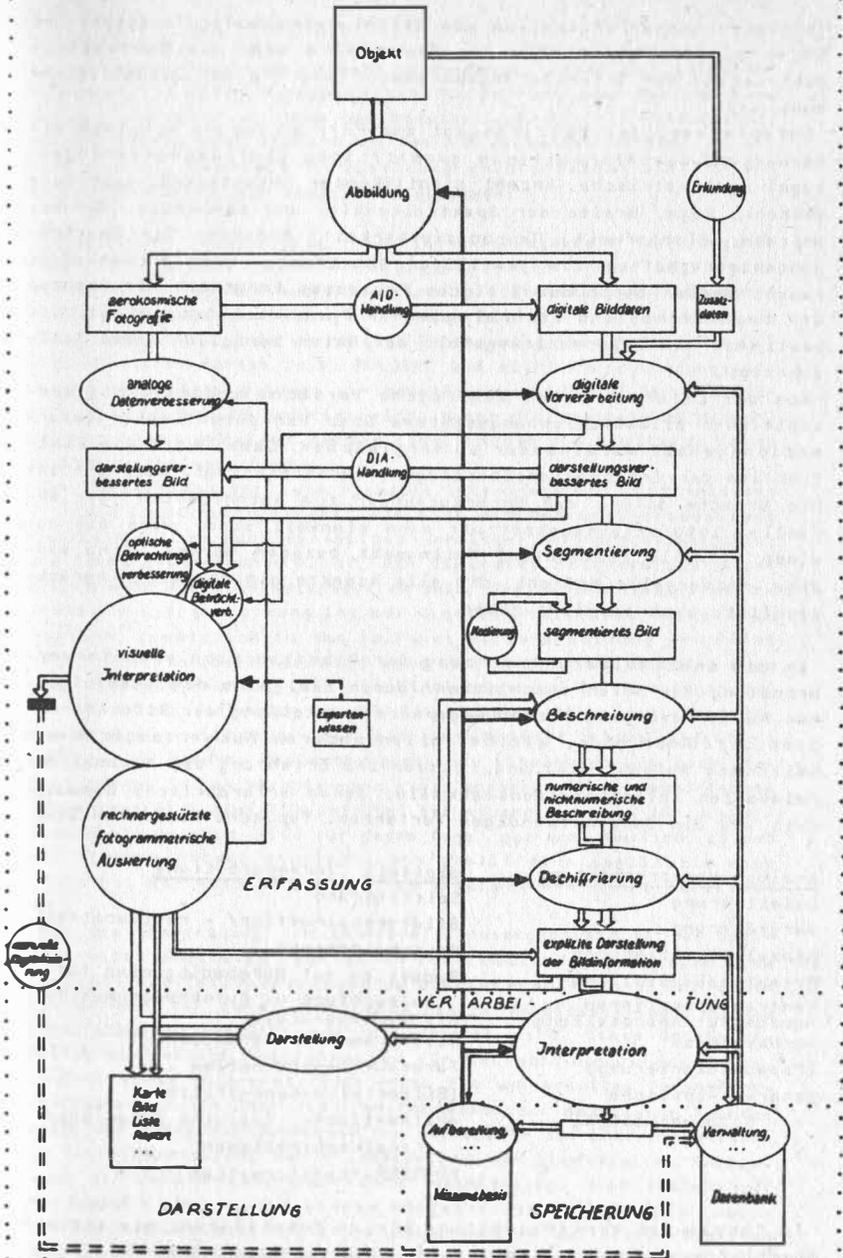


Abb. 1 Modell der Integration von Daten der Fernerkundung innerhalb eines Geoinformationssystems

satzdaten können Ergebnisse von Strahlungsmessungen ausgewählter Objekte, der Transparenz der Atmosphäre oder die Echtzeitregistrierung der Orientierungsparameter während der Bildaufzeichnung sein.

Entsprechend dem Multikonzept der Fernerkundung besitzen die Fernerkundungsinformationen geometrische (Auflösungsvermögen, Lage) radiometrische (Anzahl signifikanter Graustufen), spektrale (Anzahl, Lage, Breite der Spektralkanäle) und temporale (Wiederholrate, Planbarkeit, Reproduzierbarkeit) Aspekte. Die Übertragungseigenschaften des jeweiligen Abbildungs- oder Auswerteprozesses werden durch das Ziel des Prozesses innerhalb der Grenzen der technischen und technologischen Parameter festgelegt. Sie bestimmen den Informationsgehalt der Daten bezüglich jedes Teilaspektes.

Aus der Literatur sind zahlreiche Versuche bekannt, die verschiedenen Bildaufzeichnungssysteme über den potentiellen Informationsgehalt miteinander zu vergleichen. Dabei wird die Zielfunktion der Informationsübertragung vernachlässigt. Aber sie ist die Ursache dafür, daß Untersuchungen zum potentiellen oder aktuellen Informationsgehalt nur dann sinnvoll sind, wenn sie auf einen (jeweils relevanten) Teilaspekt bezogen werden. Eine einzige, universelle Maßzahl, die alle Aspekte gleichermaßen berücksichtigt, kann es nicht geben.

An die unmittelbare Gewinnung der Rohdaten kann eine Vorverarbeitung der Daten anschließen, deren Ziel eine dem nachfolgenden Auswertevorgang besser angepaßte Darstellung der Bildinformation ist. Auch hier, wie bei allen anderen Auswerteschritten, bestimmen Aufgabenstellung, Wissen und Erfahrung die Auswahl der relevanten Interpretationsmerkmale, deren erforderliche Genauigkeit und die dazu notwendigen Verfahren. Typische Verfahren sind:

<u>analoge Vorverarbeitung</u>	<u>digitale Vorverarbeitung</u>
Selektierung	Selektierung
Vergrößerung	Bildrekonstruktion/ -restauration
Einzelbildentzerrung	Rauschminderung
Orthofotoherstellung	Reduktion auf Normbedingungen für
Kontrastoperationen	Beleuchtung u. Aufnahmegeometrie
Äquidensitenherstellung	Histogrammanalyse
Farbsynthese	Histogrammtransformation
(Pseudokolorierung)	Farbraumtransformation
kohärent-optische	(Bildortsfrequenz-)Filter
Bildbearbeitung	arithmetische, logische Bild- oder
	Kanalkombinationen
	FOURIER-Transformation

Im Rahmen der Vorverarbeitung können Zusatzdaten, wie sie aus Anschlußmessungen (radiometrische Referenzdaten, Paßpunkte), Kalibrierungsdaten des Sensors (Laboruntersuchungen der fotogrammetrischen Kammer, der Filter, der Bodenlukenabschlüsse, der Filme) oder während der Aufnahme gemessenen Bezugsdaten (z.B. bei SPOT

in der ersten Zeile der Szene hervorgehen, Daten (z.B. digitale Höhenmodelle für die geometrische Entzerrung oder für das Ausblenden von Schattenzonen) und Modelle (z.B. für die Beleuchtung) aus der Daten- oder Wissensbank des GIS verwendet werden.

Analoge und digitale Verarbeitung unterscheiden sich in den folgenden Operationen stärker voneinander.

Unzureichend detaillierte thematische Aussagekraft und ungenügende Genauigkeit der durchgängig digitalen Auswertung führen bis heute zur nahezu ausschließlich optisch-analogen Bildauswertung bei Routineanwendungen. (Hier ist die Ursache dafür zu sehen, daß bislang die vorrangige Datenquelle beim Aufbau der GIS digitalisierte Karten /z.B. MULDER/ und nicht Fernerkundungsaufzeichnungen sind.) Solange der hohe Abstraktionsgrad der Information, wie er im GIS benötigt wird, durch die digitale Bildverarbeitung nicht erreicht werden kann, werden die digitalen Daten analog weiter-verarbeitet.

Der nächste Schritt, die visuelle Interpretation wird meistens an einem Gerät durchgeführt, das eine Betrachtungsverbesserung realisiert. Das kann ein optisch-analoges Interpretationsgerät, ein fotogrammetrisches Gerät, ein digitales Bildverarbeitungssystem oder ein Bildanalyse-System sein. Die umfangreichste Interpretationsunterstützung ist bei digitalen Bildanalyse-Systemen möglich. Zusätzlich zu den im Punkt Vorverarbeitung genannten Möglichkeiten (dort erfolgt eine Speicherung des Bildes) sind hier Stereobetrachtung und das Einblenden von Informationen aus der Datenbank (entweder in den Strahlengang einer optischen Betrachtungsvorrichtung oder auf den Monitor eines digitalen Systems) zu nennen. Das deckungsgleiche Einblenden von Zusatzinformationen in den Strahlengang eines modernen fotogrammetrischen Auswertegerätes (Superimposition) ist neuerdings auch für dreidimensionale Objekte, also für jedes Auge getrennt möglich, so daß ein Stereoeindruck entsteht, und stellt eine qualitativ neue Stufe bei der Aktualisierung von Datenbeständen mit Bilddaten dar.

Für die Übertragung der Interpretationsergebnisse in den Speicher eines digitalen räumlichen Informationssystems sind eine Vielzahl von Teioperationen zu absolvieren (Abb. 2) von denen ein großer Teil durch fotogrammetrische Arbeitsstationen (siehe PIETSCHNER) unterstützt oder gar ersetzt wird. Diese Geräte besitzen auch einige Möglichkeiten zur Betrachtungsverbesserung, ähnlich einem Interpretationsgerät. Ein universelles Datenerfassungsgerät stellt über die Transformation der gemessenen Koordinaten den Bezug zur Datenbank her und sollte die interpretationsgerechte Darstellung der Bilddaten und die quantitative Bestimmung der Interpretationsmerkmale unterstützen. Nach Ansicht des Verfassers gibt es auf diesem Gebiet trotz der bereits realisierten, zahlreichen Hilfsfunktionen geräte- und softwareseitige Entwicklungsmöglichkeiten. In Tafel 1 sind wesentliche neue Qualitäten solcher moderner analytischer fotogrammetrischer Arbeitsstationen angegeben, welche die oben bereits erwähnte Eignung

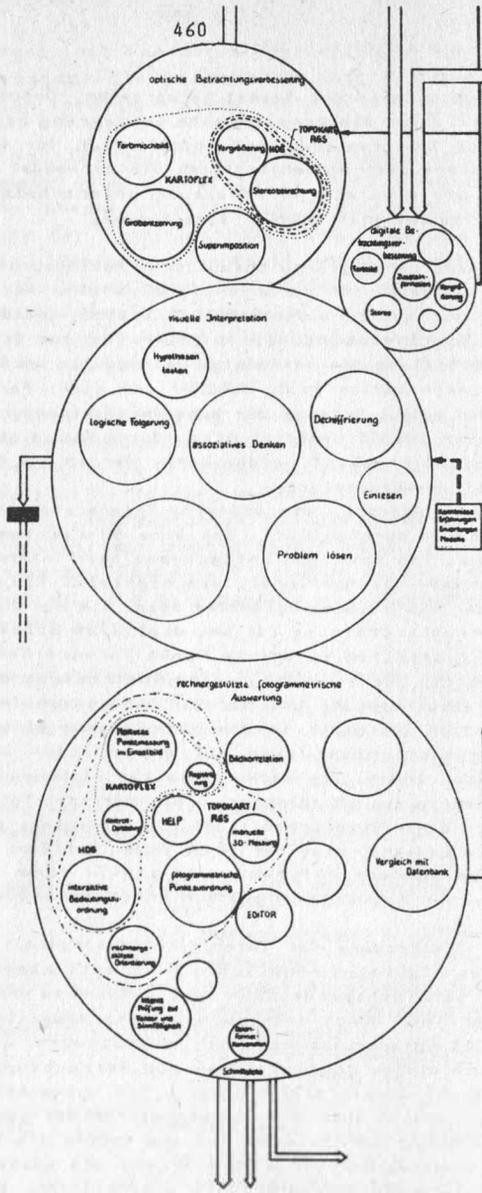


Abb. 2 Rechnergestützte fotogrammetrische Auswertung

insbesondere dieser Klasse fotografometrischer Geräte innerhalb eines GIS unterstreichen.

Tafel 1: Vergleich fotografometrischer Arbeitsstationen und rechnergestützter Auswertung

<u>fotogrammetrische Arbeitsstationen</u>	<u>rechnergestützte Auswertegeräte</u>
Ziel	
Datenbankarbeit	Automatisierung d.
==) on-line Verbindung zur DB	Kartenherstellung
==) Karten als ein möglicher DB-Auszug	
Datenstruktur	
objektbezogen	kartenobjektbezogen
komplexe Mehrebenenstruktur (topol. strukt. Netzwerke)	Objektcode am Beginn jedes Elementes
Trennung von Objekt und Darstell. numerische, nichtnumerische Attribute bei Bedarf: 3D-Struktur	(Fläche, Linie, Punkt) +Darstellungsschlüssel
Strukturierung während Erfassung	keine logische Unterstruktur
Service	
z.B. Editieren: wahlweise während oder nach Datenerf. interne Tests auf Widersprüche Superimposition	anschließend, ohne Unterstützung
Gesamt	
fotogrammetrisch unterstützte Interpretation = DB-Arbeit	Digitalisierung +Objektcodevergabe
Entwicklungstendenz	
Ausbau zu raumbezogenen IS auf Niveau eines Expertensystems	

Die in der DDR angebotenen fotografometrischen Auswertegeräte sind bestenfalls als kartenorientierte Systeme zu bezeichnen. Der Umfang der Hilfsfunktionen dieser Geräte reicht von Null, d.h. sie besitzen eine Anschlußmöglichkeit für die Registrierung gemessener Bildkoordinaten in maschinenlesbarer Form (z.B. KARTD-FLEX oder Spiegelstereoskop/HDG), bis zur Speicherung mit Kennzeichen versehener Objektkoordinaten als ASCII-File auf Magnetband (TOPOCART/RGS mit Magnetbandstation).

Bei der durchgängig digitalen Bildbearbeitung folgt auf die Vorverarbeitung die Zerlegung des Bildes in Teile (Segmente) mit bezüglich eines vorgebbaren Kriteriums homogenen Eigenschaften. Verbreitete Verfahren dazu sind die Pixelklassifikation (z.B. auf der Grundlage von Nachbarschaften, spektraler oder textueller Eigenschaften), Kontursuchverfahren, Gebietswachstumsverfahren, Bildkorrelation, Morphologie, Kanten-, Liniendetektion, Clustering. Die Segmentierung schließt mit der Kennzeichnung der Segmente, Labeling, ab.

Durch die Beschreibung werden den Segmenten Prädikate in Form numerischer, meßbarer Größen wie statistische Beschreibung (Momente 1. und 2. Ordnung, Korrelationsfunktion, Leistungsspektrum)

spektrale Charakteristik

topologische Beschreibung (Nachbarschaft, Zusammenhang, Verbindung)

strukturelle Beschreibung (Syntax)

abgeleitete metrische Beschreibung (Lage, Form, Größe, Länge, Orientierung, Schwerpunkt, Höhe, räumliche Gliederung, Anteile, Genauigkeitsmaße)

zugeordnet. Zur Vorbereitung der Berechnung der Prädikate können Objektextraktion oder morphologische Operationen notwendig sein. Für die nachfolgende Auswertung ist vielfach der Übergang zur nichtnumerischen Beschreibung der Prädikate anzustreben /SÜLLNER/, d.h. den Segmenten oder Gruppen von Prädikaten wird eine Bedeutung zugeordnet. Dadurch wird die Beschreibung allgemeingültiger und gestattet eine günstigere Gestaltung der Verarbeitung. Selbstverständlich hängt die Auswahl geeigneter Interpretationsmerkmale vom Problem ab.

Im Ergebnis der Beschreibung der Elementarflächen entsteht eine (mehrdimensionale) relationale Liste segmentbezogener Merkmalsätze. Das ist ein Graph, dessen Blätter den Segmenten entsprechen, die Kanten spiegeln die Relationen zwischen den Bildteilen wider und sind gleich den Knoten und Blättern durch Listen von Eigenschaften charakterisiert. Dabei ist zu beachten, daß die Struktur eines Objektbildes stark von der Orientierung zwischen Objekt und Aufnahmesystem und von der Beleuchtung abhängt.

Die im Bild zu erwartenden Objekte werden ihrerseits ebenfalls durch solch eine Menge mit Eigenschaften versehener relationaler Strukturen beschrieben (Interpretationsschlüssel). In der Objektbeschreibung müssen Regeln für die Anpassung der Objektstrukturen an die aktuelle Aufnahmegeometrie enthalten sein. Für die Umrechnung der geometrischen Modelle in deren zweidimensionale Abbildung können CAD-Lösungen genutzt werden.

Die Objektklassifikation kann nun durch den Vergleich von Teilgraphen der Bildbeschreibung mit Mustergraphen erfolgen /KAZMIERCZAK/. Während dieses Prozesses kann eine iterative Wiederholung vorangegangener Bearbeitungsschritte erforderlich sein.

Dieses aus der Bildverarbeitung übernommene Auswertemodell könnte in der Fernerkundung zur Beschreibung der Struktur oder des Kontextes genutzt werden. Wenn es gelingt, die relevante Information in der zweidimensionalen Bildebene aufzufinden, also ohne Rückgriff auf die dreidimensionale Originalform des Objektes, vereinfacht sich die Graphenstruktur wesentlich, da dann viele der gesuchten Objekte bereits mit Segmenten identisch sind. Die Segmente werden dann ausschließlich durch ihre Prädikate beschrieben und in der Graphenstruktur sind Wurzel und Blatt direkt miteinander verbunden. Die Dechiffrierung ist beendet.

wenn den Objekten ihre Bedeutung zugeordnet wurde. Es entsteht eine stark vereinfachte Graphenstruktur, die den relevanten Bildinhalt wiedergibt.

Die fachspezifische Interpretation der Bildinformation ist gegenwärtig ausschließlich dem Fachmann überlassen. Er verknüpft sein Wissen, seine Erfahrung mit dem Bild und leitet, gegebenenfalls nachdem er Messungen im Bild durchgeführt hat, neue Informationen daraus ab. (Die gleichen Interpretationsschritte wie z.B. Testen von Hypothesen, logische Folgerung sind in Expertensystemen wiederzufinden.)

Die in der nächsten Zukunft absehbaren rechentechnischen Möglichkeiten werden kompliziertere Verknüpfungen der Daten- bzw. Wissensbasis zulassen, aber eine Ableitung neuer Informationen ist zunächst nicht zu erwarten.

3 Realisierbarkeitsrahmen

Visuelle Interpretation. Fotogrammetrische Arbeitsstationen realisieren bereits die Verbindung von Fotogrammetrie und Datenbank. Die Einbeziehung der Bildverarbeitung führt zu einem leistungsstarken System für die Integration von Fernerkundungsinformationen innerhalb eines GIS. Wenn man jedoch die hohen Kosten eines solchen Gerätesystems berücksichtigt, ist es angezeigt, nach wesentlich kostengünstigeren Varianten zu suchen. Es müßte ein System sein, das die Interpretation unterstützt und möglichst viele der in Abb. 2 aufgeführten Operationen ermöglicht, aber durch eine auf das notwendige Maß verminderte geometrische Genauigkeit wesentlich kostengünstiger wird. Eine Unterstützung der Interpretation kann bereits durch optische Bauelemente (optische Weichen, Farbfilter, optische Prozessoren) erfolgen. Neben dieser einfachen Darstellungsverbesserung für die visuelle Interpretation kann die digitale Bildverarbeitung eingesetzt werden. Ein erster Schritt wäre die quantitative Berechnung der Interpretationsmerkmale, kompliziertere Operationen, auch unter Verwendung von Daten und Wissen aus dem Speicher des Informationssystems, könnten folgen. Sicherlich wäre ein modulares System sehr gut geeignet, den verschiedenen Nutzeranforderungen (insbesondere bezüglich des Umfanges und der notwendigen geometrischen Genauigkeit) mit kostengünstigen Varianten zu entsprechen. Vorstellbar wäre also eine Palette zwischen analytischer fotogrammetrischer Arbeitsstation, gekoppelt mit schneller Bildverarbeitung, und ausgebautem KARTOFLEX. Die Verbindung von rechnergestützter Fotogrammetrie mit Bildverarbeitung und Datenbanksystem wäre allen Systemen gemeinsam. Für den Ausbau der in der DDR zur Zeit verfügbaren, in Frage kommenden Geräte zu echten Erfassungsgeräten für die Bildinformation sind umfangreiche geräte- und softwareseitige Erweiterungen vorzunehmen, die nach Ansicht des Verfassers durch den Anwender nicht sinnvoll realisiert werden können.

Digitale Bildauswertung. Die meisten Erfahrungen liegen auf dem

Gebiet digitale Vorverarbeitung vor. Eine Reihe methodischer Grundlagen dazu wurde am ZIPE (Potsdam) erarbeitet und kann übernommen oder ggf. leicht auf die jeweilige Aufgabe übertragen werden.

Am Informatikzentrum des MHF an der TU Dresden liegen umfangreiche Kenntnisse zur Bildsegmentierung vor. Gegenwärtig wird damit begonnen, diese Ergebnisse auf Luftbilder anzuwenden. Diese Untersuchungen sind sehr zeitgemäß, auch im Vergleich zur internationalen Literatur.

Entsprechend dem Hauptanwendungsgebiet der Fernerkundung in der DDR -Zustandsermittlung- sollten die begrenzten Forschungskapazitäten konzentriert werden. Die Arbeiten im Komplex "automatisierte Objekterkennung" sollten mit einer Übernahme jener Erkenntnisse beginnen, die in anderen Wissensgebieten (z.B. Maschinenbau) bereits vorliegen.

In der Literatur sind vielversprechende Beispiellösungen für die Folge Segmentierung - Beschreibung - Objekterkennung /MATSUYAMA/ zu finden. Sie basieren auf der Anwendung von Lösungsmethoden, wie sie die künstlich simulierte Intelligenz ermöglicht. Die Auswertung der Bilddaten wird durch Daten und Modelle aus dem Speicher des Informationssystems gesteuert. Es zeigt sich, daß geographische Informationssysteme mit ihren Methoden- und Datenbanken bereits wesentliche Voraussetzungen für die Anwendung von Expertensystemen für die digitale Auswertung von Fernerkundungsaufzeichnungen besitzen.

Wenn vom empirischen Ausprobieren verschiedener Algorithmen zu einer mathematisch-physikalisch und informationstheoretisch fundierten Forschung übergegangen wird sind qualitativ neue Ergebnisse auf der Grundlage der digitalen Bildverarbeitung auch in der Fernerkundung zu erwarten. Ein im wahrsten Wortsinn anschauliches Beispiel dafür ist die Anwendung der Farbtheorie in Form der Intensitäts-Helligkeits-Sättigungs-Transformation zur Erzeugung farbiger Darstellungen.

4 Schlußfolgerungen

Bei der Gestaltung der Informationsübertragung sollte von den Übertragungseigenschaften des Systems bezüglich der für die Interpretation notwendigen Eigenschaften ausgegangen werden.

Der gesamte Prozeß von der Aufnahme bis zur Interpretation ist von drastischem Informationsverlust (Beseitigung redundanter und irrelevanter Information) gekennzeichnet. Das ist notwendig und erwünscht.

=) Das Ergebnis hängt von der Reihenfolge der Bearbeitungsschritte ab. Die Wiederholung informationsreduzierender Schritte kann iterativen Charakter annehmen.

=) Es ist möglich, die Digitalisierungsparameter so zu wählen, daß kein Verlust an relevanter Information auftritt.

Die Realisierung von Interpretation, Fotogrammetrie und Datenbankarbeit in einem System ist die Grundlage für eine effektive Integration von Daten der Fernerkundung innerhalb eines Geoinformationssystems.

Die Techniken der Künstlichen Intelligenz eröffnen neue Möglichkeiten für die automatisierte Bildauswertung auch in der Fernerkundung. Insbesondere die Aufgaben der Segmentierung, Beschreibung, Dechiffrierung (. Interpretation) sollten im Zusammenhang mit aktuellen Entwicklungen auf diesem Gebiet betrachtet werden.

Die digitale Bildverarbeitung wird in den nächsten Jahren auf die Auswertung flächenhafter (und linienförmiger) Objekte beschränkt bleiben und keine echte Alternative zu den ausgefeilten Technologien der Aerofotogrammetrie zur Herstellung topographischer Karten bieten können. Aber langfristig wird die digitale Bildverarbeitung auch die topographische Luftbildinterpretation unterstützen. Sie hat die Potenz einer neuen Qualität der Objektidentifizierung und -lokalisierung. In der Reliefauswertung hat sie bereits festen Fuß gefaßt, die Hydrographie könnte in absehbarer Zeit folgen. In der Zukunft werden geometrische Merkmale digital genauer bestimmt werden können, und warum sollten nicht auch physikalische und funktionale Eigenschaften genutzt werden?

5 Literaturverzeichnis

Kazmierczak, H.

Erfassung und maschinelle Verarbeitung von Bilddaten. - 1. Aufl. - Berlin: Akademieverlag, 1980, 399 S.

Manual of remote sensing: in 2 vol. / Ed.-in-chief: R. N. Collwell. - 2. ed. - Falls Church, Virg.: Amer. Soc. of Photogrammetry, 1983

Vol. 1. Theory, Instruments and techniques / ed. D. S. Simonett

Marek, K.-H.; Söllner, R.; Siebert, R.; Schmidt, K.

Zur Extraktion von Textur- und Strukturmerkmalen in Fernerkundungsdaten. - In: Vermessungstechnik. - Berlin: 32(1984)5, S. 155-157

Matsuyama, T.

Knowledge-based aerial image understanding systems. - In: IEEE CATALOG 1986: IGARSS'86 - Proceedings of IGARSS'86 Symposium, 8-11 Sept. 1986

veröff. durch ESA Publications Division.

Pietschner, J.

Geräte und Verfahren zur photogrammetrischen Erfassung territorialer Informationen.-In: Fernerkundung. Stand und Entwicklungstendenzen. Konferenz 1988.- Veröffentlichung des Zentralinsti-

tutes für Physik der Erde, dieses Heft.

Söllner, R.; Schmidt, K.; Weichelt, H.
Erkennungskonzepte für die Ableitung thematischer Informationen aus Daten der Fernerkundung. - In: Vermessungstechnik. - Berlin: 30(1982)12

Walker, A. S.
Input of photogrammetric data to geographical information systems. - In: Photogrammetric Record. - London: 30(1987)12, S. 459-471

Wallwitz, W.
ZEISS DIGITAL MAPPING - ein neues Systemkonzept von Hardware und Software des Kombinates VEB Carl Zeiss JENA. - In: Vermessungstechnik. - Berlin: 36(1988)5, S. 163-165

eingereicht: 20.06.1988

Komplexe thematische Kartierung der natürlichen Ressourcen
mit Hilfe von Kosmosaufnahmen - Basis für die Schaffung von
Informationssystemen

S. S. KARPUCHIN; JU. G. KEL'NER;
V. A. SUSČENJA

Hauptverwaltung für Geodäsie und Kartographie der UdSSR

Zusammenfassung

Die komplexe Kartierung der natürlichen Ressourcen ist die wichtigste Aufgabe, die zur Befriedigung der Bedürfnisse der Volkswirtschaft zu lösen ist. Das Programm "Komplexstudium und Kartierung der natürlichen Ressourcen" wird unter Nutzung kosmischer Mittel realisiert. Es berücksichtigt, daß wichtige Daten unverzüglich in der Volkswirtschaft genutzt werden können. In der weiteren Entwicklung wird die kartographische Dokumentation die Basis für die Schaffung eines einheitlichen automatisierten Geoinformationssystems zur rationellen Naturnutzung sein.

Summary

The complex mapping of natural resources is the main task to be solved in order to meet the demands of the national economy. The programme "Complex Studies and Mapping of Natural Resources" is being carried out using spaceborne technology. This programme takes into consideration that important data must immediately be made available for practical purposes in the national economy. In the future, cartographic documentation will serve as a basis for the creation of a unified automated system of geoinformation for the effective use of nature.

Резюме

Комплексное картографирование природных ресурсов является важнейшей задачей, которую необходимо решать для удовлетворения потребностей народного хозяйства. Программа "Комплексное исследование и картографирование природных ресурсов" выполняется с применением космических средств и учитывает, что важные данные могут быть немедленно использованы в народном хозяйстве. Картографическая документация составляет в дальнейшем развитии основу для создания единой автоматизированной геoinформационной системы для рационального использования природы.

In den letzten Jahren hat die Hauptverwaltung für Geodäsie und Kartographie der UdSSR in Zusammenarbeit mit einer Reihe von Organisationen der Ministerien, verschiedenen Dienststellen und der Akademie der Wissenschaften das Programm und die Methodik zur komplexen Kartierung der natürlichen Ressourcen des Landes unter Nutzung kosmischer Mittel ausgearbeitet.

Die Analyse der Bedürfnisse der Volkswirtschaft ergab, daß die komplexe Kartierung der natürlichen Ressourcen in regionalen Maßstäben (1 : 1 Mio, 1 : 500 000, 1 : 200 000) die wichtigste Aufgabe ist. Die Festlegung der Dokumentation umfaßt die Schaffung von Grundlagen zur Vorbereitung eines breiten Kreises wirtschaftlicher Lösungen zum Zwecke

- der wirtschaftlichen Verwaltung des Territoriums in den Grenzen wichtiger ökonomischer Gebiete, der Republiken, administrativer Gebiete und Bezirke,
 - der Planung der rationellen Verwendung natürlicher Ressourcen,
 - der Prognose von Veränderungen natürlicher Landschaften durch die wirtschaftliche Entwicklung,
 - der Planung von Naturschutz- und Reproduktionsmaßnahmen und
 - von Ermittlungen für die Projektierung wirtschaftlicher Objekte.
- Durch die Realisierung des Programms wird die Ausführung der traditionellen Arten der komplexen Kartierung (Atlanten, Serien von Karten u. a.) nicht verworfen. Seine wesentlichen Merkmale sind:

1. Übereinstimmung von Zusammensetzung und Inhalt der Karten zur Lösung der wichtigsten Aufgaben der wirtschaftlichen Entwicklung für jede Region
2. Komplexität der Kartierung, die sich ausdrückt in zielgerichteter Auswahl der Kennziffern, wechselseitiger Koordinierung und Übereinstimmung des Inhalts der verschiedenen Karten
3. eine möglichst vollständige Darstellung des gegenwärtigen Zustandes der natürlichen Faktoren und Ressourcen unter Berücksichtigung der Intensität der anthropogenen Einwirkung
4. Beschränkung der Kartenserien auf einen notwendigen Satz und maximale Verkürzung der Zeiten ihrer Vorbereitung.

Auf diese Weise verändert und vergrößert die Dokumentation, die geschaffen wird, den erfaßten kartographischen Fonds nicht, sondern ergänzt ihn durch neue Daten.

Komplexstudium und Kartierung sollen neue Daten über die natürlichen Ressourcen nach ihren Grundarten und territorialen Verknüpfungen auf dem Wege der Interpretation der kosmischen Aufnahmen und ihrer gemeinsamen Analyse mit den Daten traditioneller Untersuchungen erfassen. Die kartographische Dokumentation als solche, die erarbeitet wird, ist nicht Selbstzweck, sondern ein schnelleres Mittel zur Registrierung der Resultate der Untersuchungen und ein wichtiges Instrument zu ihrer Einführung in die Volkswirtschaft. Die Erfahrung experimenteller Arbeiten bestätigt, daß die Wirksamkeit der kartographischen Methode als Verfahren zur Erkennung der objektiven Realität meist augenfällig klar hervortritt, gerade im Prozeß der komplexen kosmofotothematischen Kartierung. Dabei findet eine ganze Reihe wichtiger Daten unmittelbare Verwendung in der Volkswirtschaft, noch bevor der vollständige Zyklus der kartographischen Arbeiten abgeschlossen ist. Das führt dazu, Komplexstudium und Kartierung der natürlichen Ressourcen nicht nur als eine besondere Art der komplexen Kartierung, sondern auch als eine wichtige Etappe bei der Untersuchung der natürlichen Ressourcen zu betrachten. Gleichzeitig zeigt die Analyse, daß die kartographische Methode eines der wichtigsten Mittel zur Beschaffung der Daten ist, die durch die Fernerkundung erhalten werden bis hin zum praktischen Gebrauch.

In der UdSSR z.B. wurden mehr als 1000 Organisationen als Nutzer kosmischer Information registriert. In Abhängigkeit vom Charakter der zu lösenden Aufgaben, dem Vorhandensein der Kader und der Ausrüstung benötigen die Organisationen Dokumente verschiedener Art und verschiedenen Bearbeitungsgrades (Negative und Positive, Kontakt- und vergrößerte Fotoabzüge, Bildmosaike, Fotopläne, Fotokarten, Karten). Die überwiegende Zahl der Nutzer (bis 60%) bevorzugt kosmische Informationen in der endgültigen und räumlich bestimmten Form, d.h. als Karten. Deshalb ist es wichtig, die Wege der besten Entwicklung der kosmischen Kartographie zu bestimmen, und zwar für die Aufgabe der Beschaffung bis zu den Nutzern angesichts der ganzen Mannigfaltigkeit und der Menge der Daten, die aus den kosmischen Aufnahmen gewonnen werden. Bei der Lösung dieses Problems ist es nötig, zwei Umstände zu berücksichtigen:

1. dringende Forderung der Volkswirtschaft nach einer komplexen Charakteristik der natürlichen Ressourcen
2. Notwendigkeit der Verkürzung der Herstellungszeit der Karten unter Verwendung kosmischer Aufnahmen mit dem Ziel der Sicherstellung der rechtzeitigen Verfügbarkeit der Information, Aktualität und Möglichkeit der Anwendung bei praktischen und wissenschaftlichen Fragestellungen und bei der Vorbereitung wirtschaftlicher Lösungen.

Deswegen sind Systematik und kurze Zeiten die Grundforderungen für die komplexe kartographische Bearbeitung der Materialien von Fotoaufnahmen zwecks Lösung wissenschaftlicher und praktischer Aufgaben. Die kosmische Information als Quelle der Kartenzusammenstellung besitzt spezifische Eigenschaften, die zur Erfüllung dieser Forderungen beitragen.

Die Bereiche für experimentelle Arbeiten und versuchsweise Produktionsarbeiten liegen in verschiedenen natürlichen Wirtschaftszonen des Landes; sie bedecken in wirtschaftlicher Hinsicht typische oder perspektivische Territorien und bilden ein Stütznetz von Polygonen. Dieses Netz kann zur Ausarbeitung der Methoden für die Kartierung der natürlichen Ressourcen nach verschiedenen natürlichen und sozialökonomischen Kriterien beitragen. Komplexe Arbeiten umfassen einzelne Gebiete der BAM-Zone, vom Baikalsee, Armeniens, das Nichtschwarzerdegebiet, ausgedehnte Territorien von Mittelasien, der Belorussischen und der Jakutischen ASSR. Vollständig abgeschlossen ist die erste Etappe der komplexen Kartierung Tadshikistans und der Kalmykischen ASSR.

Außer den Arbeiten auf dem Territorium der UdSSR wurde das vollständige kartographische Studium der natürlichen Ressourcen der Mongolischen Volksrepublik im Maßstab 1 : 1 Mio nach allen thematischen Aspekten, die für die Volkswirtschaft der Republik in der gegenwärtigen Etappe am wichtigsten sind, durch gemeinsame Anstrengungen sowjetischer und mongolischer Spezialisten durchgeführt.

Die umfassende Analyse und Bestätigung der Resultate wissenschaftlicher und experimenteller Arbeiten auf dem Gebiet des Komplexstudiums und der Kartierung, ausgeführt durch die Hauptverwaltung für Geodäsie und Kartographie und durch andere Dienststellen, stoßen auf großes Interesse und beweisen die gesamtstaatliche Bedeutung der Schaffung einer speziellen kartographischen Datenbank oder eines kartographischen Katasters der natürlichen Ressourcen. Die Stärke der komplexen kartographischen Methode zum Studium der natürlichen Ressourcen, ergänzt durch Materialien neuer Arten der Fernerkundung der Erde, läßt sich durch folgende grundlegende Faktoren erklären:

1. die Möglichkeit zur Erfassung neuer wichtiger Daten über die natürlichen Ressourcen, die unmittelbare Anwendung in der Volkswirtschaft finden und einen bedeutsamen ökonomischen Effekt gewährleisten;
2. bedeutende (2 bis 3fache) Verkürzung der Zeiten der Erfassung der thematischen Informationen, was zur Sicherstellung der Aktualität der Karten und rechtzeitigen Bereitstellung der für die Nutzer notwendigen kartographischen Materialien beiträgt;
3. die Möglichkeit zur komplexen Darstellung der natürlichen Ressourcen, die die wechselseitige Abschätzung der Bodenschätze der kartierten Territorien abzuleiten und optimale Systeme ihrer Verwendung und Reproduktion zu planen gestattet;
4. die Möglichkeit zur Wiederholung der Fernerkundung in notwendigen Zeitintervallen und zur Organisation eines Dienstes des kartographischen Studiums der Dynamik der natürlichen Umwelt.

Das letztgenannte Problem - systematisches Studium der Dynamik der natürlichen Umwelt und deren Management durch Naturnutzung -- ist eine der perspektivreichsten Richtungen der weiteren Entwicklung. Die kartographische Dokumentation, die geschaffen wird, soll auch die Grundlage regional orientierter Datenerfassungssysteme über die natürlichen Ressourcen bilden, die die Bearbeitung, Speicherung und Analyse von Fernerkundungsdaten und die Ausarbeitung wissenschaftlich begründeter Empfehlungen voraussetzen. Auf diese

Weise verbinden sich Komplexstudium und Kartierung der natürlichen Ressourcen auf der Basis kosmischer Informationen zur schwierigen Aufgabe der Schaffung eines einheitlichen automatisierten Geoinformationssystems zur rationellen Naturnutzung, dessen Entwicklung die operative Versorgung der Nutzer mit Daten über die natürlichen Ressourcen und rationelle Systeme ihrer Anwendung optimal löst.

Spezialisiertes geografisches Informationssystem in der
Hydrologie und Flußgebietsmodelle mit räumlich
verteilten Parametern

BÁLINT Gábor und FEKETE Balázs

Forschungszentrum für Wasserwirtschaft (VITUKI), Budapest

Zusammenfassung

Das vorgeschlagene Schema der hydrologisch ausgerichteten Beschreibung räumlich verteilter Informationen wurde insbesondere auf Rechentchnik, die mit dem Typ IBM AT kompatibel ist, realisiert. Das hydrologisch-geografische Informationssystem unterscheidet sich seinem Charakter nach nicht von anderen Informationssystemen, die auf territorialen und linearen Prinzipien beruhen. Jedoch spielt im Zusammenhang mit den speziellen Anforderungen der Hydrologie und der Wasserwirtschaft die Organisation nach der Hierarchie von Flußnetzen und Teileinzugsgebieten, d.h. nach dem System der Entwässerung, eine bestimmende Rolle.

Abstract

The given hydrologically oriented Geographical Information System realized on a network of IBM PC At compatible machines is similar to any system having linear and territorial description and storage of data. Despite this similarity it has its specifics related to the drainage area and stream network hierarchy which enables to meet hydrological and other water related requirements. The GIS has three levels of complexity.

Резюме

Предлагаемая схема гидрологически направленного описания пространственной информации в частности осуществлена на ЭВМ, подобной ИБМ АТ. Гидрологическая геоинформационная система по своему характеру не отличается от других информационных систем, базирующихся на территориальной и линейной пропорциях, но в связи со специальными требованиями гидрологии и водного хозяйства определяющую роль в организации системы играет иерархия сети водотоков и частичных водосборов, то есть по системе дренажа. Применяются три уровня детальности. При полном наполнении базиса данных предполагается, что все исходные данные известны на уровне "микро". В ходе решения поставленной задачи пришлось придерживаться основных требований: обеспечить возможность получения информации по гидрографическому порядку, при этом сохранить связь с хранением данных по системе координат; систему оставить открытой для дальнейшего расширения по территории; обеспечить возможность включения других типов данных, в первую очередь спутниковых. Неотделимой частью системы являются функции перехода и генерализации отдельных характеристик по уровням детальности и произвольно выбранным частичным водосборам.

1. Einführung

Trotz der Tatsache, daß die Hydrologie den geografischen Wissenschaften zuzuordnen ist, wird die reale geografische Umwelt bei praktischen Berechnungen und Modellierungen meist vernachlässigt. Diese Tendenz resultierte zum einen aus den begrenzten Möglichkeiten der Rechenverfahren und zum anderen aus der "Mode", bei stochastischen Modellen hydrologischer Prozesse die Einzugsgebiete von Gewässern als "Blackbox" zu betrachten. Diese Modelle benötigten natürlich keine geografischen Parameter als Eingangsdaten.

Eine neue Etappe in der Entwicklung hydrologischer Modelle wird durch die Klasse der sogenannten "konzeptionellen" Modelle gekennzeichnet, die stochastische Ansätze mit physikalischen Beschreibungen vereinen. Diese konzeptionellen Modelle benötigen bereits einige physiografische Daten des Einzugsgebietes, obwohl hier mit gemittelten charakteristischen Daten gearbeitet werden kann.

Ein relativ neues Gebiet der Hydrologie ist die Anwendung von Modellen mit räumlich verteilten Parametern. Diese Gruppe von Modellen benötigt einerseits räumlich verteilte geografische Daten und kann andererseits meteorologische Eingangsgrößen nutzen. Um diese komplizierten räumlichen Modelle in brauchbare Hilfsmittel zu verwandeln und das Stadium, in dem jeder Versuch bestenfalls in einer Einzelfallstudie endete, zu verlassen, wird eine sichere Datenbasis benötigt, die die für wasserbezogene Studien relevanten Landschaftscharakteristiken enthält (HEC, 1979).

2. Geografisches Informationssystem (GIS) für Hydrologie

Für die Anforderungen auf dem Gebiet der Wasserwirtschaft wurde die Notwendigkeit spezieller Geoinformationssysteme und der Nutzung von Fernerkundungstechniken erkannt.

Im Forschungszentrum für Wasserwirtschaft (VITUKI) Budapest wurde vor mehr als einem Jahr durch die Verwirklichung eines Planes zur

Entwicklung von Gerätetechnik ein gewisser Schritt voran gemacht.
(Abb.1.)

Diese Entwicklung ermöglichte die Schaffung eines Arbeitsplatzes zur Lösung gewisser Aufgaben der Bildverarbeitung und der qualitativ guten Wiedergabe geografischer Daten für spezifisch hydrologische Aufgabenstellungen.

Die rechentechnische Basis besteht aus einem 32-Bit und einem 16-Bit-Rechner, einschließlich einer Magnetplatteneinheit mit mehr als 0.6 Gigabyte Speicherkapazität, die durch eine schnelle ETHERNET-Verbindung gekoppelt sind.

Der Arbeitsplatz besteht aus einem IBM-kompatiblen Personalcomputer, der durch

- eine Grafikeinheit,
- einen 1024 x 1024 Pixel Monitor,
- einen Digital-Zeichentisch und
- einen Plotter

ergänzt wird.

In dem in Entwicklung befindlichen GIS werden territoriale Daten in drei Maßstabsebenen präsentiert. Bedingt durch die hydrologische Orientierung des Systems besteht das Hauptproblem in der richtigen Beschreibung der Flußnetze.

Die hydrologische Ordnung in der Natur ermöglicht ihre Bearbeitung entsprechend den natürlichen Hierarchieebenen.

Die Einzugsgebiete stellen ein Hauptelement im hydrologischen Informationssystem dar (Flußverbindungen und Seen sind weitere Hauptelemente).

Es besteht die Notwendigkeit, eine Codierung zu schaffen, die eine Abarbeitung entsprechend der natürlichen hydrologischen Ordnung erlaubt, von kleinen, zeitweilig existierenden Rinnsalen bis zu großen Flüssen.

Eine komplizierte Systemstruktur und der größere Umfang der abzuspeichernden und zu berechnenden Daten verlangen effektive Spei-

cher- und Rechenprinzipien (Gottschalk und Krasovskaia, 1982).
Die Hauptanforderungen sind:

- (1) Sicherung der Möglichkeiten der Datenbereitstellung nach der hydrografischen Ordnung
- (2) dabei Sicherung der Verbindung mit dem Datenspeicher nach dem Koordinatensystem
- (3) Beibehaltung eines offenen Systems für eine territoriale Vergrößerung
- (4) Sicherung der Möglichkeit, andere Datentypen, hauptsächlich Begleitdaten, einzubeziehen.

Zur Erfüllung dieser Forderungen wurde ein "Zwei-Zahlen"-Code benötigt, wobei die erste Schlüsselzahl den Elementtyp und die zweite Zahl die Flußrichtung kennzeichnet.

Tabelle 1. Schlüsselzahlen, die die Hierarchie des
Flußgebietsnetzes bestimmen

Elementtyp (EC)	Schlüsselzahl
Anfangseinzugsgebiet	0
Fläche des Einzugsgebietes, die dem Zufluß der	
- 4. oder einer darüber liegenden Kategorie	1
- 3. Kategorie	2
- 2. Kategorie	3
- 1. Kategorie	4
zuzuordnen ist.	
See (stehendes Gewässer)	5
Fließende Gewässer, Fluß der	
2. Kategorie	6
1. Kategorie	7
 Flußrichtung (DC)	
Norden N	0
Nordosten NE	1
Osten E	2
Südosten SE	3
Süden S	4
Südwesten SW	5
Westen W	6
Nordwesten NW	7

Das erste Byte der Schlüsselzahl dient der Gestaltung der Kette nach der Umbildung in einen binären Code,

$$\begin{aligned} BC = 0, & \text{ wenn } EC = 0, \\ BC = 1, & \text{ wenn } EC \neq 0. \end{aligned}$$

Die Netzelemente können auf einem Vektor geordnet werden, der es erlaubt, die Summen für das Netz von Teileinzugsgebieten zu errechnen sowie eine Auswahl einzelner Daten flußaufwärts oder flußabwärts zu treffen. Die Sequenz des binären Codes kann man derart gestalten, daß man sich, beginnend mit der abschließenden Wehrstelle, an jeder Zuflußstelle nach links wendet und auf diese Art alle Elemente des Einzugsgebietes berücksichtigt, wenn man bis zu einem Anfangsgebiet gelangt und dann zurückkehrt. Dadurch wird jedem Element eine Verbindungszahl zugeordnet. Bei einem komplizierten Zusammenfließen mehrerer Zuflüsse oder im Falle von Seen ist es möglich, fiktive Verbindungszahlen zu schaffen, die keinem realen Element des Flußgebietes zuzuordnen sind (Abb. 2, Abb. 3).

Zur Ergänzung der Flußnetzdarstellung wurden Matrixdarstellungen für komplizierte Systeme (Seen, künstliche Kanäle, Verzweigungen) erarbeitet.

3. GIS-Datensystem

Es ist erforderlich, daß in einem geografischen Informationssystem die Möglichkeiten bestehender Systeme zur Beobachtung der territorialen Klima- und aktuellen Wetterdaten berücksichtigt werden. Die Mehrzahl der hydrometeorologischen Elemente wird in der territorialen Charakteristik berücksichtigt, unabhängig davon, daß die traditionellen Beobachtungsformen nur punktförmige Daten liefern. Es ist ebenfalls notwendig daran festzuhalten, daß die Möglichkeit der Anpassung punktförmiger hydrologischer Daten (Abfluß, Charakteristik der Wasserbeschaffenheit in einzelnen Wehrstellen) erhalten bleibt, was keine besonderen Erschwernisse mit sich bringt, da man sie bei Kenntnis der Koordinaten der entsprechenden Wehrstelle leicht durchführen kann. Die Bestimmung der territorialen Charakteristik bringt beim Vorhandensein punktförmiger Beobachtungen jedoch große

Schwierigkeiten mit sich (wenn derartige Interpolationen und Extrapolationen überhaupt möglich sind) und erfordert getrennte Berechnungsmethoden für jedes hydrometeorologische Element (Niederschläge, Schneedecke, Verdunstung) (Bálint und Bartha, 1982).

3.1 Grunddaten

Folgende Datentypen werden in den Gittermaschen des Systems abgespeichert:

- (1) Netz- und Konturendaten
- (2) Digitale Gebietsdaten
- (3) Landnutzung
 - (1) Landwirtschaftliche Nutzflächen
 - (2) Forstgebiete
 - (3) Gebiete ohne Wassereintrag in den Boden (Fels, bebaute Flächen)
 - (4) Wasser, Feuchtgebiete, Schnee, Eis unabhängig von der Landnutzung
 - (5) Bodentyp.

3.2 Abgeleitete Daten

Für jedes Berechnungselement (Teileinzugsgebiet), das durch die Verbindungsnummer gekennzeichnet ist, werden die in Tabelle 2 aufgeführten Daten abgespeichert (Gottschalk und Krasovskaia, 1982).

Tabelle 2. Abgeleitete physiografische und Landnutzungsdaten

Variable	Form/ Gleichung	Art der Datenquelle
1. Binärcode	0/1	von der BCS-Kette
2. Verbindungsnummer/in- terne Nummer eines Berechnungselements	0-131	von der Kette "Verbin- dungsnummer"
3. fiktiv/real	1/0	speziell erzeugte Ket- ten
4. See/kein See	1/0	speziell erzeugte Ket- ten
5. rechter/linker Zufluß	1/0	speziell erzeugte Ket- ten

6. Koordinaten des Beginns einer Verbindung	x_i (RAK)	aus der digitalisierten Karte
7. Koordinaten des Endes einer Verbindung	x_u (RAK)	aus der digitalisierten Karte
8. Name der Verbindung	alpha-numerisch	speziell erzeugt
9. Länge der Verbindung	l_m	aus der digitalisierten Karte berechnet
10. Fläche des Einzugsgebietes der Verbindung	$A \text{ km}^2$	aus der digitalisierten Karte berechnet
11. %-Anteil Seen	$L\% = \frac{\sum_{i=1}^n A_L}{n} 100\%$	aus den Daten der Gitterpunkte berechnet, wobei n die Zahl für 500 m Gitterpunkte und A_L die Punkte mit Seen sind
12. %-Anteil Wald	$F\% = \frac{\sum_{i=1}^n A_F}{n} 100\%$	n - Anzahl der Gitterpunkte und A_F - Punkte mit Wald
14. Abflußdichte	$Dd = \frac{\sum l_r}{A}$	aus der digitalisierten Karte berechnet. $\sum l_r$ - Summe der Länge der Flüsse (blaues Raster) in einem Einzugsgebiet
15. Höhe des Beginns einer Verbindung	$H_i \text{ m}$	aus einer topografischen Karte
16. Höhe des Endes einer Verbindung	$H_m \text{ m}$	aus einer topografischen Karte
17. Gefälle der Verbindung	$Lt = \frac{H_i - H_u}{l}$	aus der topografischen digitalisierten Karte
18. Durchschnittshöhe des Einzugsgebiets	$H = \frac{\sum_{j=1}^n H_j}{n}$	aus Daten der Gitterpunkte
19. maximale Höhe des Einzugsgebiets	$H_{\max} = \max_j H_j$	aus Daten der Gitterpunkte
20. minimale Höhe des Einzugsgebiets	$H_{\min} = \min_j H_j$	aus Daten der Gitterpunkte
21. örtliches Relief des Einzugsgebiets	$\text{LORE} = H_{\max} - H_{\min}$	aus Daten der Gitterpunkte

22. Höhenrelief des Einzugsgebiets $ELERR = \frac{H_{\min} - H_{\max}}{H_{\max} - H_{\min}}$ aus Daten der Gitterpunkte
23. Durchschnittliches Gefälle $\overline{SL} = \frac{\sum_k r_k^l}{m} \cdot 100\%$ aus digitalisierten Daten der Gitterpunkte
K - Anzahl der Gefällewerte
- $$r_j^1 = \frac{H_{i,j} - H_{i,j-1}}{500}$$
- $$r_j^2 = \frac{H_{i,j} - H_{i-1,j}}{500}$$
- $$r_j^3 = \frac{H_{i,j} - H_{i-1,j-1}}{2 \cdot 500}$$
- $$m = 3(n-1)$$
24. maximales Gefälle des Einzugsgebiets $SL_{\max} = \max_{k,l} r_k^l$ aus digitalisierten Daten der Gitterpunkte
25. Schwerpunkt des Einzugsgebietes für die x-Koordinate TYNGDPX aus digitalisierten Daten der Gitterpunkte
26. Schwerpunkt des Einzugsgebietes für die y-Koordinate TYNGDPY aus digitalisierten Daten der Gitterpunkte

Es sollte hinzugefügt werden, daß eine Erweiterung der Variablenliste durch Einbeziehung detaillierter Daten aus Landnutzungs-klassifizierungen möglich ist.

4. System und Programmaspekte

Die ständige Arbeit mit dem System und dem Programmteil des Projekts konzentriert sich hauptsächlich auf folgende Gebiete:

- Ergänzung und Korrektur der Koordinatenbasisdaten
- Schaffung und Ergänzung von File-Registern zur Aufnahme von neuen Variablen

Die Programmroutinen wurden in verschiedenen, von einander unabhängigen Gruppen organisiert.

Gruppe A - Digitalisierende Verfahren

Gruppe B - Transformation sequentieller Daten für den Direktzugriff

Gruppe C - Nutzerrouninen für den Direktzugriff zur Datenbasis

Gruppe D - Nutzerrouninen für den Direktzugriff zum Variablenregister

Gruppe E - Nutzerspezifische Routinen

Gruppe F - unterstützende Software (Grafik, Datendarstellung),

Die Verfahren A und B können auch unabhängig vom System durchgeführt werden.

Für zukünftige Arbeiten ist es wünschenswert, auf die Ergebnisse aus anderen Systemen (z.B. MÁRKUS und MOLNÁR, 1988) sowie des ungarischen Bodeninformationssystems zurückzugreifen.

Die ersten Schritte zur Verbindung der abgespeicherten Bodeninformation mit der Bildverarbeitung wurden unternommen.

Literatur

BÁLINT, G. und BARTHA, P. Large-scale assessment of snow resources for forecasting spring flow. In: Hydrological aspects of Alpine and high-mountains areas. Ed: Glen J.W. IAHS Publication No. 138 (1982), S. 203-209

GOTTSCHALK, L. und KRASOVSKAIA, I. Computerized representation of a watershed for hydrological modelling and planning
Lund Institute of Technology, Report No 3056 - Lund (1982)
S. 50

HEC, Corps of Engineers, U.S. Army: Determination of land-use from LANDSAT imagery applications to hydrological modelling, Research note No 7, November (1979)

MÁRKUS, B. und MOLNÁR, T.: Ein Landinformationssystem für Aufgaben der Entwässerung. In: 5. Wissenschaftliche Konferenz "Stand und Entwicklungstendenzen der Fernerkundung"

Ein Landinformationssystem für die Aufgaben der Entwässerung

Dr. B. MÁRKUS und Dr. T. MOLNÁR

Technische Universität Budapest

Zusammenfassung

Ausgehend von den für konventionelle Entwürfe notwendigen Informationen, werden die Anforderungen an ein geographisches Informationssystem zum Entwurf von Entwässerungsnetzen mit CAD dargelegt. Die Struktur eines geographischen Informationssystems wird zusammen mit den Methoden und Mitteln der Erfassung der Daten sowie den Möglichkeiten der Anwendung beim Entwurf aufgezeigt. Bei der Rekapitulation der Erfahrungen, die während der Entwicklung des CAD-Systems gemacht wurden, werden die angewendete Hardware und die dadurch gegebenen Möglichkeiten und Restriktionen dargestellt. Weiterhin werden der interaktive Entwurfsprozeß von Entwässerungsnetzen sowie die angewendeten digitalen Modelle erläutert.

Summary

Starting from the information needs for conventional design, expectations for the geographical information systems of drainage network CAD are outlined. The structure of a geographical information system is presented, together with means and methods in loading, features of application in design. Recapitulating experience in developing the CAD system, the applied hardware, possibilities and limitations of given system are presented, outlining the interactive design process of the drainage network, and the applied digital models.

Резюме

В работе - исходя из потребности традиционной проектной системы и информации - описываются требования, предъявляемые к географической информационной системе на службе автоматизированного проектирования водоотводной сети с помощью ЭВМ. Представляются структура географической информационной системы, средства и методы заполнения и особенности их применения в процессе АПР.

Обобщая опыт по совершенствованию разработанной авторами проектной системы, отмечаются ее технические средства, возможности и ограничения элементов аппаратуры, списывается процесс интерактивного проектирования водоотводной сети с учетом применяемых в нем цифровых моделей.

1. Einleitung und Problemstellung

Bekanntlich hat Ungarn eine sich ständig weiterentwickelnde Landwirtschaft, aus der ein großer Teil des Nationaleinkommens stammt. Die größten und effektivsten landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften sind in der Ungarischen Tiefebene und in Transdanubien zu finden. Diese geographische Lage bestimmt die Aufgaben des Agrar- und schließlich des Wasserbauingenieurs.

Ungarns Klima ist im Grunde genommen überwiegend für die Landwirtschaft geeignet. Manchmal kommen aber auch extreme Wetterereignisse vor, wie z.B. Trockenheit, wie in den letzten paar Jahren, oder sehr viel Niederschlag. Beide Ereignisse verursachen nachteilige Folgen, die aber vermieden werden müssen. Gerade hier hat der Wasserbauingenieur entsprechende Aufgaben zu lösen.

In diesem Beitrag möchten wir uns mit den Entwässerungsaufgaben beschäftigen. Die Lösung dieser Aufgaben hat eine ziemlich lange Vergangenheit. Die ersten Arbeiten, die Ableitung des überflüssigen Wassers zu erfassen, wurden in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhundert durchgeführt. Warum war das notwendig, und warum erst in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts?

Die Wasserbauten sind während der türkischen Herrschaft zerstört worden. Jährlich wenigstens zweimal wurde der größte Teil der Tiefebene überflutet. Hochwasser bedeckte überall die Felder; es gab keine Verkehrsstraße, nur überwiegend Schilf und Moor.

Um die wirtschaftliche Entwicklung in Gang zu setzen und beschleunigen zu können, begannen die ersten Flußregulierungsarbeiten mit dem direkten Ziel, die Gefälle des Flußbettes größer zu machen und dadurch die Bewegung des Hochwassers zu beschleunigen. Die großen Kurven wurden durchgeschnitten, um die Länge des Flusses zu verkürzen; zur selben Zeit aber begann der Ausbau der Dämme entlang des Flusses.

Gerade nach der Durchführung dieser Arbeiten meldete sich das folgende Problem: Das überflüssige Wasser konnte nicht von selbst von den Feldern abfließen.

Zur Zeit beginnt der Ausbau des Entwässerungskanalnetzes. Das überflüssige Wasser wird durch verschiedene Kanäle von den Feldern abgeleitet, gesammelt und dem Fluß zugeführt. Das geschieht aber durch Pumpstationen, da zwischen dem maximalen

Wasserstand im Fluß und dem Kanal ein Höhenunterschied existiert; außerdem ist der Wasserstand im Kanal und Fluß maximal (Abb. 1). Wir möchten die Projektierungsmethoden kurz zusammenfassen.

2. Herkömmliche Entwurfsmethoden

Das Einzugsgebiet, das aus mehreren kleineren Teilgebieten besteht, beträgt 100 - 150 km² (Abb. 2). Um ein geeignetes Kanalnetz entwerfen zu können, müssen die folgenden Arbeiten durchgeführt werden:

- Geodätische Vermessung oder Bereitstellung geeigneter Karten mit Höhenlinien im Maßstab 1:10000 oder 1:25000,
- Abgrenzung des Einzugsgebietes und gründliche Untersuchung an Ort und Stelle,
- Ausmalung der Höhenlinienkarte, um abflußlose Gebiete festzustellen,
- Entwerfen der einzelnen Kanäle durch die abflußlosen Flächen,
- Herstellung der Längsprofile von den Kanälen,
- Abänderung der Kanäle, wenn nötig,
- Entwerfen des Wasserspiegels in den einzelnen Kanälen (Abb. 3),
- Hydrologische Bemessung, Feststellen der Abflußmengen,
- Hydraulische Bemessung, Berechnung der Durchflußmengen in den einzelnen Querschnitten und der geometrischen Abmessungen.

Diese Arbeiten bedeuten einen hohen Aufwand an manueller Arbeit. Um sie besser, effektiver und schneller zu machen, beschäftigen wir uns mit der Untersuchung der Lösungsmöglichkeiten. Diese Aufgabe zu lösen, d.h., die Platzierung der einzelnen Kanäle und deren Höhenlage gleichzeitig zu bestimmen, ist ein großes Problem, das aber mit Hilfe von digitalen räumlichen Modellen gelöst werden kann.

Die hier skizzierten Aufgaben gehören zu einer mehrjährigen Entwicklungsarbeit. Mit der Lösung des gestellten Problems beschäftigen wir uns schon seit Jahren. Die Arbeiten wurden durch verschiedene Institute und Firmen finanziell unterstützt. Am Anfang wurde die Problemstellung gründlich analysiert und anhand dieser Anfangsarbeiten ein System, das gründlich überprüft und in einem weiten Rahmen von Fachleuten erörtert worden war, aufgebaut. Das System besteht aus mehreren Einheiten:

- dem Untersystem für Geoinformationen,
- dem hydrologischen Untersystem,
- dem hydraulischen Untersystem,
- dem graphischen Untersystem und
- dem Untersystem zur Entscheidungsvorbereitung.

Im vorgelegten Beitrag möchten wir unsere Erfahrungen und Ergebnisse mitteilen.

2.1. Die Rolle eines Landinformationssystemes bei der Problemlösung

Um ein geeignetes Kanalnetz zu entwerfen, braucht man eine Fülle von unterschiedlichen Daten, und zwar über

- das Gelände,
- das Einzugsgebiet,
- das Verkehrs- und Energieversorgungsnetz,
- die Gewässer,
- die Nutzung des Bodens und
- die hydrologischen Verhältnisse des Einzugsgebietes.

Dabei kann längst nicht mehr die Fülle an Daten und Kriterien berücksichtigt werden. Der Umfang des Datenbestandes ist häufig nur schwer abschätzbar, da aufgrund von ersten Ergebnissen meist weitere Probleme auftreten, und es daher oft notwendig ist, die Fragestellung zu erweitern. Angesichts dieser zunehmenden Vielfalt und Komplexität der Aufgaben im Bereich der räumlichen Planung sowie der Umweltforschung und des Umweltschutzes - die im engen Zusammenhang mit den Aufgaben der Entwässerung stehen - wird der Einsatz von interaktiven graphischen Datenverarbeitungssystemen unumgänglich. Bereits in den siebziger Jahren entstanden die ersten Informationssysteme für die Landes- und Umweltplanung in der Welt, welche seit Jahren erfolgreich eingesetzt sind.

Die Entwicklung graphischer Systeme erfolgte in drei Stufen. In der ersten Entwicklungsstufe beschränkte man sich darauf, gespeicherte Zeichnungen wiederzugeben, wobei diese graphisch verändert und gezeichnet wurden. In der zweiten Stufe konnte der Benutzer zusätzlich zu den bereits vorhandenen Möglichkeiten den graphischen Elementen Informationen über die Eigenschaften dieser Elemente beifügen, z.B. den Rohrdurchmesser oder Angaben über den

Querschnitt. In der dritten und momentan letzten Stufe der Entwicklung werden interne Modelle der Wirklichkeit gespeichert. Graphiken und andere Darstellungen (z.B. axometrische Ansichten) sollen dem Benutzer diese internen Modelle anschaulich machen. Bei diesen Systemen werden eventuell vorhandene (Konsistenz-) Bedingungen bei Nachführung des Modells berücksichtigt. Wie bekannt, werden Systeme dieser Art als Informationssysteme bezeichnet.

Bei den hier zu besprechenden Informationssystemen handelt es sich nicht um spezielle informationsverarbeitende Systeme, sondern um Systeme zum Erfassen, Speichern, Verarbeiten und Darstellen von raumbezogenen Informationen als Hilfe für Planungs- und Entwicklungsaufgaben. In diesem Fall werden die Informationen im Bezug zum Raum mit Hilfe von Elementen eines Systems systematisch aufgenommen, verarbeitet und weitergegeben / FRANK 1983 /. Die Lösung der Aufgabe, d.h. die Plazierung der Kanäle, verlangt vom Wasserbauingenieur gute Kenntnisse über das Gelände. Die dafür notwendigen thematischen Informationen, z.B. die Unterscheidung zwischen tief- und hochliegenden Gebieten, die Darstellung der Neigungsverhältnisse, die Krümmungseigenschaften der Geländeoberfläche und die Unterscheidung der positiven und negativen Krümmungen, werden durch die sogenannten Arbeits- und Anwendermodelle vermittelt. Die Klassifizierung wird entweder mit den Methoden der Clusteranalyse oder mit selbst erarbeiteten Methoden durchgeführt.

Wir kommen nun zu dem Begriff des Landinformationssystems:

"Ein Landinformationssystem ist ein Instrument, um Entscheidungen in Recht, Verwaltung und Wirtschaft zu treffen, sowie ein Hilfsmittel für Planung und Entwicklung. Es besteht einerseits aus einer Datensammlung einer bestimmten Region, welche sich auf Grund und Boden bezieht, und andererseits aus Verfahren und Methoden für die systematische Erfassung, Aktualisierung, Verarbeitung und Verbreitung dieser Daten. Die Grundlage eines Landinformationssystems bildet ein einheitliches, räumliches Bezugssystem für die gespeicherten Daten, welches auch eine Verknüpfung der im System gespeicherten Daten mit anderen bodenbezogenen Daten erleichtert" / FIG 1981 /.

2.2. Die Beschreibung der verfügbaren Hardware

Seit dem letzten Jahr haben wir die Möglichkeit mit ungarischen IBM-PC/AT-kompatiblen Computern zu arbeiten. Der Rechner verfügt über eine GENOA-EGA-Karte, eine Erweiterungsplatine, die auf bis zu 2.5 MBytes ausgebaut werden kann, und ist mit zwei Monitoren, einem hochauflösendem EGA-Monitor für Graphik und einem Hercules-Monitor für Textverarbeitung, ausgerüstet (Abb. 4). Die Zentraleinheit hat eine Speicherkapazität von 640 KBytes und die Erweiterungsplatine von 1.5 MBytes. Die EGA-Karte bietet eine Auflösung von 800x600 Punkten in 256 Farben. Der Rechner verfügt noch über eine Festplatte mit der Kapazität von 40 MBytes und ein Diskettenlaufwerk von 1.2 MBytes. Außer den erwähnten Geräten ist der Rechner mit einem in Ungarn hergestellten Plotter mit A1-Format versehen.

Es muß noch einiges über einen anderen älteren Rechner, den MO8X gesagt werden. Der MO8X verfügt nur über eine Zentraleinheit von 64 KBytes und ist mit einem Doppellaufwerk ausgerüstet. An diesem Rechner ist ein manuelles Digitalisiergerät, der Digitalisier-tisch RA06 angeschlossen. Die Daten können über ein Verbindungskabel vom MO8X in den IBM-PC/AT-kompatiblen Rechner überspielt und auf einer 5 1/4" Diskette gespeichert werden.

2.3. Datenerfassung

Für die Datenerfassung sind mehrere Methoden vorgesehen:

- geodätische Methoden,
- Digitalisieren von vorhandenen Karten,
- automatische Auswertung verschiedener Luftbilder und Satellitenaufnahmen,
- Abfrage verschiedener Geoinformationssysteme, z.B. einer Geokosmischen Datenbank.

Schon seit Jahren werden in Ungarn Arbeiten für die Herstellung von Geoinformationssystemen durchgeführt. Voriges Jahr ist ein System in Szeged als Muster fertiggestellt worden, und nun wird ein System für Budapest aufgebaut. So bekommen Geoinformationssysteme für den computergestützten Entwurf immer größere Bedeutung.

Für unsere Auftraggeber sind die ersten zwei Erfassungsmethoden am wichtigsten. Anhand ihrer Ansprüche wurden geeignete Programme ausgearbeitet (Abb. 5).

Die Anwendung der noch erwähnten Methoden ist relativ einfach ausführbar. Das Einbeziehen dieser Informationen bildet die Aufgabe für die weiteren Arbeiten. Auf den Luftbildern oder Satellitenbildern sind die Gebiete, die durch Erosion gefährdet sind, erkennbar. Sie bieten sehr wichtige Informationen für die Platzierung der Kanäle und das Entwerfen. Die erwünschte vierte Methode bekommt immer größere Bedeutung durch die Verbreitung der Geoinformationssysteme.

Im ersten Schritt wurde das manuelle Digitalisieren und die Flächennivellierung ausgearbeitet.

Für die Eingabe der Grundrißelemente (Flächen, Grenzen, Linien, Punkte, Gewässer, Verkehrs- und Energieversorgungsnetz, Bodenbenutzung) und der Höhenverhältnisse ist ein manuelles Digitalisierverfahren ausgearbeitet worden. Die Digitalisierung erfolgt on-line über die Digitalisierstation RA06, die mit dem Rechner MOBX gekoppelt ist. Das Digitalisiergerät RA06 ist ein passives Gerät. Das heißt, die digitalisierten Punkte können nicht während des Vorganges auf einem graphischen Bildschirm mitverfolgt werden (Abb 6).

Um die Arbeit zu erleichtern, wurde der Digitalisiervorgang interaktiv gestaltet. Das ausgearbeitete Untersystem für das Digitalisieren ist sehr benutzerfreundlich und kann einfach erlernt werden.

Der Vorgang kann einerseits von dem alphanumerischen Bildschirm, andererseits dem graphischen Bildschirm gesteuert werden. Das Programm berechnet die geodätischen Koordinaten aus den Tafelkoordinaten, die auf der Diskette zwischengespeichert und später über das Verbindungskabel in den IBM-kompatiblen Rechner überspielt werden. Nach dem Beenden des Digitalisiervorganges kann noch eine graphische Kontrolle durchgeführt werden. Es kann wahlweise ein Teil des digitalisierten Kartenblattes oder auch das ganze Blatt in einer beliebig definierten Vergrößerung oder Verkleinerung mit Hilfe des IBM-kompatiblen Rechners auf dem graphischen EGA-Bildschirm unter der Verwendung von dem Programm AUTOCAD ausgegeben oder durch den Plotter gezeichnet werden.

2.4. Digitale Modelle für das Entwerfen

Die erfaßten Daten werden für die Berechnung der digitalen Modelle (Abb. 7), in erster Linie des digitalen Höhenmodells, verwendet. Es werden drei verschiedene Arten von Modellen unterschieden:

- das Modell, das mit der Funktion $z = f(x, y)$ beschreibbar ist und als Digitales Höhenmodell (DHM) bezeichnet wird,
- die Modelle der verschiedenen Grundrißelemente, die entweder mit Hilfe geschlossener Polygone oder durch "Kanten-Knoten-Strukturen" dargestellt werden können und als Digitale Flächenmodelle (DFH) bezeichnet werden. Den Themaelementen können Attribute zugewiesen werden, die in einer relationellen Datenbank gespeichert werden können (KAINZ-RANZINGEN 1982). Als relationelle Datenbank wird dBASE-III-Plus verwendet.

Diese Modelle werden getrennt voneinander abgeleitet, gespeichert und behandelt.

Die DHM werden in einer speziellen Struktur gespeichert. Das Modellgebiet wird in sogenannte Seiten unterteilt. So braucht man nur die Koordinaten des links unten liegenden Punktes, die Anzahl der Spalten und Zeilen und die Maschenweite in den Richtungen x und y für jede Seite zu speichern.

Für die Speicherung von "Kanten-Knoten-Strukturen" wird das Associate Structure Package oder abgekürzt die ASP-Struktur verwendet (Abb. 8).

Bei den digitalen Flächenmodellen wird eine Vektorrastertransformation durchgeführt. Dabei werden die natürlichen Grenzlinien durch rechtwinklige Polygonzüge dargestellt, wobei die Bestimmung der Maschenweite von Bedeutung ist.

3. Automatisiertes Entwerfen des Kanalnetzes

Um ein geeignetes Kanalnetz für die Entwässerung entwerfen zu können, müssen komplexe und komplizierte Aufgaben gelöst werden. Die Lösung verlangt vom Ingenieur gute Kenntnisse über das Einzugsgebiet:

- die Höhenlage,

- die tiefliegenden Teilgebiete, von wo das Wasser selbst nicht mehr abfließen kann,
- die geologischen Angaben über das Gelände,
- die Grundwasserverhältnisse und ihre zeitliche Veränderung,
- die Ausdehnung verschiedener Boden- und Vegetationsarten (Abb. 5).

Nur in diesem System können die verschiedenen Aspekte der Fläche und weitere Angaben über das Gelände effizient interpretiert und gelöst werden. Um das alles gleichzeitig effizient zu lösen, braucht man die Hilfe und die Möglichkeiten eines Geoinformationssystems.

Es wurde ein Algorithmus für das Entwerfen ausgearbeitet. Sein Prinzip ist einfach und effizient. Es muß zuerst ein Modellgebiet definiert und durch ein geschlossenes Polygon abgegrenzt werden. So wird das gesamte Einzugsgebiet in Teilgebiete unterteilt.

An einer der Polygonkanten muß ein Punkt festgelegt werden, wo das überflüssige Wasser in den Fluß geleitet wird. Dann muß man den Winkel zur x-Richtung und die Schrittweite für den Kanal wählen. Von hier beginnend wird der Hauptkanal aufgebaut und gemäß der ASP-Struktur gespeichert. Das heißt, es müssen

- die Bezeichnung des Kanals,
- seine Kanten,
- der Anfangs- und Endpunkt jener Kanten und
- die Koordinaten dieser Punkte auf Festplatte gespeichert werden.

Nach diesem Schritt wird geprüft, ob sich der eben berechnete Punkt in dem geschlossenen Polygon befindet. Ist das gewährleistet, dann geht dieser Vorgang weiter bis zum letzten Punkt, der sich noch in dem Polygon befindet.

Danach muß wieder ein Winkel zu dem Hauptkanal und eine neue Schrittweite, mit denen die Nebenkanäle aufgebaut werden, festgelegt werden. Auch dabei wird die ASP-Struktur verwendet.

Für jeden Kanal werden eine Fläche im Längsprofil zwischen der Flächenlinie und der Wasserstandslinie (Abb. 3) berechnet und das Längsprofil gespeichert. Die Platzierung der Kanäle geschieht anhand dieser Flächenangaben. Das so aufgebaute Netz von Kanälen wird für die hydraulische Bemessung verwendet. Anhand von Bemessungsergebnissen können die Längsprofile gezeichnet, die Volu-

mina der Kanäle berechnet und mit Hilfe eines anderen Programms die optimalen Querschnitte und Längsprofile bestimmt werden.

4. Schlußbemerkung

Das hier vorgestellte Landinformationssystem ist Teil eines Programmpaketes. Die weiteren Teile dienen der hydraulischen Untersuchung und der graphischen Ausgabe. Die hydraulische Untersuchung behandelt die Fälle stationäre Strömung, veränderliche Strömung und nicht-stationäre Strömung. Die graphische Ausgabe ist zur Zeit in Arbeit. Sie wird das Programmpaket abschließen.

Literatur

FIG: Fédération Internationale des Géomètres. XVIIe Congrès International des Géomètres. Proceedings, Montreux, 1981

FRANK, A.: Datenstrukturen für Landinformationssysteme. Mitt. Inst. für Geodäsie und Photogrammetrie an der ETH Zürich (1983) Nr. 34

KAINZ-RANZINGEN: DESBOD Jahresbericht 1981/82. Inst. für Digitale Bildverarbeitung und Computergraphik, Graz, 1982

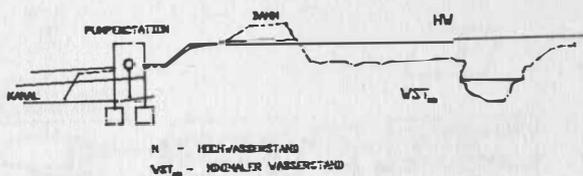


ABB. 1. PRINZIP DER ENTWASSERUNG DURCH KANALNETZ

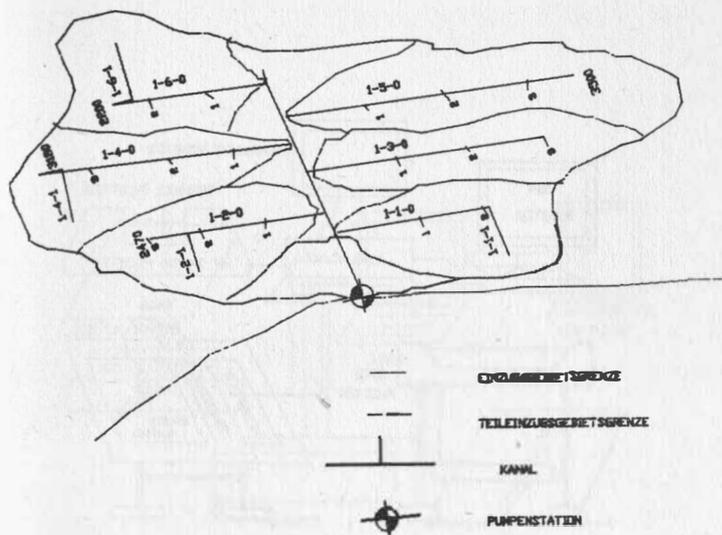


ABB. 2. DAS KANALNETZ FÜR ENTWASSERUNG UND DAS EINZUGSGEBIET

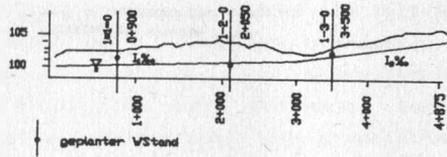


ABB. 3. LANGSPROFIL EINES KANALES

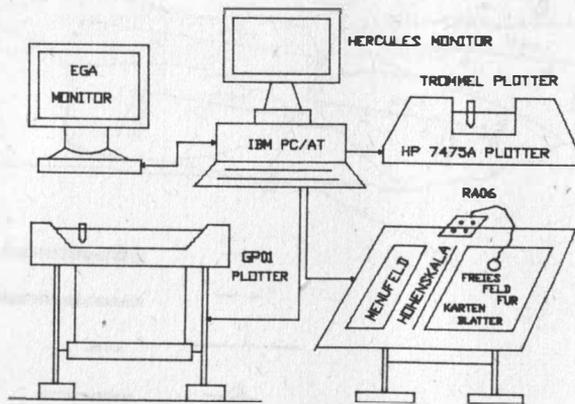


ABB. 4. DIE VERFÜGBARE HARDWARE

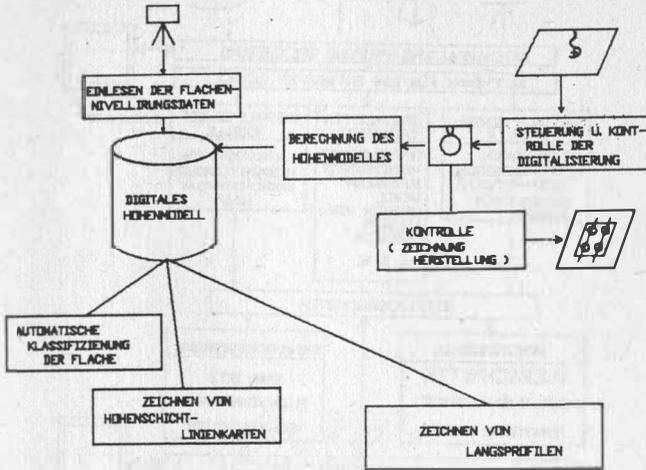


ABB. 5. ABLAUFDIAGRAMM

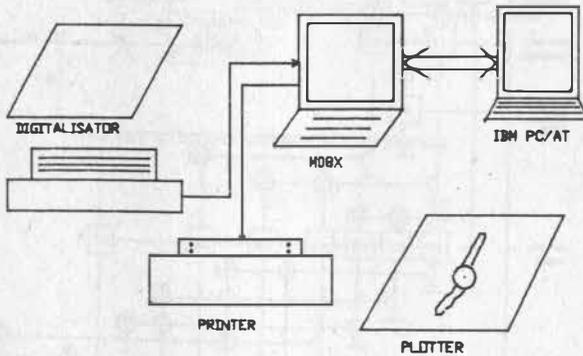


ABB. 6. HARDWARE FÜR DAS DIGITALISIEREN

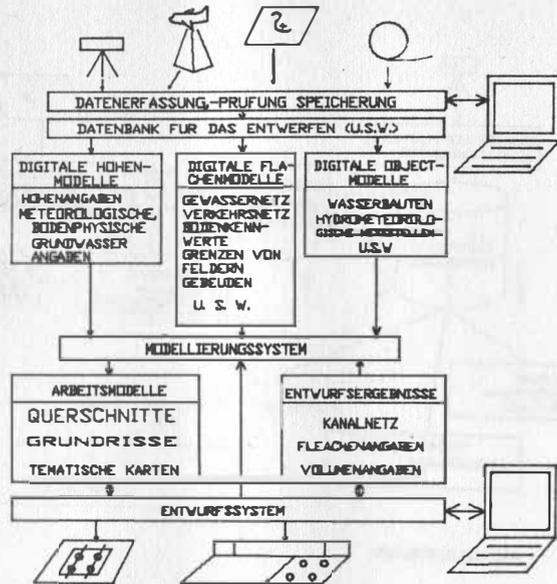


ABB. 7. AUFBAU DES SYSTEMS

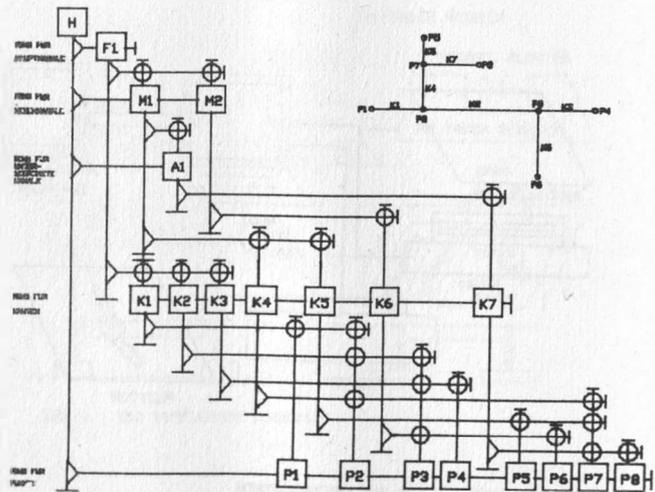


ABB. 8. ASP-STRUKTUR

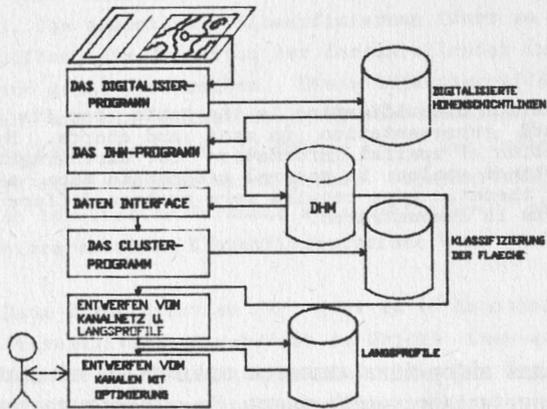


ABB. 9. ABLAUFDIAGRAMM DES ENTWERFENS

Klassifikationsbeispiele räumlicher Informationen

B. BRÜLKE

Akademie der Wissenschaften der DDR
Zentralinstitut für Physik der ErdeZusammenfassung

Die Klassifikation von Informationen ist die Grundlage für ihre sachgerechte Generalisierung und Darstellung auf Karten. An Beispielen wird die Klassifikation räumlicher Informationen für kartographische Zwecke demonstriert, wobei unterschiedliche Maßstäbe bei allgemein-geographischen und verschiedene Nutzungsaspekte bei thematischen Karten mehr oder weniger unterschiedliche Klassifikationen bedingen.

Summary

The information classification is the basis for its proper generalization and representation on maps and charts. By examples the classification of spatial information for cartographic purposes in which distinct scales in general geographic maps and varying use aspects in thematic maps require more or less different classification systems is demonstrated.

Резюме

Классификация информации является основой для её целесообразной генерализации и картографирования. На примерах продемонстрирована классификация пространственной информации для картографических целей, причём различные масштабы у общегеографических карт и различные аспекты использования у тематических карт требуют более или менее различных принципов классификации.

Die Darstellung georäumlicher Informationen in Karten erfordert ihre Ordnung in Informationsklassen, die spezifisch darzustellen, ggf. auch aufzubereiten sind. Das bezieht sich sowohl auf Darstellungsmittel (vor allem die Farbe) als auch auf die geometrische und semantische Generalisierung der Geoinformationen.

In der topographischen Kartographie der DDR beschränkt man sich auf 9 Klassen (Kartenelemente), die nur teilweise noch in Untergruppen aufgeteilt sind. Jede dieser Klassen stellt eine Sammlung der darzustellenden Signaturen dar, wobei die Ordnung von der Haupt- bzw. elementaren Signatur ausgehend bis zu speziellen Darstellungsformen hin erfolgt (vgl. /1/, Anhang S. 15-55).

Die rechnergestützte Informationsverarbeitung und -speicherung benutzt diskrete Informationseinheiten, die im Raum einen punkthafte, linearen oder flächenhaften Bezug haben (Punkt-, Linien- und Flächenobjekt). Die semantische Klassifizierung führt zu definierten Objektbegriffen, die die Arten der darzustellenden Informationen hinreichend genau beschreiben. Diese Objektbegriffe werden meist in Zahlen- und/oder Buchstabenkodes verschlüsselt, was bis zu mnemonischen Kodes (s. Abb. 1) führen kann. Die Kodierung der Objekte bewegt sich zwischen einer groben Objektartenkodierung, die dann durch fakultative Merkmale zu spezifizieren sind, und einem streng hierarchischen Klassifikatoraufbau über viele Hierarchieebenen.

In der NTF Data Classification /2/ gibt es 17 Hauptkodes, die durch einmal (exclusive) und mehrfach je Objekt (non-exclusive) auftretende Merkmale zu qualifizieren sind (Abb. 1). Der Objektartenkatalog des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems der BRD (ATKIS-OK) hingegen bietet 3 Hierarchiestufen, die auf der untersten Stufe durch Attribute spezifiziert werden (Abb. 2).

Eine vergleichsweise geringere Rolle spielen die Merkmale bei einem in Auszügen vorgestellten Klassifikatorentwurf für die rechnergestützte Bearbeitung allgemein-geographischer Karten (Tab. 1). Alle für die Darstellung wesentlichen und konstanten Merkmale sind in die Objektcodeverschlüsselung einbezogen worden, und nur fakultative, nicht immer auftretende Merkmale werden durch Merkmalskodes beschrieben. Im vorliegenden Beispiel ist auch demonstriert, daß das bis zur Kodierung der geometrischen Form der kartographischen Darstellung geführt werden kann, der nur noch

die für den betreffenden Maßstab und die Kartenvariante vorgeschriebenen Signaturen zugeordnet werden brauchen. Das 8. Niveau der Hierarchie wird dabei durchaus nicht immer erreicht. Die angewandten Klassifizierungskriterien (Funktion, Zustand, Dichte, Lage u.ä.) sind von Objektgruppe zu Objektgruppe verschieden wichtig und daher nicht nach einheitlichem Schema angewendet.

Die 3 genannten Klassifikationen sind für große und kleine Maßstäbe gedacht; der "Klassifizierungskatalog... (TGL 26711)" hingegen bildet die Grundlage für die großmaßstäbige Kartographie der DDR bis zum Maßstab 1:5 000 (Abb. 3), was auch in der Art der in den Katalog aufgenommenen Elemente zum Ausdruck kommt.

Ein Beispiel für die Ergebnisse thematischer Informationsklassifizierungen boten im Poster die 2 Varianten der "Flächennutzungskarte Ketzin" (aus /5/). Beide Karten basieren auf ein und derselben Auswertung von MKP-6-Hochbefliegungsaufnahmen des Potsdamer Havellandes. Im ersten Beispiel erfolgte die Darstellung nach einer modifizierten Legende (=Informationsklassifizierung) des IGG Leipzig, die vor allem die Siedlungsstruktur zum Schwerpunkt hat und dabei längerfristig konstante Merkmale wie Funktion und Bebauungsdichte einbezieht. Die zweite Karte stellte den aktuellen Nutzungszustand zum Befliegungszeitpunkt dar, wobei die Nutzflächen entsprechend der Anbaukultur unterschieden werden, alle anderen Flächen jedoch nur wenig differenziert sind.

Literatur

- /1/ BEAUJEAN K. u.a.: Militärtopographie.
Berlin: Militärverlag 1982
- /2/ The National Transfer Format,
Final Draft (Issue 1.3).
Southampton: Ordnance Survey, Sept. 1986
- /3/ HARBECK R.: Das AdV-Vorhaben ATKIS - Stand nach einem Jahr
Entwicklungsarbeit.
Nachr. Kt.- und Vermess.wesen, R. I, Nr. 101,
Frankfurt/M. 1988, S. 23-30
- /4/ BEYER A., STICHLER E., TOUSSAINT E.: Das einheitliche Format
der Datenerfassung beim Verfahren DIKART.
Vermessungstechnik, Berlin 35(1987)6, S. 191-196
- /5/ BARSCH H., WIRTH H. u.a.: Rahmentechnologie zur Gewinnung
und Darstellung thematischer Sachverhalte aus Fernerkun-
dungsdaten.
Unveröff. Forschungsbericht, ZIPE/PH Potsdam 1984

Symbol	Data Class/Relation	Page 16
	: LAND COVER (LC)	

Attributes	
- Boundary - exclusive (BDxx)	
FB - Fenced, walled or otherwise defined **	
OP - Unfenced (but a defined boundary) (Open)	
IR - Indeterminate (eg edge of area of sand dunes etc which merges into another area)	
SE - Seaward extension	
UU - Unknown	
VR - Virtual (eg boundary defining division between a river and a lake)	
- Type water - exclusive (TWxx)	
MR - Marsh or saltmarsh	
SL - Salttings/saltmarsh	
MO - Moat	
PD - Pond	
TP - Tidal pond	
LX - Lake	
SA - Sea area	
UU - Unknown **	
RS - Reservoir	
- Type vegetation - non-exclusive (TVxx)	
CP - Coppice	
SC - Scrub	
BK - Bracken/rough grassland	
HE - Heath	
OR - Orchard	
WD - Woods	
UU - Unknown **	
- Woods Type - exclusive (WTxx)	
CF - Coniferous	
NC - Non-coniferous	
MX - Mixed	
UU - Unknown **	
- Type landform - non-exclusive (TLxx)	
AS - Artificial slopes/cuttings/embankments	
CF - Cliff	
CS - Coastal slopes	
CP - Cave/pot hole	
DU - Dune	
FR - Flat rock	
NU - Mud	
OC - Outcropping rock	
RX - Rock	

DATE : AUGUST 1986	NTF USER MANUAL ISSUE : 1.2 (DRAFT)
--------------------	--

NTF

Abb. 1
Vorschlag für eine
standardisierte
Objektklassifizierung
für topographische
Daten in Großbritannien
(aus /2/)

Kodierungsbeispiel

LC03 BDOP TVWD WTCF

LC - Objektkode 'Land Cover'

03 - Anzahl der zusätzlichen Merkmalsfelder

Merkmalsfelder:

1. u. 2. Buchstabe: Merkmalscode z.B. TV = Type vegetation
3. u. 4. Buchstabe: Merkmalswert z.B. WD = Woods
d.h. TVWD = Waldvegetation

ATKIS-OK		Seite 3.1		FTR		Fahrbahntrennung	
Nr.	Objektbereich	Nr.	Objektgruppe	1000	ungetreten	2001	mit Grünstreifen
300	VERKEHR	310	Straßenverkehr	2002	mit Leitplanken	2003	mit Grünstreifen und Leitplanke
Nr.	Objektart						
1100	Straße						
Erfassungskriterium							
TYP	Objekttyp						
3000	linienförmig (bandförmig)						
4000	flächenförmig						
BDF	Breite der Fahrbahn						
----	(tatsächlicher Wert in m)						
OFL	Lage zur Erdoberfläche						
1400	aufgeständert/auf Brücke						
1500	im Tunnel						
ZUS	Zustand						
1100	in Betrieb						
1200	außer Betrieb/stillgelegt						
1300	im Bau						
FKT	Funktion						
1601	Fernverkehr						
1602	Nahschnellverkehr						
1603	zwischenörtlicher Verkehr/Nahverkehr						
1604	Durchgangsverkehr						
1605	Sammelverkehr						
1606	Anliegerverkehr						
9999	sonstiger						
WDM	Widmung						
1301	Bundesautobahn						
1302	"	, zugleich Europastraße					
1303	Bundesstraße	" , zugleich Europastraße					
1304	"	" , zugleich Europastraße					
1305	Landesstraße/Staatsstraße						
1306	Kreisstraße						
1307	Gemeindestraße						
9999	sonstige						

Abb. 2. Ausschnitt aus dem Objektartenkatalog ATKIS-OK
(aus /3/, S. 26)

Gruppe 00: Graphische Grundstrukturen

01: Festpunkte

02: Politische Grenzen

03: Liegenschaftsrechtliche Elemente

04: Begrenzungen und Schutzgebietsgrenzen

0401 Mauer, freistehend links

0402 Mauer, freistehend rechts

0403 Zaun, rechts

0404 Zaun, links

05: Gebäude und andere bauliche Anlagen

0501 Wohngebäude

0502 Gebäude gesellschaftlicher Art

0503 Kirche, Kapelle

0505 Produktions- und Lagerbauten

0510 Pfeiler

06: Verkehrsanlagen

07: Einrichtungen der technischen Versorgung

08: Nutzungsarten, Bodenbewachsung

09: Gewässer

10: Geländeformen

Abb. 3. Klassifizierungskatalog für topographische Elemente
(Auszug aus TGL 26711, nach /4/, S. 192)

Objekt- kode	Objektgruppen und Objekte	Merkmalkode	Merkmale- kode	Merkmalsbedeutung bzw. -wert
1000 0000	Mathematisch-goodkätische Grundlage u. territoriale Gliederung		100	Quantitatives Merkmal, objektbezogen
2000 0000	Relief		110	Breite: m
2100 0000	terrestrisches Relief		120	Länge: m
2110 0000	, durch Isolines und Höhenpunkte dargestellt		132	Fläche: km²
2120 0000	, durch Signaturen dargestellte Reliefformen		140	relative Höhe: ... m
2200 0000	subaquatisches Relief		---	
3000 0000	Gewässer und hydrotechnische Anlagen		200	Quantitatives Merkmal, umfeldbezogen
4000 0000	Siedlung		211	Bewohnerszahl:
4000 0000	Siedlung, ständig bewohnt	211	222	Baumabstand: ... m
4200 0000	Siedlung, zeitweise bewohnt		300	Quantitatives Merkmal, objektbezogen
4300 0000	Einzelgebäude, Gehöft, Gebüdeviertel		311	Baumaterial: 01 Beton
4310 0000	Einzelgebäude			04 Stein
4311 0000	Wohn-, Fabrikgebäude			05 Holz
4311 2000	Gebäude, feuerfest	140,311,421	316	Vegetationart: 100 Nadelgehölze
4311 2100	, Typ 1	140,311,421		101 Fichte
4311 2200	, Typ 2	140,311		102 Kiefer
				105 Tanne
5000 0000	Produktionsanlagen			200 Laubgehölze
6000 0000	Verkehrsnetze und Verkehrsbauten			201 Birke
6100 0000	Schiennetze, Seilbahnen u. deren Anlagen			204 Eiche
6110 0000	Eisenbahnen			206 Pappel
6200 0000	Straßen- und Wegenetze			300 Technische Vegetation
6300 0000	besonderer Abschnitt an Verkehrswegen			302 Hopfen
6400 0000	Verkehrsanlagen an Gewässern			305 Tabak
6410 0000	Brücken			308 Zuckerrübe
6420 0000	Schiffverkehrsanlagen und -bauten			309 Ölplanken
7000 0000	Vegetation, Bodenbeschaffenheit		400	Qualitatives Merkmal, umfeldbezogen
7100 0000	Vegetation			
7110 0000	Baumvegetation		421	Lage zur Siedlung: 1 innerhalb von Siedlungen
7111 0000	Wald		422	2 außerhalb von Siedlungen
7111 1000	Hochwald			05 freistehend
7111 1100	, dicht, Typ 2	132,222,316		06 exponiert, besondere Lage
7111 1110	, , Typ 3 (lineare Signatur; schmales Waldstück)	110,132,316		
7111 1120	, , Typ 1 (Punktsignatur; kleines Waldstück)	316,422		
7112 0000	Baumvegetation außerhalb von Wäldern			
7112 2000	einzelstehende Baumvegetation			
7112 2200	einzelstehender Baum	140,421		
7112 2210	, hervorragend	140,421,422		
7112 2212	, Laubbaum	140,421,422		
7120 0000	Strauch-, Gebüschvegetation			Typen von Objekten
7130 0000	krautige und Grasvegetation			Typ 1 Punktobjekt
				Typ 2 Flächenobjekt
				Typ 3 Linienobjekt
8000 0000	Kartenbeschriftung			
8100 0000	Eigennamen			
8200 0000	Charakteristiken			
8210 0000	Gattungsangaben			
8220 0000	Zahlenangaben			

Bild und Karte. Syntaktische Aspekte

U. Olunczek; A. Wolodtschenko

Technische Universität Dresden

Die breitere Nutzung von Geofernerkundungsdaten und die Einführung der Automatisierungstechnik für die kartographischen Modellierungsprozesse, in denen das räumlich-zeitliche graphische Modell auf der Matrix- bzw. Rasterbasis repräsentiert wird, sind für die modernen Fachdisziplinen wie Fernerkundung, Kartographie, Photogrammetrie, Geologie usw. charakteristisch.

Die Vielfältigkeit von Luft- und Kosmosbildern sowie Karten in analoger und digitaler Form widerspiegelt einerseits die quantitative Seite, d. h. die Gewinnung, Speicherung, Wiedergabe und praktische Nutzung für verschiedene Zweigeinrichtungen der Volkswirtschaft. Andererseits gestattet diese Vielfältigkeit von Geofernerkundungsdaten und der aus ihnen hergestellten Karten einige theoretische Überlegungen durchzuführen, die unter anderem auf kartenbezogenen semiotischen Untersuchungen basieren.

Eine Reihe von Fragen und Problemen der kartographischen Semiotik begrenzt sich schon nicht mehr nur auf die kartographischen Zeichen sowie Strichdarstellungen. Bei der Herstellung von Photokarten bzw. Luft/Kosmosbildkarten werden die Strich- und Halbtondarstellungen kombiniert. Dabei lassen sich in den Photokarten Zeichen und ikonische Halbtonsymbole visuell wahrnehmen und unterscheiden.

Im Rahmen der rechnergestützten Kartographie und Bildverarbeitung ist es notwendig, einige kartenbezogene semiotische Untersuchungen und Experimente weiterzuführen. Das bezieht sich vor allem auf die rechnergestützte Konstruktion, Gestaltung und Analyse (Auswertung) matrixartiger Pixeldarstellungen (Strich-, Halbton- und hybride Darstellungen).

Die vorliegende Arbeit schließt einige theoretische und experimentelle Untersuchungen, und zwar hinsichtlich der syntaktischen Besonderheiten von matrixartigen Pixeldarstellungen, ein.

Eine Methodik zur optimalen Codierung
kartographischer Informationen
für die Untersuchung von Flächennutzungsveränderungen
mit Hilfe eines Bildverarbeitungssystems

I. S. G A R E L I K, O. M A R G R A F und D. G. Z V E T K O V

Geographisches Institut, AdW der UdSSR, Moskau
Institut für Geographie und Geoökologie, AdW der DDR, Leipzig

Zusammenfassung:

Eine Aufgabe von GIS ist die Analyse territorialer Veränderungen durch den Vergleich von Karten zu verschiedenen Zeitpunkten. Im rechnergestützten Vergleich müssen die Karten codiert werden und auch das Ergebnis erscheint in codierter Form. Anschaulichere Ergebnisse erhält man, wenn man die Karten als Bilder mit Hilfe von Bildverarbeitungssystemen vergleicht. In diesem Fall steht die Aufgabe einer optimalen Codierung, die den technischen Bedingungen des Verarbeitungssystems entspricht und eine bestmögliche Darstellung und Erkennbarkeit von Eigenschaften der Ausgangs- und Ergebnisbilder gewährleistet. Eine Methode zur Berechnung optimaler Codierungen für die gemeinsame Analyse kartographischer Informationen zu verschiedenen Zeitpunkten mit einem BVS wird vorgestellt.

Summary:

A special purpose of GIS is analysing regional changes by means of comparing images or maps of different times. For the computer-assisted comparison maps must be coded, and consequently the results has a symbolized, coded form. The results will be more obvious, if the maps are prepared like images and compared with the help of image processing systems. In this case it is necessary to create an optimal code-system which is conformable to the technical conditions of the processing system and guarantees the best representation and perceptibility of properties in input and output images. The paper presents a method of calculating an optimal code-system for the common analysis of cartographic information of different times by means of an image processing system.

Резюме :

В географических информационных системах часто стоит задача анализа изменений на местности. Такие изменения определяются путём сравнения разновременных изображений или карт. Если на ЭИМ сравниваются карты, они кодируются и результат сравнения получают в кодированной форме. Более наглядный результат можно получить, если представить карты в виде изображений и сравнить их с помощью системы обработки изображений. В этом случае возникает задача разработки оптимальной системы кодовых чисел, которая не противоречила бы техническим требованиям системы обработки, а обеспечила бы наилучшие изобразительные и распознавательные свойства исходных и результирующего изображений. В статье предлагается методика расчёта оптимальной системы кодов для совместного анализа разновременной картографической информации на системах обработки изображений.

Beobachtungsaufgaben zu Veränderungen natürlicher und anthropogener Geosysteme erhalten eine immer größere Aktualität und Spannweite. Im Zusammenhang mit der Erweiterung des Anwendungsgebietes und der räumlichen Dimension dieser Aufgaben, orientiert man sich bei ihrer Lösung auf Geographische Informationssysteme (GIS) und damit an den neuesten Erkenntnissen sowohl auf dem Gebiet der Datenerfassung und Datenspeicherung (Datenbank) als auch auf dem Gebiet der Datenverarbeitung (Methoden- und Modellbank) von Daten der Geofernerkundung und kartographischen Informationen.

Eine der Methoden zur Bestimmung und Analyse territorialer Veränderungen ist der Vergleich zweier Karten für ein und dasselbe Territorium zu verschiedenen Zeitpunkten. Die Technik des Vergleiches umfasst die räumliche Anpassung dieser Karten im Geographischen Informationssystem und ihre logische Subtraktion. Als Beispiele kann man anführen

- GIS für das Monitoring der Veränderungen in Sri Lanka /1/,
- GIS für das Monitoring des Acker- und Weidelandes in Süd Dakota /3/ oder
- GIS für die Untersuchung der Flächennutzungsveränderungen in der Großstadtregion Leipzig /2/.

Die Ergebnisse werden meist in codierter Form ausgegeben. Die durch Schnelldrucker erstellten Schreibwerk-Karten zur räumlichen Verteilung definierter Signaturen zeichnen sich jedoch nicht durch hohe Anschaulichkeit oder ausreichende Lesbarkeit aus.

Zur Zeit existieren spezielle Systeme der Bildverarbeitung, welche die Subtraktion von Bildern als Bildoperation ermöglichen und das Ergebnis gleichfalls in Form eines Bildes ausgeben. Zu solchen Systemen gehören insbesondere

- das sowjetische System SVIT,
- das BVS A 6470 aus der DDR,
- das amerikanische System IMAGE-100 und
- das französische System PERICOLOR.

Bilder sind in diesen Systemen von 0 bis 255 codierte Helligkeitsstufen und können sowohl in schwarz-weiß wie in farbiger Form dargestellt werden.

Man kann diese Systeme zur visuellen Bestimmung der durch kartographische Informationen erfassten Veränderung von Landschaften nutzen. Die Karten sollten wie ein Bild codiert sein. Das Untersuchungsgebiet (Territorium) wird dazu in ein regelmäßiges Netz von Quadraten zerlegt und der Inhalt der Quadrate durch eine Zahl zwischen 0-255 codiert. Nachdem diese Informationen auf dem Magnetband abgespeichert sind, kann man sie in farbige Bilder umwandeln und ihre Subtraktion mit dem Bildverarbeitungssystem durchführen.

In Übereinstimmung mit den technischen Parametern dieser Systeme zur Codierung der Informationen werden bestimmte Forderungen an Formatbeschreibung und Codierungssystem erhoben:

- 1a. Zahlen, die als Code erscheinen, müssen positive ganze Zahlen zwischen 0 und 255 sein.
- 1b. Differenzen zwischen diesen Codierungen, die man bei der Subtraktion eines Karten-Bildes von einem anderen erhält und die Veränderungen charakterisieren, sollten gleichfalls positive ganze Zahlen sein.

Im Rahmen dieser notwendigen Forderungen sind verschiedene Codierungsvarianten möglich, die eine mehr oder weniger gute Qualität bei der Darstellung von Karten-Bildern als Zwischen- und Endergebnis liefern. Offensichtlich ist die beste Codierungsvariante eine gleichmäßige Verteilung der zur Codierung verwendeten Zahlen auf das gesamte Intervall von 0 bis 255, um damit eine kontrastreiche Darstellung aller drei Bilder der Subtraktionsoperation zu erhalten. Jedoch kann die angestrebte Gleichverteilung im Widerspruch zu der Forderung nach Linearität für die Codierungsskala der Ausgangs- und Ergebnisbilder stehen. Daraus ergibt sich die Frage nach einer Optimierung der Codierungsskala für die Ausgangsbilder.

Ausgehend von der dominierenden Zielstellung ein gutes Ergebnisbild zu erhalten und unter Berücksichtigung einiger notwendiger Forderungen an die Ausgangsbilder, werden als Ergänzung zu den zwei Grundbedingungen (1a,b) die Optimierungsregeln (2 - 4) formuliert. Zur Vereinfachung der weiteren Darlegungen sind die Codierungsskalen für das erste und zweite Ausgangs- sowie das Ergebnisbild entsprechend mit A, B und C bezeichnet.

2. Die minimale Differenz zwischen zwei Zahlen auf den Skalen A und B sollte nicht kleiner als eine gegebene Zahl n sein.
3. Die zur Codierung verwendeten Zahlen für das Ergebnisbild sollten sich in einer linearen Skala anordnen.
4. Die Optimierung ist mit der maximal möglichen Annäherung der linearen Skale von C an die Gleichverteilung beendet.

1. Die mathematische Formulierung der Optimierungsaufgabe

Eine Optimierungsaufgabe wird mathematisch durch Zielfunktion und Nebenbedingungen formuliert.

$$(1) \quad \begin{cases} 0 \leq A_j \leq 255 \\ 0 \leq B_k \leq 255 \\ 0 \leq C_k \leq 255; \end{cases}$$

$$(2) \quad \begin{cases} A_j - A_{j-1} \geq n \\ B_k - B_{k-1} \geq n, \end{cases}$$

n ist eine gegebene positive ganze Zahl;

$$(3) \quad C_k = ka + \frac{k(k-1)}{2} b,$$

a und b sind Koeffizienten einer linearen Funktion;
 k ist das veränderliche Argument;

Der Ausdruck (3) erweist sich als eine Verallgemeinerung der Gleichungen:

$$\begin{aligned} C_1 &= a \\ C_2 &= 2a + b \\ C_3 &= 3a + 3b \\ C_4 &= 4a + 6b \\ C_5 &= 5a + 10b \\ C_6 &= 6a + 15b \\ &\cdot \\ &\cdot \end{aligned}$$

$$C_k = ka + \frac{k(k-1)}{2} b,$$

$$\text{da } (C_{k+1} - C_k) - (C_k - C_{k-1}) = C_{k+1} - 2C_k + C_{k-1} = b,$$

gilt $(C_{k+1} - C_k) > (C_k - C_{k-1})$,
 d.h., jede nachfolgende Differenz ist größer als die vorhergehende, so daß die Linearität gewährleistet ist.

- (4) $F = a \implies \text{Max.}$, (Zielfunktion)
 a ist zu maximieren unter den Grenzbedingungen (1), (2) und (3).

Die Maximierung des Koeffizienten a führt auf der einen Seite zur Minimierung des Koeffizienten b , d.h. Annäherung der linearen Skala an eine Gleichverteilung und auf der anderen Seite zur maximal möglichen Ausnutzung des Skalenintervalls von 0 bis 255.

Zu obiger Darlegung sind zwei Anmerkungen zu machen:

Erstens, die Zahlen A , und B , sollen entsprechend der Kodierungsbedingung 1a ganzzahlig sein. Also streng genommen muß die Aufgabe mit den Methoden der ganzzahligen Programmierung gelöst werden. Aber da im vorliegenden Fall keine hohe Genauigkeit gefordert ist, kann man die einfacheren Methoden der linearen Programmierung verwenden und auf ganzzahlige Lösungen abrunden.

Zweitens, die Bedingungen 3. und 4. lassen sich nur in den Fällen leicht formulieren, wo die Anordnung der zu codierenden Veränderungen auf der Skala C bekannt ist. Es ist deshalb notwendig, diese Anordnung über die Struktur der Veränderungen als ein konkretes Modell der Aufgabestellung im voraus zu bestimmen.

2. Ein Demonstrationsbeispiel für den Verfahrensgang

Die Reihenfolge der methodischen Schritte für die Berechnung der optimalen Codierungsskalen soll anhand eines einfachen Beispiels veranschaulicht werden.

Abbildung 1

Fragmente von zwei zu codierenden Karten über das gleiche Territorium zu verschiedenen Zeitpunkten t_0 und t_1 .

<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td></tr> <tr><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I 1</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I 2</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I 3</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td></tr> <tr><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td></tr> </table>	I	I	I	I	I 1	I 2	I 3	I	I	I	I	I	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td></tr> <tr><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I 6</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I 3</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I 6</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td></tr> <tr><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td></tr> </table>	I	I	I	I	I 6	I 3	I 6	I	I	I	I	I
I	I	I	I																						
I 1	I 2	I 3	I																						
I	I	I	I																						
I	I	I	I																						
I 6	I 3	I 6	I																						
I	I	I	I																						
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td></tr> <tr><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I 4</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I 5</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I 3</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td></tr> <tr><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td></tr> </table>	I	I	I	I	I 4	I 5	I 3	I	I	I	I	I	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td></tr> <tr><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I 4</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I 5</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I 4</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td></tr> <tr><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td></tr> </table>	I	I	I	I	I 4	I 5	I 4	I	I	I	I	I
I	I	I	I																						
I 4	I 5	I 3	I																						
I	I	I	I																						
I	I	I	I																						
I 4	I 5	I 4	I																						
I	I	I	I																						
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td></tr> <tr><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I 4</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I 6</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I 6</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td></tr> <tr><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td></tr> </table>	I	I	I	I	I 4	I 6	I 6	I	I	I	I	I	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td></tr> <tr><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I 4</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I 7</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I 7</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td></tr> <tr><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td><td style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">I</td></tr> </table>	I	I	I	I	I 4	I 7	I 7	I	I	I	I	I
I	I	I	I																						
I 4	I 6	I 6	I																						
I	I	I	I																						
I	I	I	I																						
I 4	I 7	I 7	I																						
I	I	I	I																						

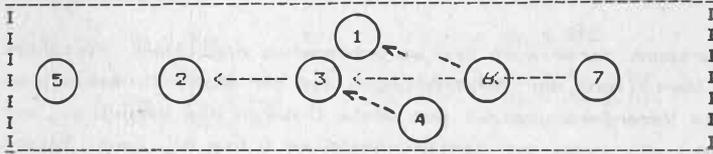
A: zum Zeitpunkt t_0 B: zum Zeitpunkt t_1

2.1. Daten: Nehmen wir als Beispiel die Fragmente von zwei zu codierenden Karten in Rasterform für ein und dasselbe Territorium zu verschiedenen Zeitpunkten (Abb.1). Die unterschiedlichen Flächennutzungsarten (Bodenbedeckung) sind durch entsprechende Zahlen dargestellt. In dem vorliegenden Beispielsgebiet sind es insgesamt 7 Arten. Zum Zeitpunkt t_0 treten dabei nur die Flächennutzungsarten 1 - 6 auf. Zum Zeitpunkt t_1 sind einige Veränderungen zu erkennen, wobei Flächennutzungsarten verschwinden (1 und 2) oder hinzukommen (7). Zur Bestimmung der Struktur der Veränderungen ist es notwendig, die Übergänge für das gesamte Untersuchungsgebiet zu bestimmen.

(5) 1-6, 2-3, 3-4, 3-6, 5-5, 6-7.

2.2. Aufbau und Analyse des Modells: Aufgrund der Veränderungsstruktur (5) kann man den gerichteten Graphen der entgegengesetzten Übergänge (Abb.2) aufbauen. Die Richtung der Pfeile widerspiegelt in diesem Graphen die Differenz ($B_j - A_i$) zwischen den Flächennutzungsarten zum Zeitpunkt t_1 (B_j) und t_0 (A_i). In diesem Beispiel (Abb.2) besitzt der Graph keine Schleife und ist nicht geschlossen (offen, kreisfrei).

Abbildung 2
 Strukturgraph der Veränderungen (Übergänge)
 (offen und ohne Schleifen)



Der Graph zeigt die topologischen Bedingungen für die Anordnung der zu codierenden Flächennutzungsarten auf den Skalen A und B. Sie sind so angeordnet, daß man den Graphen links mit Null zu codieren beginnt und dann nach rechts bis zum Ende mit maximal 255 fortfährt. In diesem Fall werden alle Differenzen $B_j - A_i$ positiv, so daß die Hauptbedingung (1b) für die Skala C erfüllt ist. Über den erstellten Graphen lässt sich nun leicht die Anordnung der Flächennutzungsveränderungen bestimmen, aus der man durch Maximierung die Skala C erhält.

So sind die topologischen Beziehungen für die Flächennutzungsarten 2, 3, 6 und 7 eindeutig gegeben, und es können die Flächennutzungsarten 1 und 4 auf der Skala unter Berücksichtigung der Pfeile $4 \dashrightarrow 3$ bzw. $6 \dashrightarrow 1$ eingeordnet werden. Wenn man dabei die Vertauschbarkeit der Objekte 1 und 4 berücksichtigt, ergeben sich zwei Varianten einer möglichen Reihenfolge.

- (6) I-----5-----I
- I. 2, 3, 1, 6, 7, 4
- II. 1, 2, 3, 4, 6, 7
- I-----5-----I

Da die Flächennutzungsart 5 mit keiner anderen verbunden ist, kann sie einen beliebigen Platz zwischen den Objekten 3 und 4 im ersten Fall und zwischen 1 und 6 im zweiten Fall einnehmen. Es ist nicht schwer einzusehen, daß im Sinne einer Optimierung der Codierung, das Objekt 5 im ersten Fall zwischen 1 und 6 bzw. im zweiten Fall zwischen 3 und 4 eingeordnet werden muß. In diesen Fällen bekommen wir folgende Anordnung der Flächennutzungsarten.

- (7) I. 2, 3, 1, 5, 6, 7, 4
 II. 1, 2, 3, 5, 4, 6, 7.

Man erkennt daran auch die verschiedenen möglichen Varianten einer Verteilung der Veränderungen auf der Skala C. Bezeichnen wir die Veränderungen auf der Skala C durch das Symbol C_i , mit i bzw. j als Index der Codierungsskalen B bzw. A. Dann lassen sich die durch die Skala C darzustellenden Veränderungen in Übereinstimmung mit (5) in folgender Form beschreiben:

- (8) $C_{61}, C_{32}, C_{43}, C_{63}, C_{65}, C_{76}$.

Außerdem bietet sich eine erste Näherung an die zur Codierung für die Skala C verwendbaren Zahlen an, indem die Skalen A und B als gleichmäßig verteilt und der Abstand zwischen benachbarten Flächennutzungsarten gleich n angenommen wird. Dabei erhält man folgende vorläufige Differenzen aus den codierten Werten der Skalen A und B, die als Veränderungen auf der Skala C codiert werden müssen:

- (9) I. $C_{76}=n, C_{32}=n, C_{61}=2n, C_{63}=3n, C_{43}=5n$
 II. $C_{76}=n, C_{32}=n, C_{43}=2n, C_{63}=3n, C_{61}=5n$.

Aufgrund der Übereinstimmung von C_{76} und C_{32} ergeben sich insgesamt vier mögliche Varianten für die Anordnung der Veränderungen auf der Skala C:

- (10) Ia. $C_{32}, C_{76}, C_{61}, C_{63}, C_{43}$
 Ib. $C_{76}, C_{32}, C_{61}, C_{63}, C_{43}$
 IIa. $C_{32}, C_{76}, C_{43}, C_{63}, C_{61}$
 IIb. $C_{76}, C_{32}, C_{43}, C_{63}, C_{61}$.

Für die Auswahl der optimalen Variante sind somit vier Aufgaben der linearen Programmierung zu lösen. Als Beispiel schreiben wir alle Bedingungen für die Variante Ia auf.

Zielfunktion: $F = a \implies \text{Max.}$

Grenzbedingungen:

$$(11) \quad \begin{array}{ll} 1. A_2 = 0, & A_4 \leq 255 \\ 2. A_3 - A_2 \geq n; & A_1 - A_3 \geq n; \\ A_6 - A_1 \geq n; & A_6 - A_5 \geq n; \\ A_7 - A_6 \geq n; & A_4 - A_7 \geq n; \end{array}$$

Für n kann man als erste Schätzung die Hälfte des Intervalls einer gleichverteilten Skala A annehmen. Im vorliegenden Beispiel ergäbe das bei 6 Intervallen der Skala A :

$$n = 1/2 * (256/6) \approx 21$$

$$3. \quad \begin{array}{ll} C_{32} = A_3 - A_2 = a; & A_3 - A_2 - a = 0 \\ C_{76} = A_7 - A_6 = 2a + b; & A_7 - A_6 - 2a - b = 0 \\ C_{61} = A_6 - A_1 = 3a + 3b; & A_6 - A_1 - 3a - 3b = 0 \\ C_{63} = A_6 - A_3 = 4a + 6b; & A_6 - A_3 - 4a - 6b = 0 \\ C_{43} = A_4 - A_3 = 5a + 10b; & A_4 - A_3 - 5a - 10b = 0 \\ C_{43} = A_4 - A_3 + a \leq 255; & \end{array}$$

Dabei wird die erste Veränderung C_{32} auf der Skala C mit a codiert, da die Null für solche Übergänge reserviert bleibt, wo keine Veränderungen auftreten, d.h. die Flächennutzungsart gleich geblieben ist.

Die Gleichungen der 1. Bedingungsgruppe ermöglichen zusammen mit der letzten Gleichung der 3. Bedingungsgruppe des Systems (11) eine maximale Ausnutzung des Intervalls innerhalb seiner Grenzen von 0 bis 255.

Dieses System bedarf jedoch noch eines Kommentars, da die Bedingungen der Skala B nicht formuliert wurden. Mit anderen Worten, das System (11) beschreibt einen offenen Graphen ohne Schleifen mit identischen Ausgangslegenden A und B . Im allgemeinen Fall würden die Gleichungen der 3. Bedingungsgruppe in (11) folgendermaßen aussehen:

$$(12) \quad \begin{array}{l} C_{32} = B_3 - A_2 = a; \\ C_{76} = B_7 - A_6 = 2a + b; \quad \text{usw.} \end{array}$$

Das Ergebnis der Optimierung ist u.a. abhängig von der Wahl des Parameters n , der bis zu einem gewissen Grad willkürlich bleibt. Hat man den Wunsch das Optimierungsergebnis zu überprüfen oder zu verbessern, kann man die Aufgabenstellungen durch diesen Parameter variieren, lösen und vergleichen.

2.3. Die Lösung der Varianten in (10) führt zu folgenden Resultaten:

- $n = 21$: Die Varianten Ia und IIb liefern keine Lösung, da die Systemgrenzen nicht miteinander vereinbar sind.
Die Varianten Ib und IIa haben ihr Optimum bei $a = 27$, woraus sich $b = 6$ und die entsprechenden Codierungen der Skalen A und C (vgl.Tab.) ergeben.
- $n = 19$: Die Varianten Ia und IIb sind jetzt lösbar und besitzen ihre Lösung bei $a = 19$ und $b = 13$, die aber schlechter ist als obige Lösungen für die Varianten Ib und IIa.
- $n < 19$: Bringt für die Varianten Ib und IIa eine Verbesserung für die Skala C, verschlechtert dabei jedoch die Skalen A und B.

Die Auswahl aus ähnlichen Alternativen bleibt dabei dem Wissenschaftler überlassen.

Tabeller

Die optimale Codierung der Legendeneinheiten für die Ausgangskarte (A) und Veränderungskarte (C)

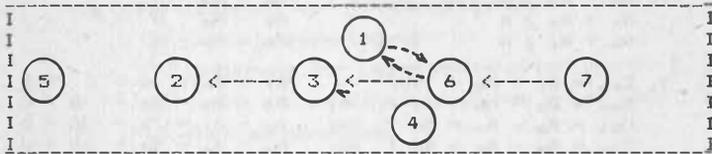
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	Skala A	Ib	I	IIa	I	Skala C	I	Ib	I	IIa
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I		I	I	I	I		I	I	I	I
I	A ₁	I 105	I 0	I C ₇₆ = A ₇ -A ₆	I 27	I 60	I	I 60	I	I
I	A ₂	I 0	I 24	I C ₃₂ = A ₃ -A ₂	I 60	I 27	I	I 27	I	I
I	A ₃	I 60	I 51	I C ₆₁ = A ₆ -A ₁	I 99	I 195	I	I 195	I	I
I	A ₄	I 255	I 150	I C ₄₃ = A ₄ -A ₃	I 144	I 144	I	I 144	I	I
I	A ₅	I 155	I 100	I C ₄₃ = A ₄ -A ₃	I 195	I 99	I	I 99	I	I
I	A ₆	I 204	I 195	I	I	I	I	I	I	I
I	A ₇	I 231	I 255	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I

2.4. Jetzt betrachten wir den Fall, daß der Graph geschlossen ist oder eine Schleifen besitzt, wie z.B. der Graph in Abb.3 mit einer Schleife $6 \rightarrow 1 \rightarrow 6$. Dies bedeutet, daß die Flächennutzungsart 1 sich zur Flächennutzungsart 6 und umgekehrt verändern kann. In diesem Beispiel, wo die Skalen für A und B übereinstimmen, wird eine der Codierung C₁₆ oder C₆₁ negativ, was der Grenzbedingung (1b) für die Codierung der Skala C widerspricht. Damit dies nicht geschieht, muß man die

beiden Ausgangsskalen um die Differenz der beiden vertauschbaren Skalenwerte plus dem Code für die erste zu codierende Veränderung (= a) auf der Skala C

$$(13) \quad A_0 - A_1 + a \quad \text{verschieben.}$$

Abbildung 3
Strukturgraph der Veränderungen (Übergänge)
(mit Schleife)



Beim Aufbau und der Analyse des Graphen (Abb.3) ist es dabei nicht erwünscht, die Schleife durch Einfügen anderer Objekte zu vergrößern, damit die Intervalle der Skala C nicht zusätzlich verkleinert werden. Berücksichtigt man diese Bemerkung, so ergibt sich aus dem Graphen die folgende Anordnung der Flächennutzungsarten:

$$(14) \quad 2, 3, 1, 6, 5, 7, 4.$$

Dem entsprechen die Distanzen:

$$(15) \quad \begin{aligned} C_{32} &= C_{61} = C_{16} = n, \\ C_{63} &= C_{76} = 2n, \\ C_{43} &= 5n. \end{aligned}$$

Nach Verschiebung der beiden Ausgangsskalen A und B gegeneinander um die nach (13) bestimmte Größe, sieht die damit verbundene Regulierung der Skala C wie folgt aus

$$(16) \quad \begin{aligned} C_{16} &= a, \\ C_{32} &= C_{61} = 2n+a, \\ C_{63} &= C_{76} = 3n+a, \\ C_{43} &= 6n+a. \end{aligned}$$

Analog der in (11) formulierten Grenzbedingungen für den Fall eines offenen und schleifenlosen Graphen, lässt sich die Optimierungsaufgabe wie folgt formulieren.

Zielfunktion: $F = a \implies \text{Min.}$

Grenzbedingungen:

$$\begin{array}{ll}
 (17) \quad 1. \quad A_2 = 0 & B_3 = A_3 + B_2 \\
 \quad \quad B_2 = A_6 - A_1 + a & B_1 = A_1 + B_2 \\
 \quad \quad B_4 \leq 255 & B_6 = A_6 + B_2 \\
 & B_8 = A_8 + B_2 \\
 & B_7 = A_7 + B_2 \\
 & B_4 = A_4 + B_2 \\
 \\
 2. \quad A_3 - A_2 \geq n & A_8 - A_6 \geq n \\
 \quad \quad A_1 - A_3 \geq n & A_7 - A_8 \geq n \\
 \quad \quad A_6 - A_1 \geq n & A_4 - A_7 \geq n \\
 \\
 3. \quad C_{16} = B_1 - A_6 = a; & B_1 - A_6 - a = 0 \\
 \quad \quad C_{32} = B_3 - A_2 = 2a + b; & B_3 - A_2 - 2a - b = 0 \\
 \quad \quad C_{61} = B_6 - A_1 = 3a + 3b; & B_6 - A_1 - 3a - 3b = 0 \\
 \quad \quad C_{76} = B_7 - A_6 = 4a + 6b; & B_7 - A_6 - 4a - 6b = 0 \\
 \quad \quad C_{63} = B_6 - A_3 = 5a + 10b; & B_6 - A_3 - 5a - 10b = 0 \\
 \quad \quad C_{43} = B_4 - A_3 = 6a + 15b; & B_4 - A_3 - 6a - 15b = 0 \\
 \quad \quad C_{43} = B_4 + A_3 + a \leq 255; &
 \end{array}$$

Damit ist eine der möglichen Varianten zur Codierung der Skala C gezeigt. Andere Varianten ergeben sich aus der Vertauschbarkeit der Veränderungen C_{32} mit C_{61} oder C_{76} mit C_{63} .

Ist die Anzahl der Flächennutzungsarten und Veränderungen nicht zu groß, kann man die Aufgabe auch mit Hilfe einer einfachen Methode ohne die lineare Programmierung lösen. Dazu werden die Parameter a und b , mit Hilfe derer in dem Gleichungssystem die unbekanntenen Codierungen ausgedrückt sind, durch die Ungleichungen ersetzt und das System der Ungleichungen gelöst. Die vorgeschlagene Methode ist einfach und bringt Ergebnisse die nahe den optimalen sind.

3. Zusammenfassung des Ablaufs der methodischen Schritte

Zum Abschluß seien die methodischen Schritte zur optimalen Codierung von kartographischer Informationen für die Subtraktion zweier Karten A und B und deren Differenz C im Sinne eines Ablaufplanes zusammengefasst.

- o **Gegeben:**
 - 2 Karten A und B über das gleiche Territorium
 - Rasterdaten, Kartenlegende
- o **Analyse der Veränderungsstruktur:**
 - Aufbau des Graphen für die Übergänge $A \rightleftharpoons B$
- I-----> o **Forderung nach kontrastreichen Ausgangsbildern:**
 - I - Wahl des Parameters n
- I o **Formulierung der Nebenbedingungen:**
 - I (1) Codierungsbedingung -
 - I Codierung der Legendeneinheiten von A, B, C
 - I durch ganzen Zahlen zwischen 0 und 255;
 - I (2) Kontrastbedingung -
 - I eine minimale Differenz n zwischen den
 - I Codierungen von A und B nicht zu unterschreiten;
 - I (3) Linearitätsbedingung -
 - I jede nachfolgende Differenz zwischen A und
 - I B als Codierung von C ist größer als die
 - I vorhergehende;
- I o **Formulierung der Zielfunktion:**
 - I - Annäherung der linearen Skala von C an eine
 - I Gleichverteilung unter maximaler Ausnutzung
 - I des Skalenintervalls von 0 bis 255;
- I----- o **Bewertung des Optimierungsergebnisses:**
 - Lösbarkeit im Rahmen der Nebenbedingungen;
 - Wahl des Parameters n ;
- o **Codierung der Ausgangskarten:**
 - Anpassung der Kartenlegenden von A und B an das
 - Bildverarbeitungssystem aufgrund der Optimierung
- o **Berechnung des Differenzbildes:**
 - Anwendung der Subtraktion als Bildoperation;
- o **Interpretation des Differenzbildes:**
 - Entschlüsselung der Veränderungsstruktur
 - anhand der Skala C.

Ein Programm zur Lösung der linearen Programmierung liegt in einer maschinenorientierter Sprache für den Rechner ISKRA 1256 vor.

Literaturverzeichnis:

- /1/ Best, R.G. GIS for soils and rangeland management.
Westin, F.C.: Pecora 9th.Symp.Spat.Inf.Technol.Remote
Sens. Today and Tomorrow. Sioux Falls,
S.D. 2.-4.Oct., 1984, Proc.
Silver Spring, Md, 1984, S.70-74
- /2/ Leistner, F.: Veränderung der Flächennutzung durch den
Braunkohlenbergbau und Ansätze für ihre
Bewertung.
Nachrichten Mensch-Umwelt, 13(1985)2, S. 53-62
- /3/ Schmid, P.: Monitoring land use changes in Sri Lanka
for land use planning using a geographical
information system and satellite imagery.
"IGARSS'86: Remote Sens., Today's Solut.
Tomorrow's Inf.Needs. Proc.Symp., Zürich,
8.-11.Sept., 1986, Vol.3".
Paris, 1986, S.1259-1265

