

479

ZENTRALINSTITUT FÜR PHYSIK DER ERDE

Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde

Nr. 118

Teil 2



6. KONFERENZ

FERNERKUNDUNG

Stand und Entwicklungstendenzen

Fernerkundung
für die Umweltüberwachung

Potsdam, 28.-31. Mai 1991

Beiträge zur Konferenz

Wissenschaftlicher Koordinator: Prof. Dr. K.-H. Marek
Wissenschaftliche Redaktion: Dr.-Ing. habil. J. Höpfner
Technische Bearbeitung: K. Hassenberg, B. Hein

Herausgeber: Der Direktor des Zentralinstituts für Physik der Erde Potsdam

Als Manuskript gedruckt
Potsdam 1991





93.0747/2

Die 6. Konferenz "Fernerkundung für die Umweltüberwachung" wurde mit Mitteln der Deutschen Agentur für Raumfahrtangelegenheiten (DARA) GmbH unter dem Förderkennzeichen 50 QS 9105 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Beiträge liegt bei den Autoren.

Soil Moisture Estimation Using Truck Mounted
L. S Microwaves and Thermal-Infra Band Radiometers
and Different Theoretical Models

Dr.G.Ijjas*, senior sci.assist.
* Technical University of Budapest

Dept. of Microwave Telecommunication, Space Research Group

Y.S.Rao senior research assist.
Indian Institute of Technology Bombay, C.S.R.E.

F.Hörcher, senior sci. assist.
FÖMI Remote Sensing Centre

Z.Vargai sen. sci. assist.
Research Centre for Water Resources Development
Intitute of Hydrology

L. Aujeszky*, sci.assist.

1. Abstract

Series of radiometer measurements were carried out in August 1990 near Taksony, on the Great Hungarian Plain. The main aim of these measurements was to check the accuracy of the applied radiometers and theoretical models for soil moisture estimation through the entire soil moisture range.

This paper presents the soil moisture estimation of three bare test plots, with different soil moisture conditions. The soil moisture estimation based on the measurements of truck-mounted L-, S-band microwave and thermal-infra radiometers. For the calculation of soil moisture values, different theoretical models have been used. A great number of soil samples were collected and the moisture content of samples was determined by gravimetric method. It has been concluded that the comparison of the gravimetric and estimated soil moisture values gave an error less than 5% at smooth surface using the Dobson et.al model.

2. Introduction

In the past years an Airborne Microwave Radiometer System (AMRS) was developed for remote sensing applications by the Space Research Group, Dept. of Microwave Telecommunication, Technical University of Budapest (SRG, DMT-TUB) [5]. The sensor system

includes L-, S-band microwave and thermal-infra radiometers, which can be installed on a light aircraft. The on-board data collection system, the radiotelemetry link and the ground based work station as parts of the AMRS, provide the data handling/processing facility. The data processing software was developed in the frame of an Indian-Hungarian cooperation between TUB and the Indian Institute of Technology, Bombay (IIT Bombay).

Applying the AMRS, the soil moisture map of large territories can be measured with a spatial resolution in order of 10-50 m. The system can be used for the purposes of agriculture, water management and environmental protection.

Several field and flight measurements were carried out over agricultural fields in 1988 [2] and 1989 [3]. In 1990 series of field measurements were carried out to check the accuracy of the applied radiometers and softwares at agricultural area near Taksony on the Great Hungarian Plain [4].

3. Description of the test area

For the field measurements three 12x12m size test plots were prepared, removing the vegetation cover and smoothing the surface with a grader (see fig.1.).

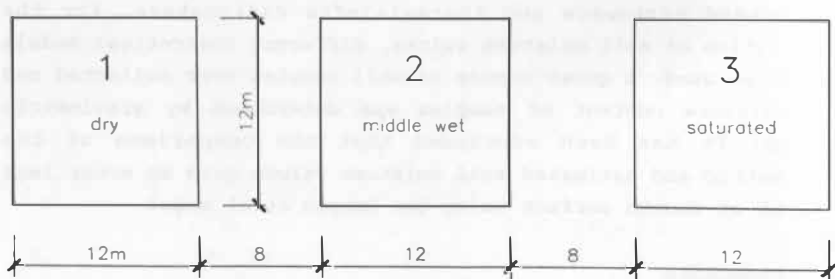


Fig.1. Scheme of the three test plots

The first one was kept dry, the second one was artificially irrigated and the third one was artificially irrigated till

saturation. The measurements were carried out during a very dry period of summer, by 13-14 July.1990, there was no rain at that area two weeks back. The soil parameters have shown in the table 1. A small lake next to the test plots had given possibility to carry out the water calibration measurements.

Table 1. The physical and chemical parameters of the soil

		AREA No.		
		1.	2.	3.
Temp. (0 cm)	[°C]	45.0	30.0	30.8
Temp. (40 cm)	[°C]	26.1	23.1	24.3
Bulk density	[g/cm ³]	1.755	1.735	1.745
Spec. density	[g/cm ³]	2.635	2.627	2.625
Sand	[%]	86.5	84.0	84.0
Clay	[%]	1.5	1.5	1.5
Conductivity of soil paste	[mS/cm]	0.53	0.5	0.58
Spec. surface of soil	[m ² /g]	26.98	27.55	29.45
CEC	[mgeé/100g]	15.0	15.32	16.73
Gouy layer surface charge density	[ESU.cm ⁻²]	1607.3	1607.6	1642.3

4. Ground truth measurements

For the evaluations of microwave measurements, a great number of soil samples were taken by a 4 cm diameter soil sampler. The locations of the soil samplings and the microwave measurements shown in the fig.2. At the corners of the test plots, soil moisture profile measurements were taken at the depths 0-2.5, 2.5-5, 5-10, 10-15, 15-20, 30-35, 40-45 cm, 32 surface soil samples were taken at the depths 0-2.5 and 2.5-5.0 cm. The soil temperature was determined by conventional thermometers at the depths 0, 2, 5, 10, 15, 20, 30 and 40 cm. The soil samples were

dried out by an electric oven and both, the gravimetric and volumetric moisture of the samples were determined.

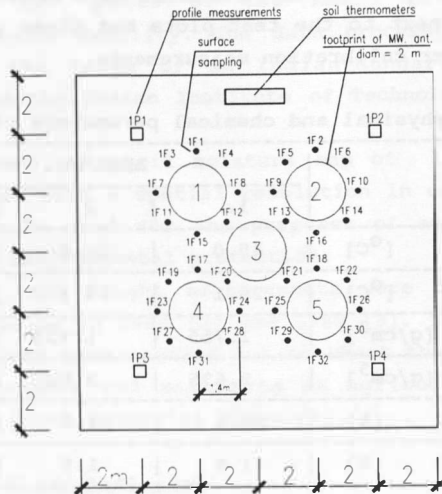


Fig.2. The locations of the soil sampling measurements and the footprints of the radiometer measurements

5. Sensor system and calibration

Brightness temperature data was acquired with L- (1.41GHz), S-band (2.695 GHz) microwave and thermal-infra band (8-14 μ m) radiometers mounted on a commercial boom truck. The draft of the equipment shown in the fig.2. The radiometers are noise injection types, with micropatch antennas, having 3dB beamwidths appr.20 degrees. The measured data were collected by a microcomputer based data acquisition system and the data were recorded and processed by an IBM-PC computer. The calibration measurements was carried out from 6 meter height at look angles of -5, 0, 5, 10, 20 degrees, over calm water body and using 11 cm thick Eccosorb sheets close to the antenna system(AN79). Also some measurements were carried out, pointing the antenna system to the sky. Based on the results of the eccosorb and water calibration measurements, the radiometer characteristics were determined. A

commercial camcorder was mounted together with the radiometers, providing the exact antenna positioning toward the five marked points of the test plots.

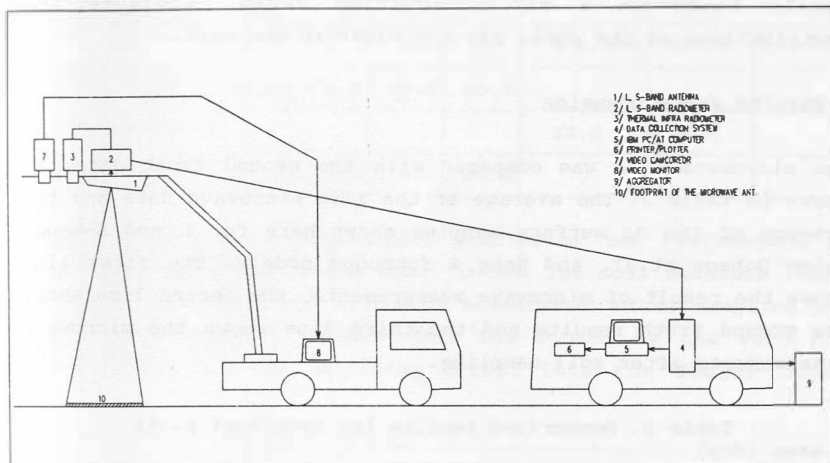


Fig.3. The draft of the microwave radiometer system using a truck boom

6. Microwave measurement

At all areas, five microwave measurements were carried out before taking the soil samples and after taking the soil samples. The look angle of the antenna system was 5 degrees with horizontal antenna polarisation, the height of the antenna was 6m. The sampling rate of the radiometers was appr. 6.7 msec. At each antenna positions the data was collected during 30 sec. The data was stored on hard disc and later it was processed using two different theoretical models.

7. Applied models

Various models, Wang and Schmugge [9], Shutko and Reutov [7], Dobson et al [1], Jackson and Neill [6] are available for the calculation of dielectric constant of moist soils. For the

evaluation of the measured radiometer data, Wang and Schmugge [9] empirical model and Dobson et. al [1] four component model were used for the calculation of soil moisture content. Both developed models based on a mixing equation which considers the contributions of the rock, air and water in the soil.

8. Results and discussion

The microwave data was compared with the ground truth data, as shown in table 2. The average of the five microwave data and the average of the 32 surface samples shown here for L and S-band, using Dobson et.al. and Wang & Schmugge models. The first line shows the result of microwave measurements, the second line shows the ground truth results and the third line shows the microwave measurements after soil sampling.

Table 2. Summarised results for each test plots

1.area (dry)

date 13.08.90.	SM (Dobson) [vol%]		SM (Wang) [vol%]		SM (ground truth) [vol%]		
	L	S	L	S	0-2.5cm	0-5cm	2.5-5cm
time							
14h40-15h00	1.2	1.1	-4.5	-4.5			
15h00-16h40					3.06	4.0	4.93
16h40-16h57	1.2	0.4	-4.5	-5.7			

2.area (middle wet)

date 14.08.90.	SM (Dobson) [vol%]		SM (Wang) [vol%]		SM (ground truth) [vol%]		
	L	S	L	S	0-2.5cm	0-5cm	2.5-5cm
time							
13h15-13h28	19.2	21.9	21.6	24.5			
13h28-15h45					19.9	24.8	
15h45-15h58	15.1	12.4	16.8	13.0			

It was concluded, the Dobson et.al. model gives better correlation with the ground truth data, the Wang & Schmugge model

had given negative soil moisture values in the low soil moisture

3.area (saturated)

Table 2.cont.

date 14.08.90.	SM (Dobson) [vol%]		SM (Wang) [vol%]		SM (ground truth) [vol%]		
	L	S	L	S	0-2.5cm	0-5cm	2.5-5cm
time							
10h06-10h22	25.5	27.9	28.6	30.9			
10h22-12h00					23.5	27.8	
12h00-12h13	22.5	23.8	25.5	26.8			

range. It can be a calibration problem of the radiometers and also the inaccuracy of the model in the low soil moisture range. At the 2. test plot the microwave measurement after sampling gave lower soil moisture values. This was caused by the very high evaporation and the drainage effect into the deeper depth,

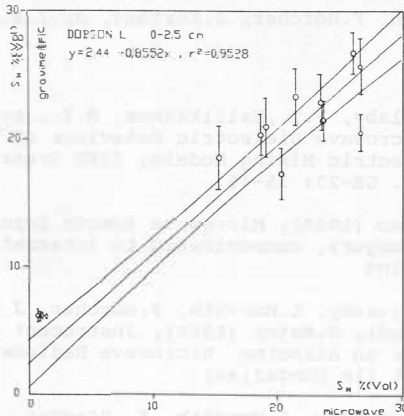


Fig.4. Comparison of the microwave measurements with the ground truth measurements

because this area wasn't in equilibrium. The 0-2.5cm ground truth data comparing to the L-band microwave data using Dobson model, shown in fig.3. A line was fitted to the points with a correlation $r^2=0.9528$.

The presented research and developing work have been supported by the State Office of Technical Development, the Intercosmos Council of Hungarian Academy of Sciences and by the Ministry of Agriculture. The FÖMI Remote Sensing Centre as a prime contractor cooperates with the Space Research Group, Technical University of Budapest.

9.Acknowledgement

The authors wishes to express his gratitude to S.Zsámboki, P.Szalai, J.Fekete, dr.G.Remetey, dr.A.Gschwindt, dr.Bozsóki, dr.K.S.Rao, dr.G.Szász, P.Winkler for their constant encouragement and providing the necessary facilities to carry out the research. Also to dr.T.J.Jackson for his useful advices. The work would have not been carried out without the assistance of the following colleagues who participated directly in the work: T.Hidvégi, L.Horváth, F.Hörcher, J.Kertész, dr.I.Rieger, Zs.Rudi.

References

- [1] Dobson, M.C., Ulaby, F.T., Hallikainen, M.T., and El-Rayes, M.A (1985), Microwave Dielectric Behaviour of Wet Soil - Part II.: Dielectric Mixing Models, IEEE Trans.Geosci. Remote SEnsing. GE-23: 35-46.
- [2] Ijjas G., Y.S.Rao (1989), Microwave Remote Sensing of Soil Moisture in Hungary, communicated to International Journal of Remote Sensing
- [3] Ijjas, G., L.Aujeszky, L.Horváth, F.Hörcher, J.Kertész, I.Rieger, Zs.Rudi, P.Major (1989), Instrument and software development for an Airborne Microwave Radiometer System, Internal report (in Hungarian)
- [4] Ijjas, G., L. Aujeszky, L.Horváth, F. Hörcher, J.Kertész, I.Rieger (1990), Field Measurements by Microwave Radiometers at Taksony, 13-14 August 1991. Internal report.(in Hungarian)

- [5] Ijjas, G.(1990), An Airborne Microwave Radiometer System for Soil Moisture Mapping, 10th EARSeL Symp., Toulouse, Proc.159-169
- [6] Jackson, T.J., and O'Neill,(1986), Microwave dielectric model for aggregated soils. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing. 24, 920-929.
- [7] Shutko, A.M., and Reutov.,E.M., (1982), Mixture formulas applied in estimation of dielectric and radiative characteristics of soils and grounds at microwave frequencies. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 20, 29-32.
- [8] Vargai,Z. (1990), Investigations for Remote Sensing of Soil Moisture, using Microwave Radiometers. Inner report (in Hungarian)
- [9] Wang J.R. & T.J. Schmugge (1980), An Empirical Model for Complex Dielectric permittivity of soils as a function of Water Content, IEEE Trans.Geosci.Remote Sensing. GE-18: 288-293.

Luftbildaufnahmen aus Ultraleichtflugzeugen zur Kontrolle der Wasserapplikation

U. Bonau

Universität Rostock

Zusammenfassung

Zur Kontrolle der Wasserapplikation bei der Erprobung neuer Bewässerungsverfahren haben sich Luftbildaufnahmen aus Ultraleichtflugzeugen als sehr vorteilhaft erwiesen. Die Befliegungen sind zeitlich beliebig steuerbar; Aufnahmen mit handelsüblichen Fotoapparaten (24 mm x 36 mm bzw. 60 mm x 60 mm) aus 200 m Flughöhe liefern eine hohe Detailerkennbarkeit und eine ausreichende Positionsgenauigkeit. Bei Verfahren der Unterflurbewässerung hängt die Erkennbarkeit der Wasserverteilung stark von der Höhe der Wassergate ab.

Summary

For controlling waterapplication/-distribution by testing new methods of irrigation it is very advantageous to use airphotos, realized from trikes. The time of surveying is full variable, airphotos from 200 m attitude taken with commercial photocaleras (24 mm x 36 mm or 60 mm x 60 mm) will give a high detectibility of details and a good precision of their position. By underground-irrigation-systems the detectibility of water-distribution is very dependent on the quantity of irrigated water.

Rezjume

Dlja kontrolirovanija aplikacija vody pri ispytanija novych metodov orošenija primenenie aerosnimok, fotografirujut iz trikes, nokazano očen položitel'no. Vremja fotografirovanija po želaniju osušestvimaaja, snimki sostavlenny s fotoapparatami (24 mm x 36 mm ili 60 mm x 60 mm) iz vysočiny 200 m imejut vysokie uznavanje detalej i udovletvoritel'nuju pozicionnuju točnostju. Uznavanje raspredelenija vody pri primenenii metodov podpoverchnostnyj orositel'nych setj zavisit takže ot količestva vod.

1. Ausgangssituation und Zielstellung

Seit Mitte der 70er Jahre wurden unter inhaltlicher Regie der Universität Rostock Verfahren der Applikation von Wasser auf Boden und Pflanzen untersucht, die unter der Bezeichnung "Neue technische Lösungen" der Bewässerung (NTL) publiziert sind. Ein wesentliches Ergebnis ist das System "Warnow 83", das mit unterirdisch verlegten Verteilern arbeitet. Die Forschungen, die unter verschiedenen Standort-, Boden- und Anbauverhältnissen durchgeführt wurden, erforderten ein hohes Maß an terrestrischen Kontrollen. Da die prinzipiellen Möglichkeiten der Fernerkundung für eine differenzierte Erfassung von Bodenfeuchte und Grad der Wasserversorgung der Pflanzen hinreichend bekannt und auch durch eigene Arbeiten zur Feststellung der Entwässerungsbedürftigkeit von Böden, der Rekonstruktionsnotwendigkeit von Dränanlagen, zur Trennung von Vernässung durch Grundwasser und durch Niederschlagswasser nachgewiesen sind, wurde die Frage gestellt, ob sie sich nicht auch für eine rationelle Kontrolle der Wasserapplikation des o. g. Systems eignet. Der Flächengröße von nur wenigen Hektar angepaßt sollten zugleich Alternativen zur konventionellen Luftbilddaufnahme erprobt werden.

Für die Untersuchungen ergaben sich folgende Schwerpunkte:

- Nachweis der Funktionstüchtigkeit der Verteilerröhren durch Luftbilddaufnahmen
- Nachweis der Bewässerungswirksamkeit durch Luftbilddaufnahmen
- Aussagefähigkeit eines Strahlungstemperaturmessers im Vergleich zur Luftbilddaufnahme
- Einsatz von Ultraleichtflugzeugen als Trägerplattform und
- Einsatz von Fotoapparaten Format 24 mm x 36 mm sowie 6 cm x 6 cm für die Bilderherstellung.

2. Objektauswahl und Technikeinsatz

Aus mehreren möglichen Objekten wurde die internationale Versuchsanlage am Standort Szarvas, Südostungarn, ausgewählt, weil

hier neben dem ungarischen Partner auch die Hochschule Nitra (ČSFR) an den Rostocker Experimenten interessiert war und eine spezielle Flugtechnik verfügbar schien.

Der Standort ist ein Auenton (extrem schwere Wiesenschwarzerde), mit 0,5 bis 1,5 % schwach geneigt und hat in der Hauptvegetationsperiode einen Grundwasserstand von ca. 2,5 m unter Flur. Auf der untersuchten Fläche erfolgte die Bewässerung über gefilterte Rieselröhren in einer Verlegetiefe von etwa 0,5 m.

Die Untersuchungsfläche war 1990 - im Jahr der vorgelegten Bildokumentation - mit Erdnüssen bestellt.

Als "Trägerplattform" stand ein 2sitziges typenloses Ultraleichtflugzeug (Motordrachen) zur Verfügung, die Aufnahmen wurden vom "Passagier" getätigt.

Für die Kontrolle der Funktionstüchtigkeit wurde eine Kleinbildkamera 24 mm x 36 mm und als Filmmaterial FUJI - Negativ - Farbfilm eingesetzt,

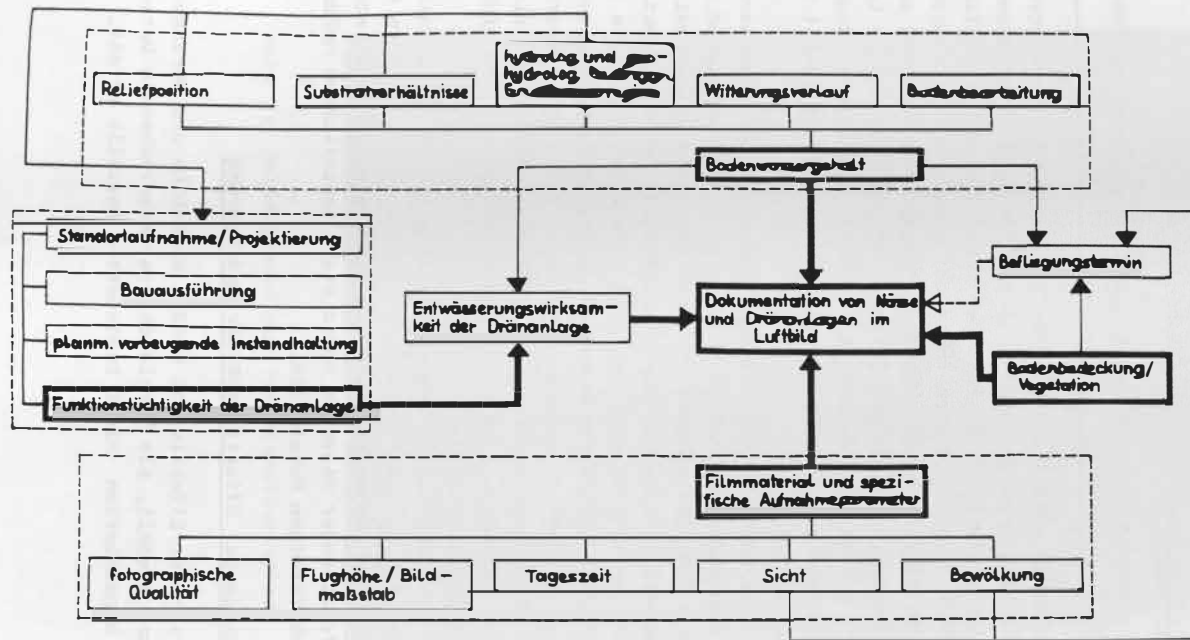
für den Effektivitätsnachweis eine 6 cm x 6 cm - Kamera und AGFA - Negativ - Film, die Aufnahmen erfolgten aus 200 m Flughöhe.

Die Temperaturmessung wurde parallel zur Luftbildaufnahme mit dem Strahlungsthermometer KT 24 der Firma Heimann, Wiesbaden, realisiert, das durch ein spezielles Filter die störende Reflexionsstrahlung weitestgehend eliminieren und eine hohe Meßgenauigkeit gewährleisten soll.

3. Terrestrische Datenerfassung

Alle Einlauf- und Kontrollschächte wurden in einem lokalen System koordinatenmäßig bestimmt, so daß eine mechanische oder rechnergestützte Entzerrung der Luftaufnahmen problemlos möglich war.

Für die Erfassung von Bodentemperatur- und Bodenfeuchteverlauf in der obersten Bodenschicht (bis ca. 10 cm Tiefe) wurden Meßpunkte installiert, wobei die Bodentemperatur mit Kontaktthermometern und die Bodenfeuchte durch Probenahme bestimmt wurden. Entsprechend dem Erkenntnisfortschritt wurden der Zeitraum zwischen den Messungen und die Dichte bzw. Anordnung der Meßpunkte verändert. Parallel zu den Messungen auf den bewässerten



DOI: <https://doi.org/10.2312/zipe.1991-118.02>
 Abb. 1 · Einflussfaktoren auf die Dokumentation von Nässe und Dränanlagen im Luftbild

Flächen erfolgten gleichartige Vergleichsmessungen auf den benachbarten nicht bewässerten Parzellen.

4. Ergebnisse

4.1. Nachweis der Funktionstüchtigkeit der Bewässerungsröhren

Wie bei früheren Untersuchungen zur Erkennbarkeit von Altdränen in Luftbildern zeigte sich auch bei den Bewässerungskontrollen, daß viele einzelne Faktoren die prinzipielle Möglichkeit, zumindest aber die Sicherheit der Aussagen beeinflussen (Abb. 1). So führten bereits geringe Abweichungen von der angenommenen Substrathomogenität, geringe Unterschiede in der Lagerungsdichte und geringe Änderungen im Verlegegefälle zu deutlichen Differenzen bei der Ausbreitung der Bodenfeuchtigkeit (Tempo und Intensität).

Logischerweise hat auch die ausgebrachte Menge des Bewässerungswassers entscheidenden Einfluß auf die Höhe des kapillaren Aufstiegs. Eine Zusatzwassergabe von < 15 mm zeigte selbst bei den terrestrisch ermittelten Daten keinen Hinweis auf die Funktionstüchtigkeit der Verteilerröhren. Erst danach konnten erste lokale Feuchtedifferenzierungen an der Bodenoberfläche gemessen werden, die ab 18 mm Zusatzwassergabe auch luft sichtbar wurden. Nach 36 mm Wassergabe waren 80 % der Röhren luft sichtbar wirksam, nach 42 mm 100 %, allerdings nicht durchgängig und nicht gleichmäßig (vgl. Abb. 2).

Wenngleich die gewünschte Kontrollmöglichkeit nur als prinzipiell und mit qualitativen Abstrichen bestätigt angesehen werden kann, ist ihre Aussage repräsentativer als die wegen standortspezifisch-tiefreichender Risse im Boden stark beeinflussten Meßdaten an den punktförmigen Meßstellen.

4.2. Nachweis der Effektivität der Bewässerung

Als Kriterien der Effektivität wurden Wuchshöhe und Durchmesser der Pflanzen gewählt, als Vergleich die entsprechenden Daten auf einer benachbarten nicht bewässerten Parzelle erfaßt.

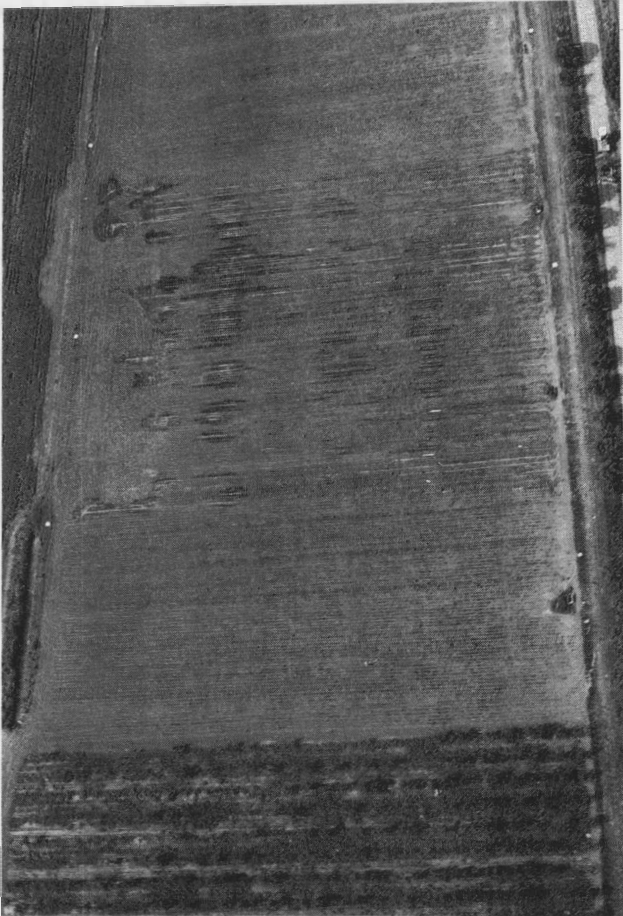


Abb. 2: Bilddokument zur Funktionstüchtigkeit der
Bewässerungsrohren

Der Informationsgehalt der Luftbilder deckt sich im wesentlichen mit den terrestrischen Daten. Er ist jedoch

- a) umfassender, weil flächendeckend,
- b) exakter, weil es sich bei letzteren um Durchschnittswerte für die einzelnen Bereiche handelt und
- c) gesicherter, da er die Wirkung zeitbezogen dokumentiert.

Alle Röhren weisen einen erkennbaren Bewässerungserfolg auf, wenn auch differenziert nach Ausmaß und Niveau. Die Interpretation depressiver Teile ist eine gesonderte Aufgabe, höhere Lagerungsdichte und ungenügende Durchlüftung als Ursachen für ungünstigere Wachstumsbedingungen wurden an anderer Stelle genannt.

Der Bewässerungserfolg ist beträchtlich (vgl. Tab. 1); er ist im Kopfbereich am größten, obwohl die Röhren in ihrer ganzen Länge durchfließen wurden, sicher eine Auswirkung des sich zum Rohrfuß vermindernenden Fließquerschnitts mit einhergehendem Druckverlust.

Tab. 1: Bewässerungseffektivität

Effektivitätsstufe	Kriterien		
	Wuchshöhe in cm	Durchmesser in cm	%
Vergleichsfläche	15 - 20	25 - 30	
1	25	35	58
2	30	40	36
3	35	45	6

4.3. Test eines Strahlungsthermometers

Auf Wunsch des ungarischen Partners wurden am 24.7.1990 parallel zu den terrestrischen und Luftbilddaten auch Daten mit dem Strahlungsthermometer KT 24 erfaßt.

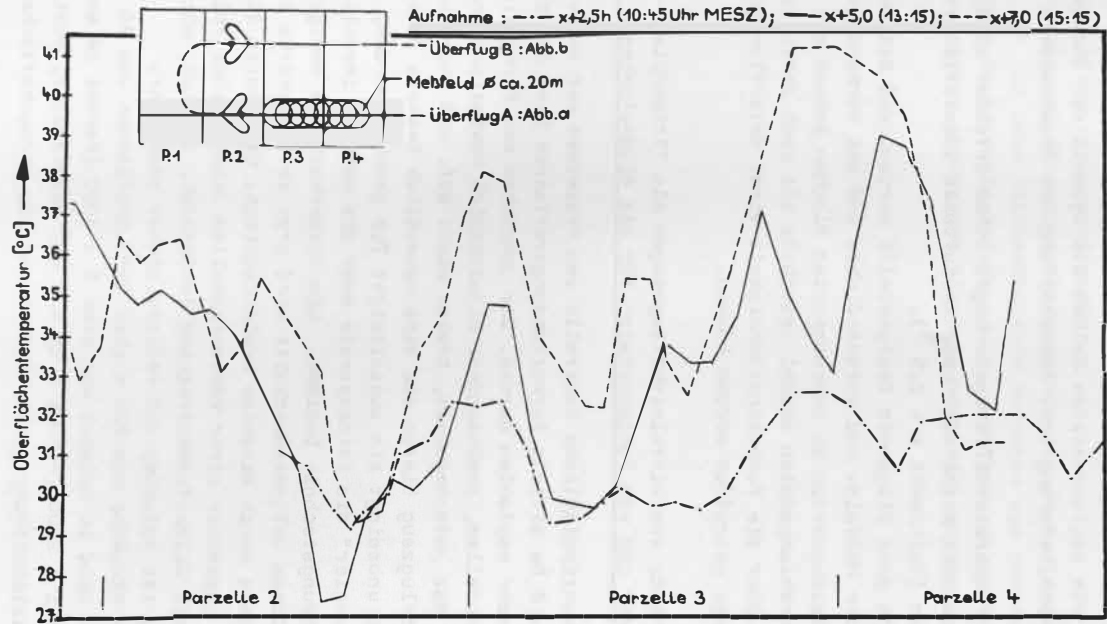


Abb. 3 : Luftgestützt aufgenommene Meßreihen der Oberflächentemperatur (24. 07. 1990)

DOI: <https://doi.org/10.2312/zipe.1991.118.02>

Die in Abb. 3 dargestellte Auswertung einer multitemporalen Messung mit dem Strahlungsthermometer läßt erkennen, daß erstens die Temperaturdifferenzen einer Sefliegung als Ausdruck der Feuchtedifferenzen auf eine sehr ungleichmäßige Wasserverteilung hinweisen, zweitens die zeitversetzten Reihen die Dynamik der Bodenfeuchte, die Nachlieferung bzw. Ausschöpfung des Bodenwassers anzeigen und drittens Temperaturdifferenzierungen schon erfaßbar sind, wenn die Röhren noch nicht oder kaum im Luftbild identifiziert werden können (Zeitpunkt $x + 2,5^h$). Damit kann ganz allgemein festgestellt werden, daß bei entsprechender Meßfeld- und Versatzdichte und bei Vorhandensein von Vergleichswerten zu unbewässerten Flächen anhand der Temperaturstrahlungsdaten sowohl pauschale als auch detaillierte Aussagen über die Funktionstüchtigkeit einer Unterflurbewässerungsanlage getroffen werden können.

4.4. Einsatz von Ultraleichtflugzeugen als "Trägerplattform" und von Fotoapparaten für die Bildaufnahme

Für die kontinuierliche Kontrolle von Prozessen auf Versuchsflächen < 8 ha mittels Fernerkundungsverfahren kann der Einsatz von ULF sehr empfohlen werden. Die Schwächen von ferngesteuerten Flugmodellen, insbesondere hinsichtlich Navigation und Ausrichtung der Aufnahmeachse, treten nicht auf, und gegenüber einem Sportflugzeug bieten sie eine wesentlich bessere Bodensicht. Es sollte unbedingt ein zweisitziger Typ gewählt werden, wobei der "Passagier" die Fotoapparate oder die weitere installierte Fernerkundungstechnik bedient. Die Sicherheit von Navigation und gewolltem Geländeauschnitt wird erst ab Windstärke 5 und insbesondere durch Windböen beeinträchtigt. Die Kosten für ein ULF sind gegenüber einer konventionellen Bildaufnahme relativ gering, die Bildaufnahmefrequenz (stündlich, täglich, wöchentlich ...) ist beliebig und relativ sicher steuerbar. Bei einer Flughöhe von 200 m sind Versuchsflächen von 70 m x 125 m durch ein Bild im Maßstab von etwa 1 : 4000 (Format 24 mm x 36 mm), bzw. etwa 1 : 2000 (Format 6 cm x 6 cm) darstellbar, womit eine hohe Detailabbildung gewährleistet ist. Da Versuchsflächen über

genügend ständige Paßpunkte verfügen, ist eine Entzerrung der Bilder unproblematisch, und weil Untersuchungen hinsichtlich Prozeßverläufen an Boden und Pflanzen keine sehr hohe Positionsgenauigkeit erfordern, können handelsübliche Fotoapparate und Filme eingesetzt werden.

Der Einsatz von Strahlungsthermometern mit fester Aufnahmeachse ist für eine flächendeckende Aufnahme aus geringen Flughöhen doch problematisch, d. h., für Thermalinformationen sollten andere technische Lösungen verwendet werden.

Kartierung der Wasserqualität in Seenplatten
anhand multitemporaler digitaler
MSS- und TM-Landsat-Bilder

T. BARANDWSKA

Institut für Geodäsie und Kartographie (IGiK)

Zentrum für Fernerkundung der Erde (OPOLiS)

Warschau, Polen

Zusammenfassung

Die multitemporalen Satellitenbilder Landsat-MSS und -TM erlauben die Wassertransparenz in Seen an Hand eines universalen mathematisches Modells zu bewerten, welches eine Abhängigkeit zwischen Wassertransparenz und verarbeiteten Satellitenbildern beschreibt. Die Grundlage der angewandten Methode bildet eine Transformation der digitalen Grauwerte in den Einheiten der spektralen Strahldichte. Die Methode wurde für 6 Satellitenbilder Landsat-MSS und zwei Satellitenbilder Landsat-TM der Jahre 1977-1990 für 31 polnische Seen geprüft. Die beste Korrelation ($r = -0.81$) wurde für den dritten Farbwertanteil erzielt. Der mittlere Fehler für die Bestimmung von SD-Werten aufgrund eines Satellitenbildes beträgt ± 0.6 m.

Abstract

The multitemporal Landsat-MSS and -TM images give a possibility to estimate lake water transparency using the universal mathematical model. In order to apply this universal model it is necessary to process the images. The essential element of the satellite data processing is the transformation of the numerical values of grey levels into the radiance units. The method was tested for 6 MSS images and 2 TM images acquired in 1977-1990 for 31 lakes in Poland. Correlation coefficient $r = -0.81$ between processed satellite images of water and in situ measured water transparency (for 58 points) has been obtained. The mean error of estimation of water transparency from processed satellite images has been calculated at ± 0.6 m.

Zur Anwendung von multitemporalen Satellitenbildern der Landsat-MSS und -TM für Bewertung von Wassertransparenz in Seen wird eine zielorientierte digitale Verarbeitung von Satellitendaten gefordert. Das Endziel dieser Verarbeitung ist die Gewinnung einer direkten, vollen Vergleichbarkeit der Bilder ohne Rücksicht auf Termin der Bildregistrierung. Dazu sollen der Einfluss von Beleuchtungsunterschieden und auch verschiedene Charakteristiken von Sensoren berücksichtigt werden.

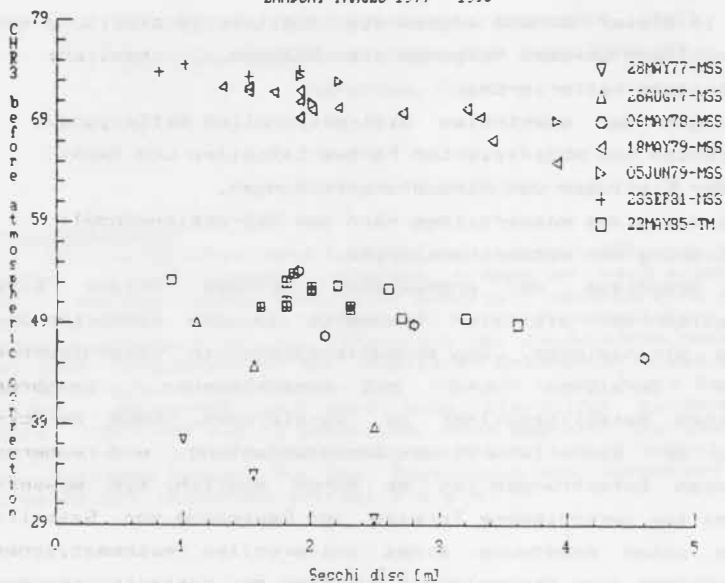
Die in dieser Methode angewandte digitale Verarbeitung von Satellitenbildern umfasst folgende vier Etappen, nämlich:

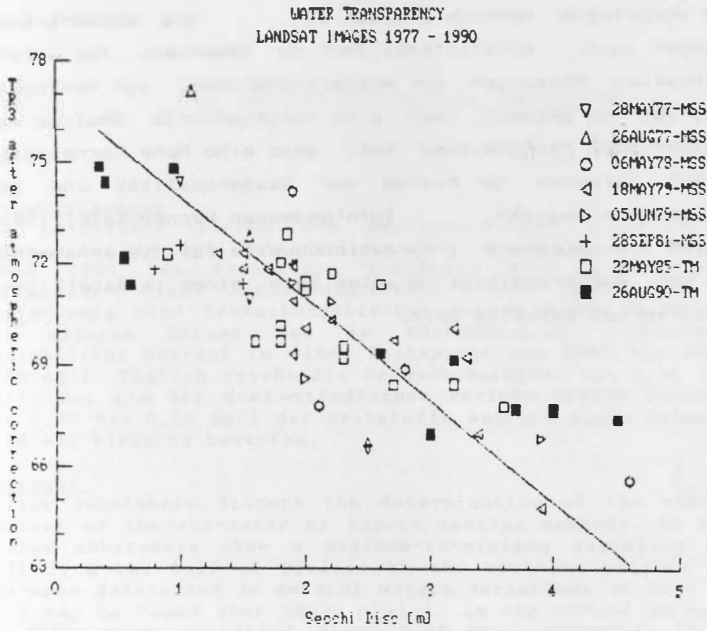
- radiometrische Kalibrierung,
- Berechnungen der spektralen bidirektionellen Reflexionskoeffizienten von modifizierten Farbwertanteilen und Beseitigung der Einflüsse von Atmosphärentrübungen,
- Klassifikation des Wasserbildes nach dem Regressionsmodell zur Bestimmung der Wassertransparenz.

Die Grundlage der angewandten Methode bildet eine Transformation der digitalen Grauwerte in den Einheiten der spektralen Strahldichte. Das ermöglicht es, die in verschiedenen spektralen Bereichen und mit verschiedenen Sensoren registrierten Satellitenbilder zu vergleichen. Nach Berücksichtigung der Einfallwinkel der Sonnenstrahlung und anderen obengenannten Berechnungen ist es schon möglich, die Wassertransparenz für verschiedene Termine der Gewinnung von Satellitenbildern unter Anwendung eines universellen mathematischen Modells, welches eine Abhängigkeit zwischen der Wassertransparenz und dem Satellitenbild beschreibt, zu bestimmen.

Die Methode wurde für 6 Satellitenbilder Landsat-MSS und ein Satellitenbild Landsat-TM der Jahre 1977 - 1985 für Seen der Masurischen Seenplatte und für ein Bild Landsat-TM vom Jahre 1990 für eine andere Seeplatte im südlich-östlichen Teil Polens geprüft. Zur Verfügung waren die Resultate von quasisynchronen Messungen der Wassertransparenz mit der Secchi-Scheibe in 58 Punkten von 31 Seen.

WATER TRANSPARENCY
 LANDSAT IMAGES 1977 - 1990





Die beste Korrelation zwischen den Farbwertanteilen und der Wassertransparenz wurde für den dritten Farbwertanteil erzielt ($r = - 0.81$). Die mittlere Standardabweichung beträgt ± 0.38 m, und der mittlere Fehler für die Bestimmung von SD-Werten aufgrund des Satellitenbildes beträgt ± 0.62 m.

Die vorgelegte Methode erlaubt es, die Wassertransparenz sogar nach Satellitenbildern zu bewerten, für welche keine kontakten Messungen der Wassertransparenz zur Verfügung stehen. Es ist zu betonen, dass eine durchgeführte Analyse von 60 polnischen Seen nachgewiesen hat, dass eine hohe Korrelation ($r > 0.80$) zwischen der Klasse der Wasserqualität und der Wassertransparenz besteht. Infolgedessen können Satellitenbilder eine zusätzliche Informationsquelle für die annähernde Bewertung der Wasserqualität in allen Seen eines im Satellitenbild registrierten Gebietes sein.

Räumliche und zeitliche Variabilität
der Gelbstoffe in der Ostsee

Ludwig Gohs

Institut für Meereskunde, Warnemünde

Zusammenfassung

Die Gelbstoffe stören die Bestimmung des Chlorophylls im Meerwasser mit den Methoden der Fernerkundung. Die Gelbstoffe haben 1985 vom Finnischen Meerbusen bis in die südliche Gotlandsee eine Schwankungsbreite von 1,80 mg/l. Auch kleinräumig sind Schwankungsbreiten von 0,14 bis 0,39 mg/l in der offenen Ostsee und im Küstenbereich vorhanden. Die Variabilität beträgt in einer Zeitspanne von 1953 bis 1985 etwa 0,89 mg/l. Täglich reicht die Schwankungsgröße von 0,14 bis 0,51 mg/l. Bei ein- bis dreistündlicher Periode treten Schwankungen von 0,00 bis 0,24 mg/l der Gelbstoffe auf, und diese Schwankungen sind als klein zu bewerten.

Abstract

Yellow substances disturb the determination of the chlorophyll content of the sea-water by remote sensing methods. In 1985 the yellow substances show a maximum-to-minimum variation of 1,80 mg/l from the Gulf of Finland to the southern Gotland sea. In the open Baltic and in coastal waters variations of 0,14 to 0,39 mg/l may be found over small scales. In the period between 1953 to 1985 local variation about 0,89 mg/l occurred. The daily variation obtains an amount of 0,14 to 0,51 mg/l. In periods of one to three hours the yellow substances vary 0.00 to 0.24 mg/l, which is to be considered a small variation.

Die Gelbstoffe im Meerwasser haben einerseits eine störende Wirkung bei der Bestimmung des Chlorophylls mit den Methoden der Fernerkundung vom Flugzeug oder von dem Satelliten aus, andererseits dienen sie als Tracer zum Erkennen der Ausbreitung und Verteilung von Fluß- und Küstenwasser. Um die Störung, die durch die Gelbstoffe erzeugt wird, einzuschränken oder sie auch als Tracer zu nutzen, sind Kenntnisse über ihre raum-zeitliche Variabilität erforderlich.

Mit diesem Poster wird ein Versuch unternommen, auf die Größe der Variabilität der Gelbstoffe in der Ostsee in Abhängigkeit von Ort und Zeit die Aufmerksamkeit zu lenken. Es werden einige Stationen ausgewählt, deren Daten die Veränderlichkeit der Gelbstoffe in der Ostsee leicht vorzustellen erlauben. Die Gelbstoffdaten wurden am Institut für Meereskunde in Warnemünde gemessen und einige wenige Daten wurden aus der Literatur für die Langzeitdarstellung mit hinzugezogen. Die Daten stammen aus dem Oberflächenbereich von 0 bis 1 m Wassertiefe.

Die Gelbstoffe:

Die Gelbstoffe sind ein Sammelbegriff für die im Wasser gelösten organischen Stoffe, die die Poren eines Filters von 0,45 μ m passieren und die sichtbare Strahlung im UV mit der Zunahme der Wellenlänge der Strahlung exponentiell abnehmend absorbieren (SPITZY und ITTEKKOT (1986)).

Quellen:

Allgemein bilden sich die Gelbstoffe aus abgestorbenen Organismen und ihren Exkrementen nach mikrobiologischem Abbau und Zerlegung sowie nach biochemischer und chemischer Kondensation.

In der Ostsee ist der Flußeintrag und die Entwässerung der Moorgebiete für die Gelbstoffe die vorherrschende Quelle.

In den Flachwassergebieten und in der offenen Ostsee entstehen auch Gelbstoffe.

Mit den Abwässern von spezieller Industrie werden auch Gelbstoffe in die Ostsee geleitet.

Senken:

- Die Transport- und Vermischungsprozesse führen zur Verdünnung der Gelbstoffkonzentrationen.

- Der kurzwellige Spektralbereich der Sonne baut auch die Gelbstoffe ab.

Rolle der Gelbstoffe bei der Fernerkundung der Ostsee:

Die Gelbstoffe haben auf die Bestimmung des Chlorophylls mittels Methoden der Fernerkundung eine störende Wirkung, da sich die Absorptionsbande des Gelbstoffs und der des Chlorophylls gegenseitig überlagern. Zur Beseitigung dieser Störung sind Ground-Truth-Bestimmung der Gelbstoffe und die Kenntnisse ihrer räumlichen und zeitlichen Variabilität notwendig.

Absorptionsbestimmung a_y der Gelbstoffe:

Es wird das Spekol 11 von Carl Zeiss Jena für die Absorptionsmessungen a_y im Schiffslabor, verbunden mit einem Zusatz für 50 cm lange Meßrohre, am IfM in Warnemünde eingesetzt.

Das Meßgerät besteht aus folgenden Teilen:

- Spekol 11 (Carl Zeiss, Jena)
- Streifendrucker (Erfurt)
- Zusatz (50 cm; IfM Warnemünde)

Extinktionsmeßbereich: -2 bis +2

Meßvolumen: 500 cm³

Vergleichsnormale: optisch und chemisch reines Wasser

Relative Meßfehler: +/- von 1% bis 10%

Gelbstoffkonzentrationen:

Die Absorption a_y , gemessen an filtrierten Wasserproben, wurde mit der Gleichung von HOJERSLEV (1980) in Einheiten der Konzentration C_y umgewandelt.

$$C_y = 4,72 a_y(L) \exp(S(L - 450)) \text{ mg/l}$$

L = Wellenlänge, S = Neigung der Geraden.

Dies ist eine einfache Möglichkeit der übersichtlichen Darstellung. Aus den Gelbstoffkonzentrationen C_y kann leicht die spektrale Absorption abermals berechnet werden.

Variabilität:

Großräumig:

Die Variabilität der Gelbstoffe kann im April/Mai 1985 für den großen Raum in der Ostsee vom Finnischen Meerbusen bis in die Mecklenburger Bucht in groben Zügen aus der Abb.1 abgelesen werden. Die Abstände zwischen den Stationen waren recht unterschiedlich, wie es aus der Abb.10 über die Lage der Stationen zu erkennen ist. Die nördlichen Stationen haben einen Abstand zwischen 18 und 30 Seemeilen(sm), und bei den anderen Stationen kann der Abstand von 30 bis 100 sm schwanken.

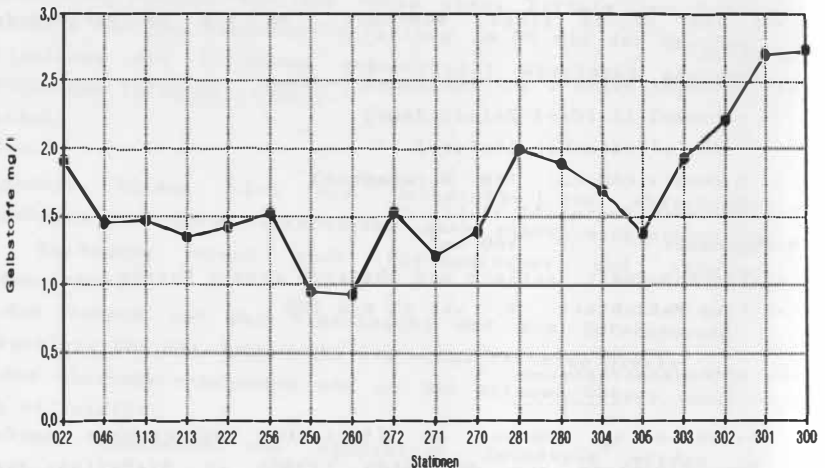


Abb.1 Ostseeschnitt

Großräumig ist eine starke Änderung der Konzentrationen der Gelbstoffe (Die Station 300 hat den Betrag von 2,73 mg/l, und bei der Station 260 fällt er auf 0,93 mg/l ab.) mit einer Schwankungsbreite von 1,80 mg/l vom Finnischen Meerbusen bis in die südliche Gotlandsee mit einer alternierenden Tendenz zu beobachten.

Die Abnahme ist nicht stetig, sie ist durch Maxima und Minima unterbrochen.

Dagegen sind die Änderungen der Konzentrationen in der Bornholmsee und in der Mecklenburger Bucht mit einer Schwankungsbreite von 0,17 mg/l beim Ausschluß der Station 022 in der Lübecker Bucht als klein zu bezeichnen.

Tab.1 Meßdaten des Ostseeschnitts 1985

Nr.	Datum	UTC	Station	Cy	S
1	26.4.85	13:58	022	1,91	0,008
2	27.4.85	5:00	046	1,45	0,012
3	29.4.85	9:24	113	1,47	0,012
4	2.5.85	10:48	213	1,35	0,016
5	3.5.85	4:57	222	1,42	0,013
6	3.5.85	10:18	256	1,52	0,011
7	4.5.85	6:20	250	0,95	0,017
8	5.5.85	12:08	260	0,93	0,017
9	5.5.85	16:07	272	1,53	0,010
10	6.5.85	2:30	271	1,21	0,019
11	6.5.85	14:09	270	1,39	0,014
12	8.5.85	4:04	281	1,99	0,012
13	8.5.85	10:22	280	1,89	0,013
14	8.5.85	14:00	304	1,69	0,015
15	9.5.85	3:20	305	1,38	0,014
16	9.5.85	6:33	303	1,93	0,015
17	9.5.85	10:29	302	2,21	0,015
18	9.5.85	15:20	301	2,70	0,015
19	10.5.85	3:08	300	2,73	0,015

Kleinräumig:

Kleinräumige Variabilität bezieht sich hier auf ein Meßgebiet mit weniger als 90 sm Ausdehnung, welches etwa innerhalb eines Tages vom Schiff aus in der offenen Ostsee oder auch im Küstenbereich vermessen werden kann.

Auch kleinräumige oder lokale Schwankungen sind bei den Gelbstoffen in der offenen Ostsee vorhanden, wie es aus den Abbildungen in Abb. 2 und in Abb. 3 zu erkennen ist.

In der Abb.2 wird die Verteilung der Konzentrationen der Gelbstoffe auf einen Schnitt von Nord (Station 441) nach Süd (Station 471) dargestellt. Die Entfernung zwischen den Stationen beträgt etwa 15 sm, und der Schnitt verläuft parallel zu der sowjetischen Küste und hat von der Küste einen Abstand von etwa 60 sm.

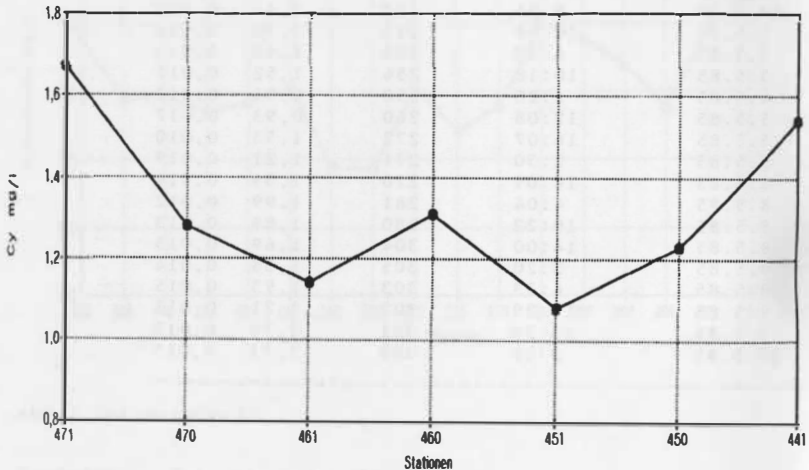


Abb.2 Schnitt parallel zur Küste

Die Schwankungsbreite zwischen den Stationen reicht von 0,14 mg/l (Differenz zwischen den Stationen 470 und 461) bis 0,39 mg/l (Differenz zwischen den Stationen 470 und 471).

In der Abb.3 ist die Verteilung der Gelbstoffe etwa senkrecht der sowjetischen Küste nördlich Klaipeda eingezeichnet. Die Stationsentfernung beträgt rund 10 sm mit einer Lücke von etwa 40 sm. Hier hat die kleinste Schwankungsbreite 0,1 mg/l und die größte erreicht 0,35 mg/l zwischen den Stationen.

Die Größe der Schwankungsbreite der Gelbstoffbeträge bei den Schnitten parallel und senkrecht zur sowjetischen Küste wird als mittlere Schwankung bezeichnet.

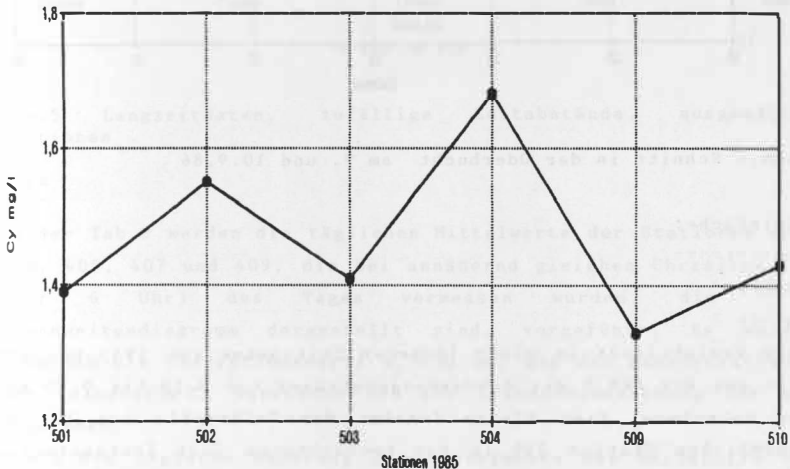


Abb.3 Schnitt senkrecht zur Küste

Im Küstenbereich, dem Mündungsbereich der Oder (Abb.4), sind starke Schwankungen der Gelbstoffe gemessen worden. Der größte Schwankungsbereich mit 1,13 mg/l trennt das Oderwasser von dem umgebenden Ostseewasser. Es treten mittlere Schwankungsbeträge von 0,16 bis 0,38 mg/l sowohl im Oderwasser als auch im umgebenden Ostseewasser auf.

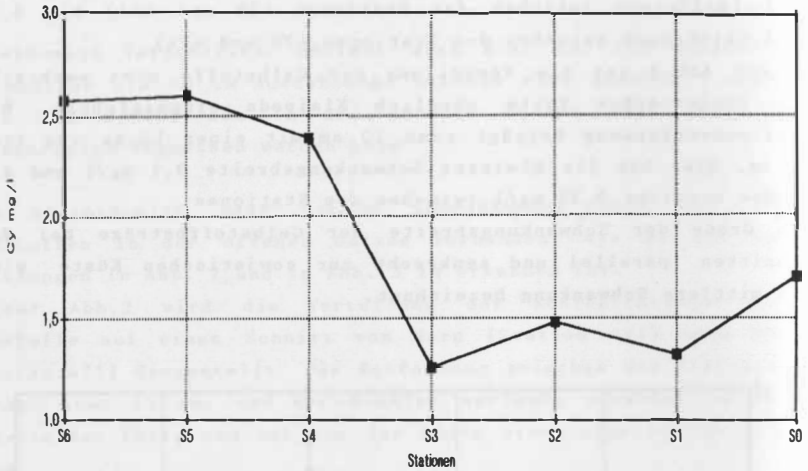


Abb.4 Schnitt in der Oderhucht am 9. und 10.9.86

Zeitliche:

=====

Jahre

Die Variabilität in einer längeren Zeitspanne von 1953 bis 1985 ist aus der Abb.5 mit Schwankungsbeträgen von 0,12 bis 0,89 mg/l zu entnehmen. Eine kleine Zunahme der Gelbstoffe ist bei der nördlichen Station 280 in der beobachteten Zeit festzustellen. Bei der Station 213 herrschen geringe bis mittlere Änderungen der Beträge der Gelbstoffe während dieser Zeit vor, aber es ist keine eindeutige Zunahme der Gelbstoffe zu beobachten.

Die Gelbstoffdaten für das Jahr 1953 wurde bei JERLOV (1955) entnommen.

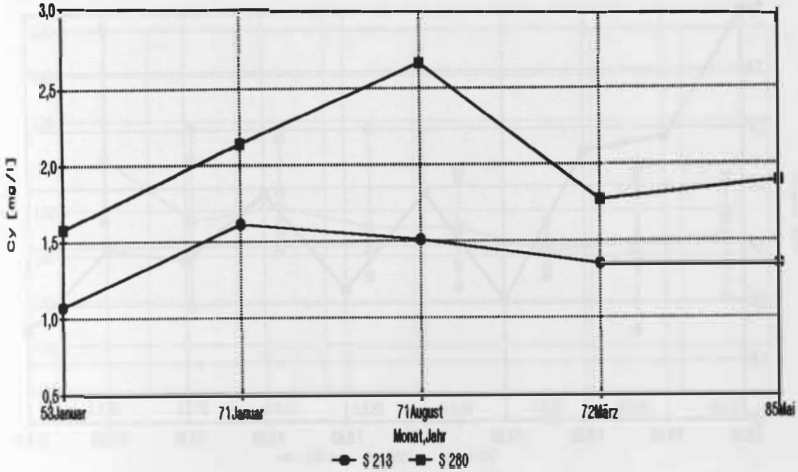


Abb. 5 Langzeitdaten, zufällige Zeitabstände, ausgewählte Stationen

Tage

In der Tab. 2 werden die täglichen Mittelwerte der Stationen 401, 403, 405, 407 und 409, die bei annähernd gleichen Uhrzeiten (14 oder 6 Uhr) des Tages vermessen wurden, die im Spannweitendiagramm dargestellt sind, vorgeführt. Es wurden außerdem die Absorptionswerte a_y (450 nm) aus den Konzentrationen der Gelbstoffe C_y berechnet und die Standardabweichung für $n=5$ angegeben.

Tab. 2 Die tägliche Änderung der Mittelwerte der Gelbstoffe von den Stationen: 401, 403, 405, 407 und 409.

	I	M	A	I	M	A
	I	C_y	C_y	I	a_y	a_y
2.6.83	I	2,03	0,31	I	0,43	0,07
3.6.83	I	1,76	0,32	I	0,37	0,07
4.6.83	I	1,82	0,16	I	0,39	0,03
5.6.83	I	1,73	0,25	I	0,37	0,05
6.6.83	I	1,73	0,21	I	0,37	0,04
7.6.83	I	1,62	0,05	I	0,34	0,01
8.6.83	I	1,67	0,25	I	0,35	0,05
9.6.83	I	1,69	0,15	I	0,36	0,03

Mittelwert (M), Standardabweichung (A).

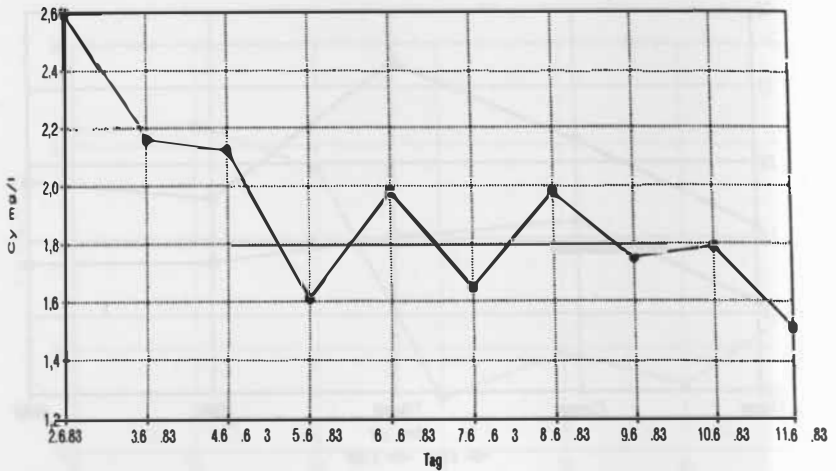


Abb.6 Zeitreihe, Tagesperiode auf der Station 403

Die Abb.6 gewährt einen Einblick in die tägliche Änderung der Gelbstoffe in einer Meßzeit von 10 Tagen an einer Station, die etwa 15 sm von der sowjetischen Küste entfernt ist. Die Schwankungsgröße reicht von sehr kleinen von 0,04 bis mittleren Beträgen um 0,51 mg/l. Die Variabilität hat eine abnehmende Tendenz, das Küstenwasser wird immer weiter zurückgedrängt.

Das Spannweitendiagramm auf der Abb.7 gibt zusammengebracht die Schwankung der Gelbstoffbeträge über die Meßzeit für das ganze Meßgebiet für die einzelnen Tage wieder. Die Schwankungen haben mittlere Beträge. Die Station 405 liegt in der Mitte des Rechtecks mit den Eckpunkten der Stationen 404, 409, 407 und 401.

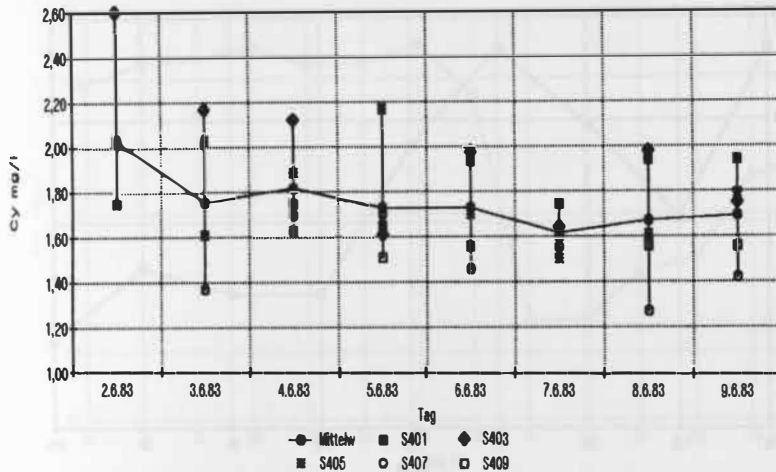


Abb.7 Spannweitendiagramm, Tagesperiode von vier Stationen

Stunden

Kurzzeitige starke Änderungen der Konzentrationen der Gelbstoffe können an einer Station im Laufe des Tages innerhalb von einigen Stunden beobachtet werden, wie es aus den Zeitreihen der Stationen 403 und 974 in den Abb.8 und 9 zu erkennen ist.

Auf der Station 403 treten 3-stündlichen Schwankungen von 0,00 bis 0,34 mg/l in den Gelbstoffwerten auf. Dabei ist die Tendenz der Schwankung sowohl abnehmend als auch zunehmend. Die Beträge der 3-stündlichen Schwankungen sind etwa gleich groß wie die Tagesschwankungen auf der Station 403, dabei ist die Tendenz der Schwankung recht unterschiedlich.

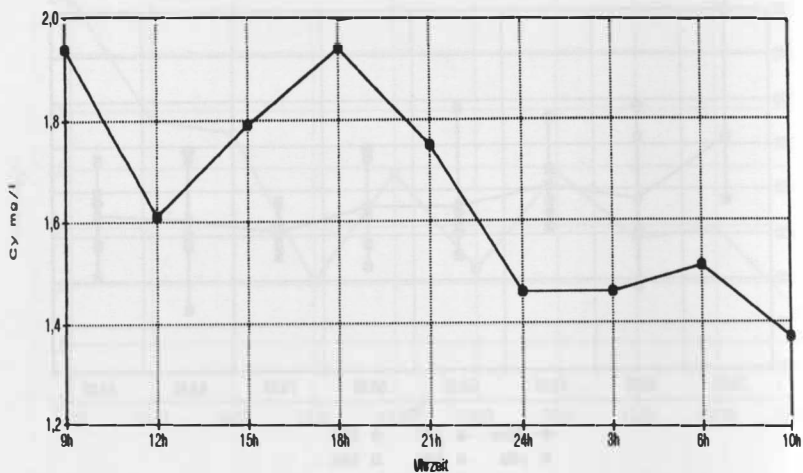


Abb.8 Zeitreihe auf der Station 403 in 3-stündlichem Abstand

Tab.3 Gelbstoffdaten der Station 403 in 3-stündlichem Abstand

Datum	Uhrzeit	Cy mg/l
10.6.83	9:02	1,94
10.6.83	12:02	1,61
10.6.83	15:00	1,79
10.6.83	18:00	1,94
10.6.83	21:00	1,75
10.6.83	23:59	1,46
11.6.83	3:00	1,46
11.6.83	6:00	1,51
11.6.83	10:03	1,37

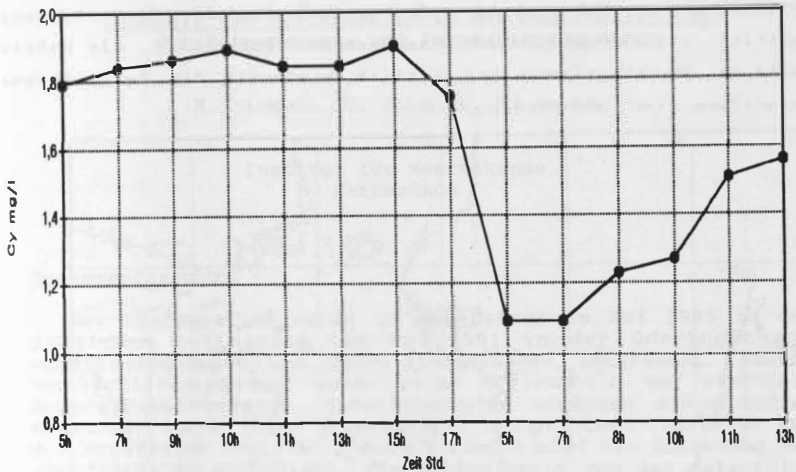


Abb.9 Zeitreihe auf der Station 974 in unregelmäßigem stündlichen Abstand

Die Meßserie auf der Abb.9 hat unterschiedliche Abstände von einer und zwei Stunden sowie eine Meßpause von zwölf Stunden. Die Schwankungen der Gelbstoffbeträge sind als klein zu bewerten von 0,00 bis 0,24 mg/l, wobei der Bereich von 0,00 bis 0,06 vorherrscht. In der Meßpause ist eine starke abnehmende Schwankung festzustellen.

Schlußfolgerungen:

Die vielfältigen Quellen und Senken der Gelbstoffe in der Ostsee verursachen eine starke räumliche und zeitliche Variabilität der Gelbstoffe.

Um Zusammenhänge über die Variabilität der Gelbstoffe in der Ostsee zu verstehen, ist es erforderlich, die vorhandenen Gelbstoffdaten vertiefend auszuwerten und weitere systematische, gezielte, direkte, räumliche und zeitliche Meßreihen der Gelbstoffe in statistisch ausreichender Menge zu gewinnen.

Zur Beseitigung der Störung, die durch die Gelbstoffe bei der Bestimmung von Chlorophyll auf der Aufnahme der Fernerkundung auftritt, sind Ground-Truth-Messungen der Gelbstoffe, die nahezu zeitlich übereinstimmen und örtlich eindeutig der Fernaufnahme zuzuordnen sind, notwendig.

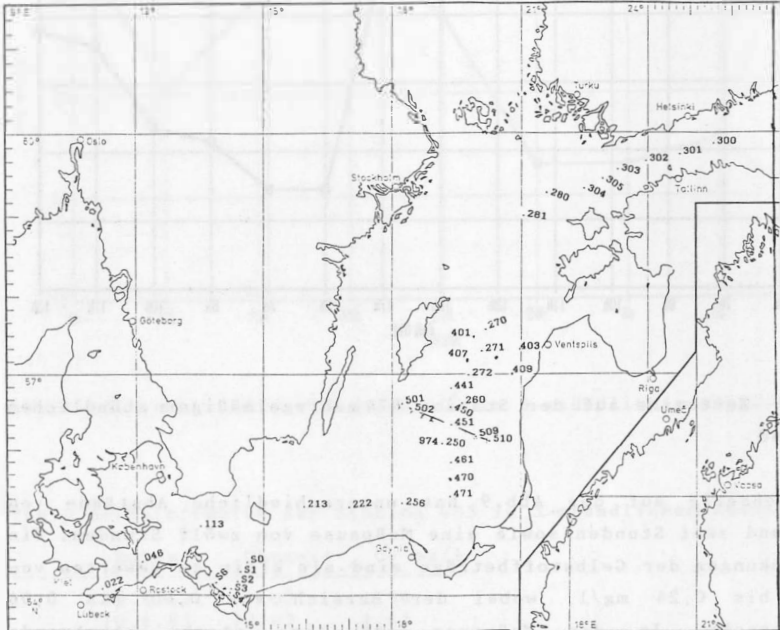


Abb.10 Lage der Stationen in der Ostsee

Literatur:

JERLOV, N.G.: Factors Influencing the Transparency of the Baltic Waters. K. Vet. O. Vitterh. Sanch. Handl. F 6 Ser. BD6. (1955) No 14 S 1-19.

HOJERSLEV, N.K.: On the origin of yellow substances in the marine environment. Studies in Physical Oceanography. Institute of Physical Oceanography, University of Copenhagen. (1980) No. 42

SPITZY, A. & V. ITTEKOT: Gelbstoff: An Uncharacterized Fraction of Dissolved Organic Carbon. In: The Influence of Yellow Substances on Remote Sensing of Sea-Water Constituents from Space, Volume II Appendices. GKSS Research Centre Geesthacht, (1986), S.1-31.

Nachweis von Küstenabfluß in der Kombination von
Schiffsmessungen und Fernerkundungsdaten

H. Siegel, Th. Schmidt, T. Seifert

Institut für Meereskunde
Warnemünde

Zusammenfassung

Der Küstenabfluß wurde in der Ostsee im Mai 1985 in der südlichen Gotlandsee und Mai 1991 in der Oderbucht mit schiffsgebundenen und Satellitenmethoden untersucht. Anhand von Schiffsmessungen wurde seine horizontale und vertikale Ausbreitung verfolgt. Satellitendaten ergänzen die Schiffsmessungen durch ihren großräumigen synoptischen Charakter und die erfassbaren Gebiete. Einschränkungen sind die Erfassung der oberflächennahen Schicht, die Abhängigkeit von den meteorologischen Bedingungen und die verfügbaren Sensoren. Daten der Wasseroberflächentemperatur und schmalbandiger Sensoren im sichtbaren Spektralbereich sind optimal für die Bearbeitung ökologischer Fragestellungen im Bereich des Küstenabflusses in der Ostsee.

Abstract

In the Baltic the coastal outflow was investigated in May 1991 in the southern Gotland Sea and in May 1991 in the Oderbay by shipborne and remote methods. Using the shipborne measurements their horizontal and vertical distributions were observed. Satellite data complete the investigation by their large scale and synoptic character and recorded areas, which are not within reach of the research vessels. Limits are the recording of the surface layer, the dependence of the meteorological conditions and the available sensors in the visible spectral range. Data of the sea surface temperature and narrow-band, visible sensors are an optimal combination for the investigation of ecological problems in a coastal outflow area.

1. Einführung

Der Küstenabfluß hat für ein Randmeer wie die Ostsee durch die Süßwasserzufuhr nicht nur Bedeutung für den Wasserhaushalt, sondern beeinflußt durch den Materialtransport auch den ökologischen Zustand. Durch die Entwässerung von land- und forstwirtschaftlichen Nutzflächen sowie Moorgebieten und durch den Transport von städtischen und industriellen Abwässern werden Wasserinhaltsstoffe wie z.B. Nährstoffe (Phosphor- und Stickstoffverbindungen), Schadstoffe (Schwermetalle, Chlor-kohlenwasserstoffe, Spurenstoffe), anorganische und organische suspendierte Materialien sowie gelöste organische Substanzen (Gelbstoffe) eingetragen.

Neben der Wasseroberflächentemperatur, die aus Wettersatellitendaten abgeleitet werden kann, ist die Wasserfarbe eine Kenngröße zur Identifikation des Flußeintrages mit Fernerkundungsverfahren. Sie wird erzeugt durch die optischen Eigenschaften des reinen Meerwassers und der darin gelösten und suspendierten Inhaltsstoffe (SIEGEL,1987). In schiffsgebundenen Messungen ist Flußeintrag insbesondere durch verringerten Salzgehalt und erhöhte Inhaltsstoffkonzentrationen charakterisiert.

2.Untersuchungsgebiete und Meßgrößen

Untersuchungen zum Flußeintrag wurden im Mai 1985 in der Gotlandsee (Abb.1a) im Ausstromgebiet des Kurischen Haffs und im Mai 1991 in der Oderbucht (Abb.1b) durchgeführt. Das Stationsnetz in der Gotlandsee war außerhalb der sowjetischen und polnischen Territorialgewässer in einer Küstenentfernung von ca. 15 Seemeilen mit einer Ausdehnung von 40sm in zonaler Richtung und 90 sm in meridionaler Richtung angeordnet. Die Diskussion der Ergebnisse in der Oderbucht konzentriert sich auf zwei Schnitte auf dem deutschen Festlandssockel, da für die polnischen Territorialgewässer keine Genehmigung vorlag.

Mit der CTD-Sonde OM 87 wurden die Temperatur und der Salzgehalt gemessen sowie Wasserproben für die Inhaltsstoffanalyse geschöpft. Anhand der Wasserproben wurden die Chlorophyll-a- und Phaeopigmentkonzentrationen, der Seston-gehalt und die Gelbstoffabsorption bestimmt. Desweiteren wurden Messungen der spektralen Rückstrahlung und der

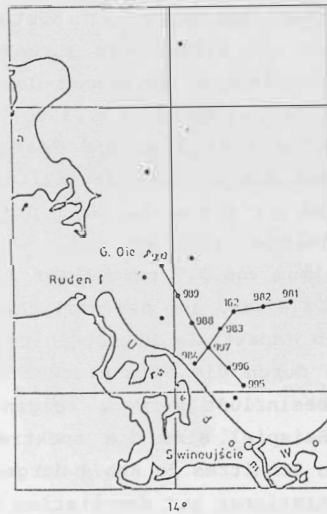
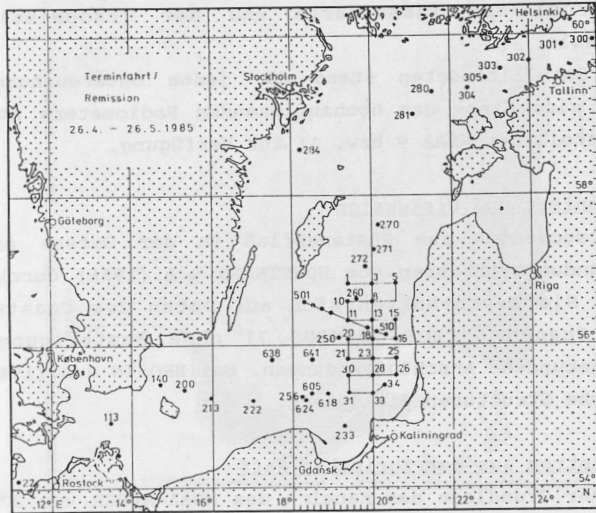


Abb. 1: Stationspläne der Untersuchungen in der Gotlandsee(a) und in der Oderbucht(b)

DOI: <https://doi.org/10.2312/zip.1991.118.02>

vertikalen Verteilung der photosynthetisch verfügbaren Strahlung durchgeführt. Diese Größen geben Aufschluß über die Veränderung der Wasserfarbe und der Transmission der Wassersäule.

Als Satellitendaten stand für jedes Untersuchungsgebiet jeweils eine Szene des hochauflösenden Radiometers AVHRR der Wettersatelliten NOAA 9 bzw. 11 zur Verfügung.

3. Ergebnisse und Diskussion

Untersuchungen zum Küstenabfluß in der Ostsee sind mit Fernerkundungsverfahren von HORSTMANN u.a.(1986) durchgeführt worden. Sie beschränkten sich auf Daten des Coastal Zone Colour Scanner (CZCS, NIMBUS 7) ohne Bestätigung durch schiffsgebundene Anschlußmessungen. Bei BROSIN u.a.(1988) sind dynamische Strukturen diskutiert.

3.1. Ausstrom aus der Kurischen Haff

Auf der Grundlage des Kanals 4 des NOAA-AVHRR vom 27.5.1985 um 12.40 UTC wurde die Verteilung der Wasseroberflächentemperatur (Sea surface temperature, SST) abgeleitet (Abb.2a).

Hohe Wasseroberflächentemperaturen in Küstennähe sind nicht nur auf den Ausstrom des Haffwassers zurückzuführen, sondern auch durch strahlungsbedingte Erwärmung der oberflächennahen Wasserschicht überlagert (BROSIN u.a.,1988). Die Schiffsmessungen der Temperatur (Abb.3a), des Salzgehaltes und der Gelbstoffe bestätigen die aus dem Satellitenbild abgeleitete Verteilung mit Maxima auf den küstennahen Stationen 25 und 26. Die Chlorophyllverteilung (Abb.3b) weist deutlichere Strukturen mit einem Maximum von 7.7 mg/m⁻³ auf der Station 26 und einem Minimum von 0.5 mg/m⁻³ auf der südlichen Station 33 auf. Die optischen Größen (spektrale Rückstrahlung, Sichttiefe und Lichtstreuung), die durch die Streueigenschaften des suspendierten Materials beeinflußt werden, zeigen ebenfalls diese Unterschiede. Als Beispiel sind die spektralen Reflektanzen des küstenparallelen Schnittes in Abb.4 dargestellt. Die hohen Phytoplanktonkonzentrationen auf der Station 26 erzeugen durch ihre Streueigenschaften eine höhere spektrale Rückstrahlung im langwelligen Bereich im Gegensatz zur Station 33. Außerdem waren DO https://doi.org/10.2312/zipen1991.118.02 einen stärkeren Abfall

a)



b)

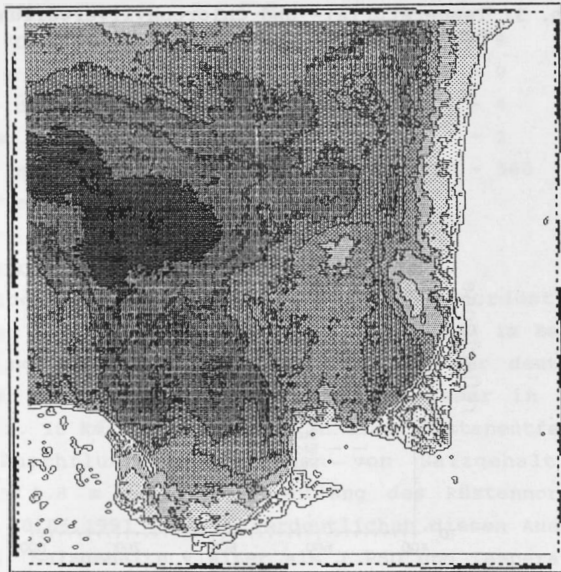


Abb. 2: NOAA-AVHRR-Daten vom 27.5.85 Wasseroberflächentempera-
DOI: <https://doi.org/10.2512/zip.1991.118.02>

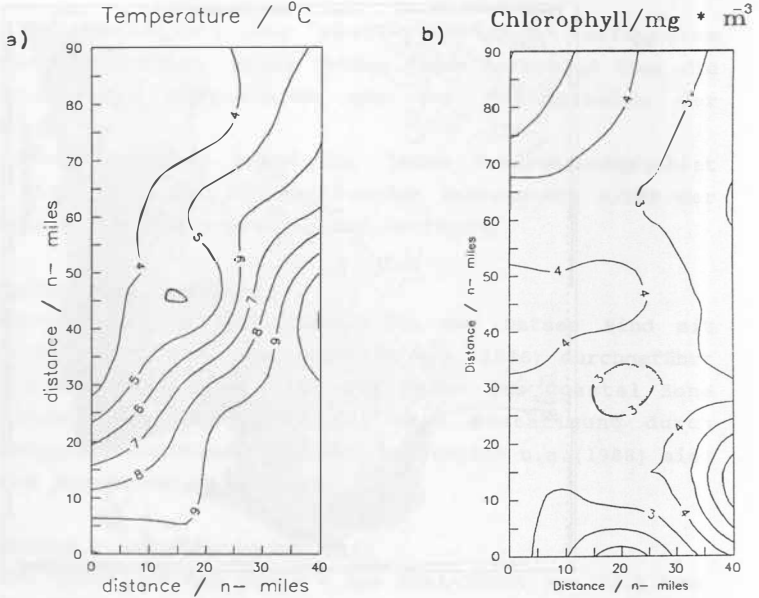


Abb. 3: Temperatur(a)- und Chlorophyllverteilung(b) vor dem Kurischen Haff

Baltic 25.-26.5.1985

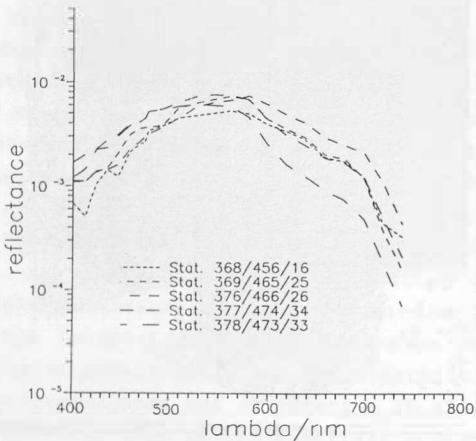


Abb. 4: Spektrale Rückstrahlung auf dem küstenparallelen
DOI: <https://doi.org/10.2312/zipe.1991.118.02>
Schnitt vor dem Kurischen Haff

im kurzwelligen Bereich durch die Absorption der Gelbstoffe und des Chlorophylls charakterisiert. Dadurch entsteht auch die Verschiebung des Maximums von 520 auf 580 nm. Eine eindeutige Unterscheidung ist im Bereich zwischen 600 und 700 nm gegeben. Dieser Spektralbereich wird auch vom Kanal 1 des NOAA-AVHRR erfaßt. In Abb.2b ist im Bereich der Station 26 ein produktives Gebiet (helle Fläche) und südwestlich davon ein Klarwasserbereich (dunkle Fläche) zu erkennen. Der Vergleich zwischen dem sichtbaren und dem infraroten Kanal zeigt, daß nur durch die Kombination mit sichtbaren Kanälen eine optimale Untersuchung des Küstenabflusses möglich ist. Der sichtbare Kanal spiegelt trotz seiner großen Bandbreite die Unterschiede in den Konzentrationen des suspendierten Materials deutlich wider. In der Tabelle 1 sind die Größen zusammengefaßt, die die Unterschiede zwischen den Gebieten mit und ohne Haffwassereinfluß deutlich machen.

Tabelle 1: Vergleich zwischen Haffwasser und Umgebung

	Haffwasser	Umgebung
Salzgehalt / PSU	7 - 7.2	7.8
Temperatur / °C	9 - 10	8 - 9
Sichttiefe / m	3 - 4	5 - 9
Seston / mg * dm ⁻³	4 - 5	2 - 4
Gelbstoff / mg * dm ⁻³	3 - 4	1 - 2
Lambda Rmax / nm	580	520 - 560
Mächtigkeit / m	5 - 10	

3.2. Oderausstrom

Die meteorologische Situation mit schwachen nordöstlichen Winden kleiner als 5 m/s erzeugte einen Wasserstau im Bereich der Odermündung und einen Küstenstrom entlang der deutschen Küste. Dieser Küstenstrom führte das Oderwasser in einer Breite von max. 10 km mit einem Kern in einer Küstenentfernung von 6 km. Durchflußregistrierungen von Salzgehalt und Temperatur in 1.8 m Wassertiefe entlang des küstennormalen Schnittes am 10.05.1991 (Abb.5) verdeutlichen diesen Ausstrom eindrucksvoll. Salzgehalte kleiner als 7 PSU und Temperaturen größer als 9°C charakterisieren das Oderwasser. Die stationsweise Abarbeitung des Schnittes am folgenden Tag zeigt im

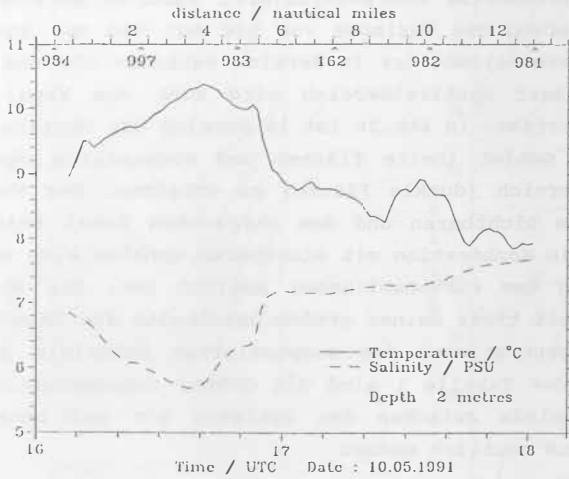


Abb. 5: Salzgehalt und Temperatur in 1.8m Wassertiefe auf dem küstennormalen Schnitt in der Oderbucht am 10.5.91

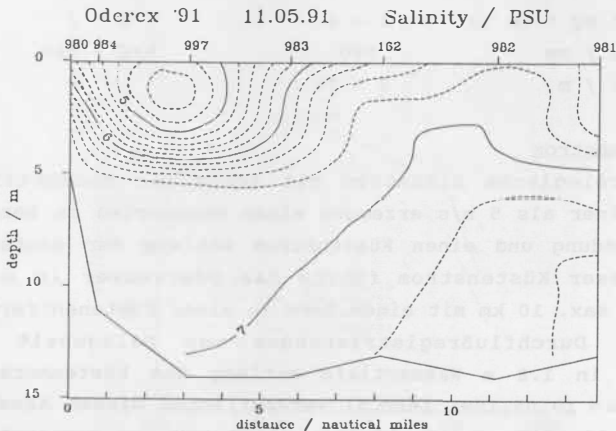


Abb. 6: Salzgehalt und Temperatur in 1.8m Wassertiefe auf dem küstennormalen Schnitt am 11.5.91

Salzgehalt (Abb.6) ähnliche Ergebnisse. Durch die nächtliche Abkühlung ist eine Unterscheidung anhand der Temperatur nicht mehr eindeutig möglich. Wasserinhaltsstoffe und durch sie beeinflusste Größen weisen den Ausstrom deutlich aus (vgl. Tabelle 2). Die Längsausbreitung des Oderwassers läßt sich anhand des küstenparallelen Schnittes verfolgen. Sie reicht in nordwestlicher Richtung bis in eine Entfernung von 30 km vom Oderaustromkanal, bevor sich das Wasser stärker der Küste nähert. Besonders deutlich ist auch hier die Ausbreitung des Oderwassers im Salzgehalt (Abb.7a), in der Tiefe der euphotischen Schicht (Abb.7b), in den Inhaltsstoffen, aber auch in der Temperatur und in der spektralen Rückstrahlung zu erkennen.

Tabelle 2: Vergleich zwischen Oderwasser und Umgebung

	Oderwasser	Umgebung
Salzgehalt/ PSU	1.5 - 6.5	7 - 8
Temperatur/ °C	9 - 10.5	8 - 9
Sichttiefe/ m	1.0 - 3.5	4 - 7
Euphotie Tiefe / m	3 - 7	> 10
Seston / mg * dm ⁻³	9 - 10	4 - 5
Gelbstoff / mg * dm ⁻³	4 - 6	2 - 3
Lambda Rmax / nm	580	540 - 560
Mächtigkeit / m	3 - 5	

Die mittleren spektralen Reflektanzen (Abb.8) der Oderbucht sind im Vergleich zur Ostsee durch höhere Werte im gesamten Spektralbereich charakterisiert, was durch höhere Konzentrationen des suspendierten Materials bedingt ist. Im Ausstrombereich ist durch die erhöhte Gelbstoffabsorption gegenüber dem Oderbuchtwasser ein stärkerer Abfall im kurzwelligen Bereich zu verzeichnen, wodurch sich das Maximum der Rückstrahlung von 525-540 nm in den Bereich von 560-580 nm verschiebt. Außerdem tritt auf allen Stationen mit Oderwasser ein sekundäres Maximum bei 700 nm auf. Dieses Maximum ist bisher bei der Vielzahl der durchgeführten Untersuchungen in der Ostsee und in anderen Meeresgebieten noch nicht beobachtet worden (SIEGEL, BROSIN, 1986). Im langwelligen Bereich sind im Gebiet der gesamten Oderbucht nur geringe, im Vergleich zum

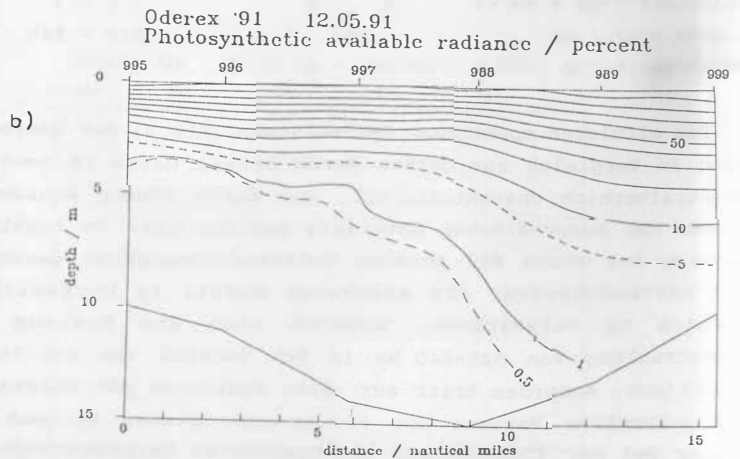
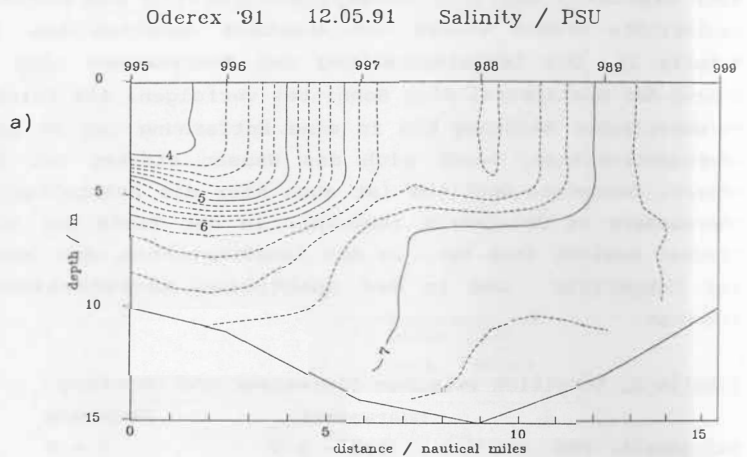


Abb. 7: Salzgehalt(a) und Tiefe der euphotischen Schicht(b) entlang des Küstenparallelen Schnittes in der Oderbucht

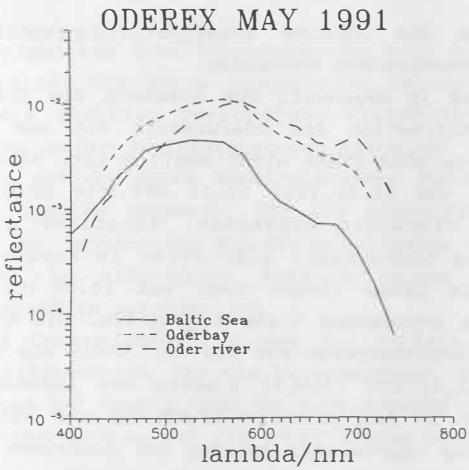


Abb. 8: Mittlere spektrale Rückstrahlung der Ostsee, der Oderbucht und des Oderaustroms

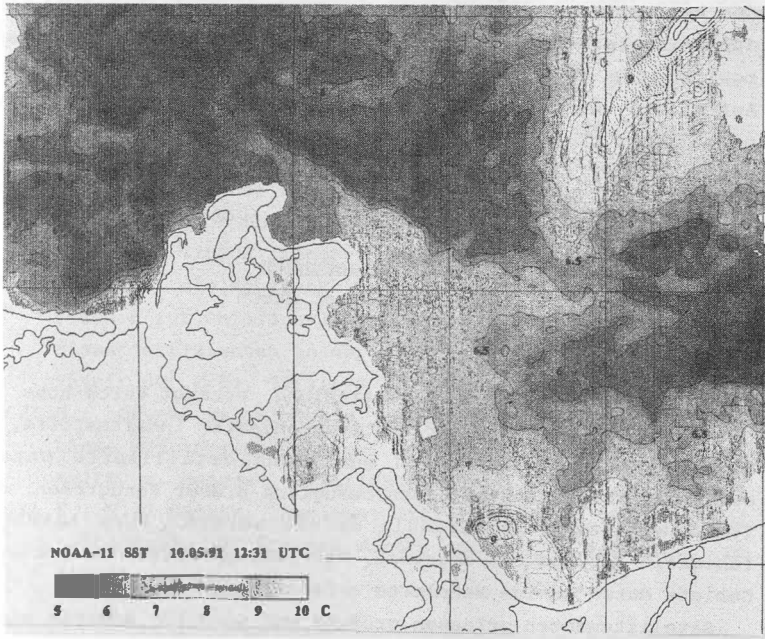


Abb. 9: Wasseroberflächentemperatur anhand von NOAA-11-Daten vom 10.5.91 12.31 UTC
DOI: <https://doi.org/10.2312/zipe.1991.118.02>

Ostseewasser durch die höheren Inhaltsstoffkonzentrationen jedoch deutliche Unterschiede vorhanden.

Das bedeutet, daß im Gegensatz zum Ausstrom des Kurischen Haffs eine Identifikation des Oderwassers mit dem breitbandigen Kanal 1 von NOAA-AVHRR nicht möglich ist. Allerdings ist in der Szene vom 10.05.1991 12.31 UTC die Grenze des Oderbuchtwassers eindeutig erkennbar. Günstiger für die Identifikation des Oderwassers sind Daten im kurzwelligen Bereich. LANDSAT-TM-Daten liegen auch vom 10.05.1991 vor, waren aber für die Auswertung nicht zugänglich. Die abgeleiteten Wasseroberflächentemperaturen aus der Szene von NOAA 11 vom 10.05.91 um 12.31 UTC (Abb.9) liefern uns Informationen über die Situation in der gesamten Oderbucht und mit einer Hauptausbreitung des Oderwassers entlang der deutschen Küste. In Abend- und Nachtaufnahmen sind die Unterschiede durch die Abkühlung nicht so ausgeprägt. Durch die hohe Einstrahlung heizt sich die dünne Oberflächenschicht des Oderwassers durch den begrenzten Austausch mit der Tiefe schneller auf als die durchmischte Wassersäule der Umgebung. An den folgenden Tagen bewirkt die Veränderung der meteorologischen Situation eine Aufteilung der Oderausstroms entlang der deutschen und der polnischen Küste bis zur kompletten Umstellung auf eine Westlage und einem dadurch bedingten Ausstrom entlang der polnischen Küste (14.05.).

4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Der Küstenabfluß ist gekennzeichnet durch

- geringeren Salzgehalt
- Temperaturunterschiede
- veränderte spektrale Rückstrahlung, erzeugt durch hohe Konzentration gelöster und suspensierter Inhaltsstoffe.

Schiffsgebundene Verfahren gestatten detaillierte Untersuchungen des Küstenabflusses bezüglich dieser Kenngrößen, die für die gesamte Wassersäule erfaßt werden. Ihre Aussagefähigkeit ist dadurch begrenzt, daß quasisynoptisch nur kleine Gebiete durch wenige Meßpunkte erfaßbar sind.

Satellitendaten erfassen größere und auch für Schiffe nicht zugängliche Gebiete und liefern eine synoptische Horizontalverteilung von Informationen aus der oberflächennahen Schicht.

Durch Folgen von Satellitenaufnahmen kann daher die zeitliche Variabilität der Verteilungsmuster untersucht werden, die durch die zeitlich verschobene Abarbeitung der Stationen teilweise in den Schiffsmessungen enthalten ist. Eingeschränkt ist ihre Nutzung durch meteorologische Bedingungen und durch die verfügbaren Sensoren. Für die Identifikation und Untersuchung der Ausbreitung des Küstenabflusses sind schmalbandige Sensoren im sichtbaren Bereich neben den thermischen Infrarotkanälen erforderlich.

Diese Untersuchungen dienen der Vorbereitung der Nutzung von Satellitendaten für die Untersuchung des Materialtransportes und der Ausbreitung des Festlandsabflusses sowie dessen ökologischer Wirkung auf die angrenzenden Gebiete.

5. Danksagung

Frau Tschersich und Herrn Rudloff vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie Hamburg möchten wir danken für die Aufbereitung der NOAA-Daten von 1991.

6. Literaturverzeichnis

- BROSIN, H.-J., u. a.: Mesoskale Strukturen in der südlichen Ostsee im Mai 1985. Beitr. z. Meeresk., 58(1988), 8-18
- HORSTMANN, U., H. van der PIEPEN, K.W. BARROT: The influence of river water on the southeastern Baltic Sea as observed by NIMBUS 7/CZCS imagery. Ambio, V.15,5(1986), 286-289
- SIEGEL, H.: Über die Möglichkeiten der Aufstellung von Algorithmen zur Chlorophyllbestimmung aus spektralen Remissionskoeffizienten in der Ostsee. Veröff. Zentralinst. Physik der Erde, 93/1(1987), 179-186
- SIEGEL, H.: On the relationship between the spectral reflectance and inherent optical properties of oceanic water. Beitr. z. Meeresk. H.56(1987), 73-80
- SIEGEL, H., H.-J. BROSIN: Regional differences in the spectral reflectance of the sea water. Beitr. z. Meeresk., 55(1986), 71-77

**Zeitliche Entwicklung eines Kaltwasserauftrieb-Ereignisses an
der Küste Mecklenburg-Vorpommerns in NOAA-AVHRR-Temperaturdaten**

T.Schmidt, T.Seifert, M.Sturm

Institut für Meereskunde Warnemünde,

Seestrasse 15, O-2530 Warnemünde

Zusammenfassung

Der Wasseraustausch mit der Nordsee ist von entscheidender Bedeutung für den ökologischen Zustand der Ostsee. Dabei müssen die Wassermassen das Übergangsgebiet der westlichen Ostsee passieren. Aufbauend auf dem Verständnis der dort beobachteten dynamischen Reaktionsmuster sind fundiertere Aussagen beispielsweise zur Schadstoffausbreitung oder zur Entwicklung von Algenblüten möglich. Die in dieser Arbeit vorgestellte Zeitreihe von NOAA-AVHRR-Satellitenbildern der Wasseroberflächentemperatur dokumentiert die Entwicklung einer typischen ozeanologischen Situation - den Kaltwasserauftrieb durch windgetriebenen Ekman-Transport. Speziell die kurze Dauer des Phänomens von 5 Tagen und die geringen räumlichen Skalen bis hinab zu 5 km sind bislang selten in der Literatur belegt.

Summary

The exchange of water with the North Sea is of decisive importance for the ecological state of the Baltic Proper. The water masses have to pass the transition area of the western Baltic. Based on the understanding of the dynamic response patterns observed there it is possible, for example, to make more reliable predictions about the spreading of pollutants or the development of algae. The time series presented here of NOAA-AVHRR satellite scenes of sea surface temperature documents the development of a typical oceanographic situation; the so-called 'upwelling' by wind-driven Ekman-transport. Especially the short duration of about 5 days and the small scales down to 5 km of the observed phenomenon are rarely documented in the literature.

Für die Ökologie der anthropogen hochbelasteten Ostsee ist der Wasseraustausch mit der Nordsee über die Ostseezugänge Belte und Sund von zentraler Bedeutung. Etwa drei Viertel dieses Austausches erfolgen durch den Fehmarnbelt und dominieren dabei die Dynamik der westlichen Ostsee - Mecklenburger Bucht. Seit Beginn der achtziger Jahre wird dieses Seegebiet in seinem dynamischen Verhalten im mesoskalen Bereich durch das IfM Warnemünde untersucht. Parallel zum Feldexperiment WEKOS 1989 (Abb.1) wurde eine Serie mit AVHRR-Daten von 17 Überflügen des NOAA-10-Wettersatelliten gewonnen. Durch günstige Wetterverhältnisse waren davon erstmalig 11 Aufnahmen in 8 Tagen zur Interpretation nutzbar, von denen aus Platzgründen hier 7 gezeigt werden.

Einer der Anregungsmechanismen dynamischer Reaktionen ist der Oberflächenwindschub (Abb.2), der durch Ekman-Transport (auf der Nordhalbkugel an in Windrichtung links liegenden Küsten) "upwelling" hervorruft. Das dabei im Sommer aus der Tiefe aufquellende kalte Wasser wird in seiner Ausbreitung durch die Küstenform und die Topographie des Meeresbodens geprägt.

Die Temperatureichung des Kanals 4 des AVHRR erfolgte durch orthogonale Regression der Schwarzkörperstrahlungstemperatur des zu den Stationskoordinaten gehörenden Bildpunktes (Mittel der 3*3-Pixel-Umgebung) gegen die in-situ-Stationsmessungen der Wasseroberflächentemperatur. Dabei wurde mit einem Korrelationstest (gleitendes Filter von je 9 aufeinanderfolgenden in-situ-Meßwerten in der zeitlichen Nähe des Überfluges) ein quasisynchroner Zeitraum der beiden Messungen ermittelt, der i. a. bei +/- 6 Stunden vom Aufnahmezeitpunkt lag und dessen Werte dann die Basis der Regression bildeten (Abb. 3).

Zum Beginn der Untersuchungen wird unter der Einwirkung westbis südwestlicher Winde an der Küste von Mecklenburg/Vorpommern "downwelling" warmen Oberflächenwassers beobachtet.

Dieser Prozeß ist auf Temperaturbildern (Abb.5) prinzipiell nicht nachweisbar, kann aber durch die in situ Tiefenprofile belegt werden. Die zeitlich folgenden Aufnahmen zeigen durch Nordostwinde verursachtes "upwelling" mit Ausbreitung in Windrichtung, ausgehend von drei lokalen Quellen vor dem Buk, bei Rosenort und am Darß (Abb.6). Dabei tritt 2-3 Kelvin kälteres Wasser im Vergleich zu den mittleren Werten in der westlichen Ostsee vor.

Der Höhepunkt in der Ausbildung erreicht eine zusammenhängende Ausdehnung über 70*6 km entlang der Küste (Abb.7). In der Aufnahme am Spätnachmittag des 4.7.89 verstärken sich die Temperaturgradienten noch (Abb.8). Aus dem kalten Auftriebswasser der Zelle westlich vom Buk formt sich eine wirbelartige Struktur mit einem Durchmesser von 20 km in der Lübecker und Wismarer Bucht (Abb.9). Aus der Tatsache eines kalten Kerns dieser Struktur ergibt sich ein Hinweis auf ihren zyklonalen Charakter. Der 6.7.89 (Abb.10) zeigt noch einmal deutlich die drei verschiedenen Auftriebsbereiche bei schon allgemein nachlassenden Windstärken und einer mehr südlichen Richtung des Windes.

Der fehlende Antrieb des "upwelling" führt zur Ablösung der Strukturen von der Küstenlinie. Die sich auflösende Auftriebsfront mäandriert entlang der Küstentopographie und bildet drei zyklonale Wirbel, wie das Blockdiagramm (Abb.4) des dritten Stationsumlaufes mit der Darstellung der Salzgehaltsverteilung, der dynamischen Topographie zwischen 8 und 15 m Wassertiefe und der Strömungsgeschwindigkeit in 8 m Tiefe zeigt.

Nach insgesamt 5 Tagen beenden neuerliche Westwinde das Phänomen am 7.7.89, wo sich insbesondere in der Nachmittagszene am überwiegenden Teil der Küste wieder ein Saum wärmeren Wassers ausbreitet (Abb.11).

Durch die hohe raumzeitliche Dichte der in diesem Fall zur Verfügung stehenden Satellitendaten waren detailliertere dynamische Interpretationen möglich. Besonders für die Beurteilung der zeitlichen Entwicklung lokal eng begrenzter Auftriebsphänomene sind sie damit eine wertvolle Ergänzung der hydrographischen Standardmessungen. Andererseits werden die Temperaturkarten ozenographisch erst durch die in-situ-Vertikalverteilungen fundiert nutzbar. Auf dem Verständnis der Dynamik eines Seegebietes aufbauend sind Aussagen beispielsweise zur Schadstoffausbreitung oder zur Entwicklung von Algenblüten möglich.

Literatur: Fennel, W., M. Sturm, 1991,
Dynamics of the western Baltic,
Journal of Marine Systems, in Vorbereitung.

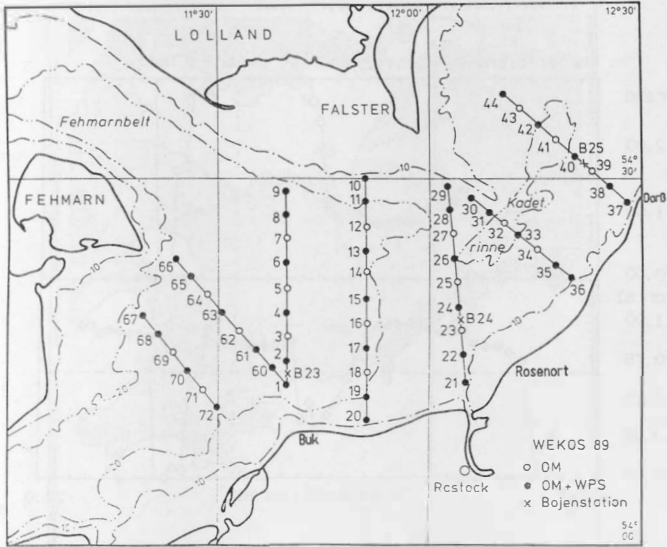


Abb. 1 Stationsplan des WEKOS'89 Experimentes

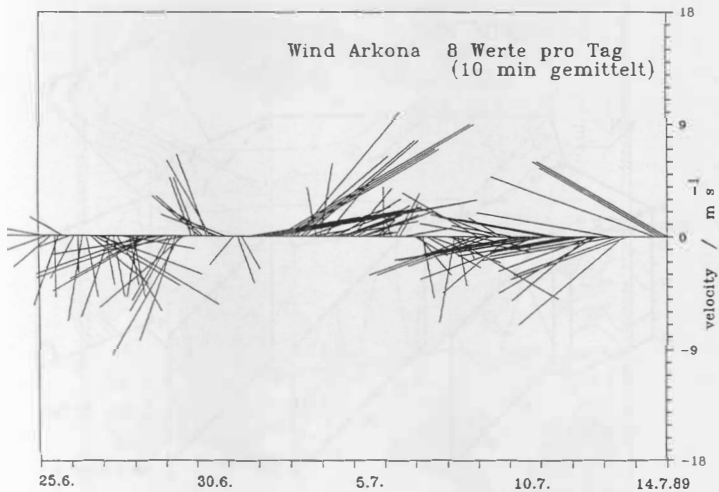


Abb.2 Windvektoren (3 h - Abstand) der Wetterstation Arkona

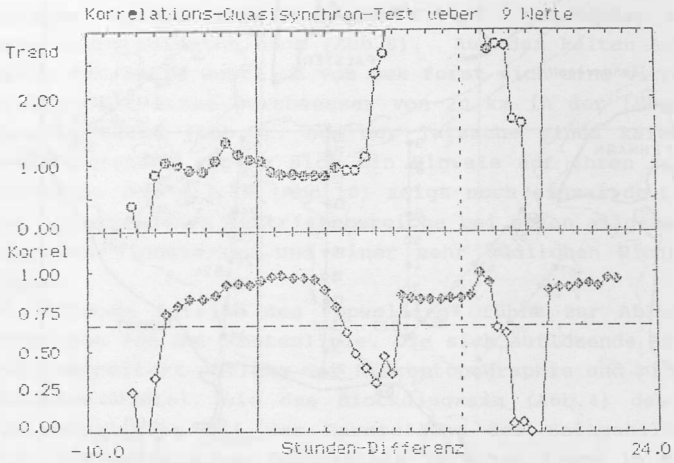


Abb. 3 Korrelation und Trend der Wassertemperaturmessungen

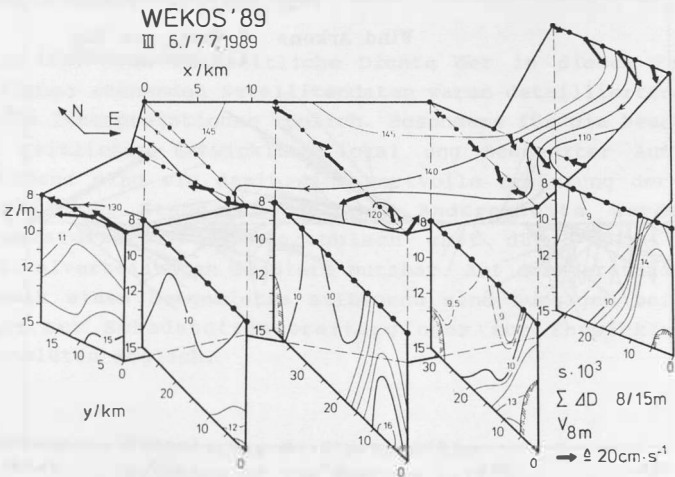


Abb. 4 Blockdiagramm der hydrographischen Messungen



Abb. 5 NOAA 10 Kanal 4 SST am 30.06.1989 um 17:38 UTC



Abb. 6 DOI: <https://doi.org/10.2312/zipe.1991.118.02> um 06:42 UTC



Abb. 7 NOAA 10 Kanal 4 SST am 04.07.1989 um 07:59 UTC



Abb. 8 NOAA 10 Kanal 4 SST am 04.07.1989 um 17:40 UTC



Abb. 9 NOAA Kanal 4 SST am 05.07.1989 um 07:30 UTC



Abb. 10 NOAA Kanal 4 SST am 06.07.1989 um 07:10 UTC
DOI: <https://doi.org/10.2312/zipe.1991.118.02>



Abb. 11 NOAA 10 Kanal 4 SST am
07.07.1989 um 16:35 UTC



Klasse	von Grauwert	bis	Muster Nr.	von Grad Celsius	bis
1	1	4	15	20.25	20.00
2	5	16	13	20.00	19.25
3	17	28	12	19.25	18.50
4	29	40	8	18.50	17.75
5	41	52	5	17.75	17.00
6	53	64	4	17.00	16.25
7	65	76	3	16.25	15.50
8	77	88	2	15.50	14.75
9	89	100	1	14.75	14.00
10	101	112	1	14.00	13.25
11	113	124	1	13.25	12.50
12	125	136	1	12.50	11.75
13	137	148	1	11.75	11.00
14	149	160	1	11.00	10.25
15	161	172	1	10.25	9.50

Untersuchungen zur Eignung des Sensors Kosmos KFA-1000 für die Erfassung von Vegetation und Versiegelung in besiedelten Bereichen

JÖRG WEBER

Liebigstraße 41, W - 8000 München 22

Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund eines großen Bedarfs an Grundlegendaten für Umweltplanungen wurde der Sensor Kosmos KFA-1000 auf seine Eignung zur Erfassung der planungsrelevanten Aspekte Stadtgrün und Versiegelung in besiedelten Bereichen untersucht. Die Untersuchung beschränkte sich auf eine analog-visuelle Interpretation eines Satellitenbildes in den Maßstäben 1 : 25000 und 1 : 10000. Die aufgestellten Kriterien im Maßstabbereich einer Grünordnungs- oder Bebauungsplanung wurden dabei nur mit Einschränkungen erfüllt. Im Maßstabbereich einer Landschaftsrahmen-, Flächennutzungs- oder Stadtentwicklungsplanung scheint KOSMOS KFA-1000 dank hoher räumlicher Auflösung und großer Gegenständlichkeit sowie der im Vergleich zu Luftbildern geringeren Kosten erfolversprechend einsetzbar zu sein.

Abstract

This study attempted to analyse the suitability of the satellite images KOSMOS KFA-1000 to map the extent of urban green and sealed areas in an urban landscape. The relevant satellite image has been photographically enlarged in the scales 1 : 25000 and 1 : 10000, in order to reach scale dimensions, usually used in urban planning. The methodology to be used was limited to a standard analogue - visual interpretation technique. A hierarchically organized interpretation key for the qualitative aspects of urban green or sealed areas was installed.

Regarding the question of resolution, KOSMOS KFA-1000 is able to resolve urban green up to the dimension of a group of trees, or a larger back garden. A reliable differentiation of these units into smaller units is not possible. Due to the different scale of the objects, urban parks could be sufficiently resolved into smaller units.

Due to a "shine upon" effect KOSMOS KFA-1000 overrated sealing up to a maximum of 60%. KOSMOS KFA-1000 reached at the 95% lower confidence limit an accuracy of 91% with respect to the ability to differentiate between different types of buildings at the second level of the classification hierarchy. At the third level still a remarkable 68% accuracy has been reached.

Considering the financial aspect as well as the achieved spatial resolution, KOSMOS KFA-1000 could be a useful tool for the updating of thematic maps in a scale smaller than 1 : 10000 and for the monitoring of environmental aspects in a regional scale.

1. Einführung

1.1. Der Informationsbedarf an Grundlagendaten

Mit der zunehmenden Berücksichtigung und gesetzlichen Verankerung ökologischer Belange bei Planungen im besiedelten Bereich (z.B. §1 Abs.5 BauGB, Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung UVPG) erwuchs ein Bedarf an entsprechend aktuellen und flächendeckenden Bestandsaufnahmen. Darunter fallen Fragestellungen hinsichtlich des Vegetationsbestandes, der Bodenversiegelung oder der Bebauungsstruktur. Zusätzlich besteht mit der im Zuge der Wiedervereinigung verbundenen Einführung westdeutschen Planungsrechts auf dem Gebiet der ehemaligen DDR (§246a BauGB) offensichtlich ein dringlicher Bedarf raumbezogener Umweltdaten für Planungszwecke. Diese Forderungen stehen jedoch im starken Widerspruch zur Realität kommunaler Planungen. Im Anwendungsbereich fehlen z.B. RIEDEL et al. (1989) zufolge entweder weitgehend umweltrelevante Daten, oder sie sind für Planungen unbrauchbar. So kann beispielsweise mittels amtlicher Flächenstatistiken der Kommunen und Länder die Bodenversiegelung nur ungenügend erfaßt werden, da die dort aufgeführten Klassen für diese Zwecke nicht hinreichend differenziert sind (vgl. LOSCH, 1988).

1.2. Bodenversiegelung und Vegetation

Unter Bodenversiegelung soll im folgenden die anthropogene Isolierung der Pedosphäre von der Atmo- bzw. Hydrosphäre durch Ab- und Verdichtungen, Aufschüttungen und -füllungen verstanden werden (vgl. BERLEKAMP & PRANZAS, 1986). Erhöhter Oberflächenabfluß und damit verbundene Hochwasser sind Beispiele für Folgen der Bodenversiegelung, die der öffentlichen Hand bei der Abwendung der daraus resultierenden Gefahren, z.B. durch den Bau von Regenrückhaltebecken, Kosten in Millionenhöhe verursachen.

In weiteren Verlauf sollen die Begriffe Vegetation und Stadtgrün synonym verwendet werden. Beide Begriffe beziehen sich hier auf Flächen innerhalb eines urbanen Ökosystems, die mit Pflanzen mit unterschiedlichem Deckungsgrad besprochen sind.

1.3. Methoden der Fernerkundung zur Erhebung von Grundlagendaten

Luftbilder erfahren mittlerweile in besiedelten Bereichen ein breites Anwendungsspektrum wie z.B. die Erfassung von Realnutzung, Baustrukturen, Altlasten, Vitalität des Vegetationsbestandes oder Biotopen. SCHNEIDER (1984) und HAYDN et al. (1987) geben darüber anhand von Fallbeispielen einen Überblick.

Satellitengetragene Fernerkundung wurde demgegenüber bislang im Bereich kommunaler Planungen nicht oder nur experimentell verwendet. Der Grund hierfür ist u.a. in technischen Problemen, wie z.B. der Diskrepanz zwischen technisch möglicher räumlicher Auflösung und der für Planungszwecke in urbanen Räumen notwendigen räumlichen Auflösung zu suchen (vgl. WELCH, 1982). So kann ein Bild des Satelliten LANDSAT TM für thematische Kartierungen bis zu einem Maßstab von 1:50000 verwendet werden (STRATHMANN & KAUFMANN, 1986), während kommunale Planungen infolge der darzustellenden relativ kleinräumigen Strukturen überwiegend in den Maßstäben 1:1000 bis 1:25000 ausgeführt werden.

Die Satellitenbilder des Sensors Kosmos KFA-1000 weisen gegenüber anderen Satellitenbildern eine erheblich verbesserte räumliche Auflösung bei äußerst geringem Preis (vgl. Kap. 2.1) auf. Mit vorliegender Studie sollten Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von KOSMOS KFA-1000 bei kommunalen Planungen anhand der Aspekte Vegetation und Versiegelung aufgezeigt werden.

2. Informationsgewinnung aus dem Satellitenbild KOSMOS KFA-1000

2.1. Technische Angaben zu KOSMOS KFA-1000

Die Bezeichnung KFA-1000 steht für Kosmischer Foto Apparat mit einer kalibrierten Brennweite von 1000mm. Diese Kamera ist auf einem Trägersatelliten der KOSMOS-Baureihe installiert. Weitere Darstellungen der technischen Daten des Satelliten und der Kamera sind z.B. SIEBERT & STRATHMANN (1990) zu entnehmen.

Mit KFA-1000 werden auf photographischem Wege Bilder der Erdoberfläche aus dem Weltraum erzeugt. Aufnahmeart und Abbildungsgeo-

metrie entsprechen damit - im Gegensatz zu den operationell eingesetzten Scannersystemen LANDSAT TM und SPOT - im wesentlichen den bereits bekannten Luftbildkameras. Bei Verwendung eines zweischichtigen Farbnegativfilms (Spektrazonalfilm SN-10) werden die Spektralbereiche 570 - 680 nm und 680 - 810 nm erfaßt. Die Filmauflösung als Maß für die geometrische Auflösung bei photographischen Aufnahmen beträgt etwa 145 -160 Linienpaare/mm und ist damit der der üblicherweise verwendeten Luftbildfilme (vgl. WIENEKE, 1987) gleichzusetzen.

Die räumliche Bodenauflösung mit 5 -10m übertrifft die der Systeme LANDSAT TM (30m) und SPOT PAN (20m). Mit einer Aufnahmefläche von etwa 5625 km² kann auf einem Bild theoretisch München sowie die umliegenden Landkreise (ca. Planungsregion 14) abgebildet werden.

Bislang wurden mit KOSMOS KFA-1000 Bildern in der ehemaligen DDR und in Polen erfolgreich topographische Karten mit dem Maßstab von 1 : 25000 nachgeführt (KRAEMER, 1988; KACZYNSKI et al., 1988). Aufgrund der großen Entfernung zwischen Aufnahmekammer und Erdoberfläche sind die sonst bei Luftbildern aufgrund der Zentralprojektion üblichen Lagefehler im Bild vernachlässigbar gering. Damit können von dem originalen Farbdiapositiv maßstabsgerecht vergrößerte Abzüge ohne weitere technisch aufwendige Geräte für die Auswertung verwendet werden.

Der Preis für ein Farbdiapositiv liegt zur Zeit bei etwa 3000 DM. Dies ergibt in Relation zu der abgebildeten Fläche einen Preis von 0.45 DM je km². Bei einer möglichen stereoskopischen Auswertung infolge einer Längsüberlappung von 60% erhöhen sich die Kosten entsprechend. Im Vergleich mit dem ungefähren Preis von Farbinfrarotluftbildern, bei stereoskopischer Betrachtung etwa 260 DM/km², ergibt sich ein klarer Preisvorteil für das Satellitenbild.

3. Untersuchungsgebiet und -methodik

3.1. Untersuchungsgebiet

Als Testgebiet (vgl. Abb. 1) wurde in München ein sich trapez-

förmig von der Innenstadt bis hin zum östlichen Stadtrand erstreckendes Areal ausgewählt. Es umfaßt ohne Verkehrsflächen mit 684 Baublöcken 1136 ha. Die durchschnittliche Größe der Baublöcke im Testgebiet beträgt bei einem Variationskoeffizienten von 233% 1,7ha. 51% der Baublöcke weisen Größen von maximal 1.2 ha auf.

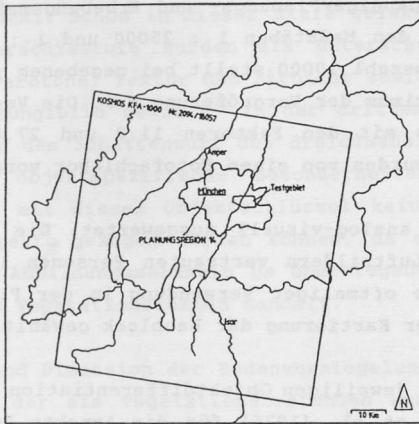


Abb. 1: Kartenskizze der Lage des Untersuchungsgebietes und der Flächenabdeckung durch das Bild des Sensors KFA-1000

Gemäß der Stadtentwicklung Münchens sind diesem Areal Gebiete mit unterschiedlichster Bebauungsstruktur und Nutzung, beginnend mit Teilen der Innenstadt mitteralterlichen Ursprungs (Kreuzviertel), verschiedenen Stadterweiterungen (Maxvorstadt, Bogenhausen) bis hin zu Gewerbe- und Industriegebieten (Ostbahnhof/ Zamdorfer Straße) einbeschrieben. Damit sind nahezu alle Bebauungsstrukturen im Untersuchungsgebiet repräsentiert. Analog verhält es sich hinsichtlich des Aspektes der mit der jeweiligen Stadtstruktur vergesellschafteten Vegetationsausstattung. So sind in dem Untersuchungsgebiet ebenso großflächige Grünanlagen, wie der südliche Englische Garten, als auch Villengärten in Bogenhausen oder kleinflächiges Hinterhofgrün in der Maxvorstadt enthalten.

3.2. Untersuchungsmethodik

Das Satellitenbild wurde hinsichtlich des jeweiligen Informations-
DOI: <https://doi.org/10.2312/2/pe.1999.118.02>

gehaltenes der qualitativen und quantitativen Aspekte der Bodenversiegelung und des Vegetationsbestandes (kurz: Stadtgrün) untersucht. Zur Diskussion stand also, wie realitätsgetreu die Lage, Verteilung, Dimension und Differentiation von Bodenversiegelung und Stadtgrün aus dem Satellitenbild kartiert werden kann.

In Anlehnung an gängige Planungs- und Erhebungsmaßstäbe wurde die Untersuchung in den Maßstäben 1 : 25000 und 1 : 10000 vorgenommen. Die Maßstabszahl 10000 stellt bei gegebenem photographischem Material das Maximum der Vergrößerung dar. Die Vergrößerungen des Satellitenbildes mit den Faktoren 11.0 und 27.6 ausgehend vom Originalmaßstab wurden von einem Fotofachlabor vorgenommen.

Das Bild wurde analog-visuell ausgewertet. Die Ergebnisse sind somit von mit Luftbildern vertrauten Personen leicht nachvollziehbar. Infolge oftmaliger Verwendung in der Planung wurde als Bezugseinheit der Kartierung der Baublock gewählt.

Hinsichtlich der jeweiligen Objektdifferentiation wurde in Anlehnung an ANDERSON et al. (1976) für die Aspekte Bodenversiegelung und Stadtgrün ein hierarchischer, dreistufig aufgebauter Interpretationsschlüssel entwickelt (vgl. Abb 2):

1. STADTGRÜN	2. VERSIEGELTE FLÄCHE
1.1. Baumvegetation	2.1. Gebäude und Hoffläche
1.1.1. Wald	2.1.1. Einzelhausbebauung, 1 - 2 Vollgeschosse
1.1.2. Baumgruppe	2.1.2. Einzelhausbebauung, 3 - 9 Vollgeschosse
1.1.3. Baumgruppe & Kraut-/Wiesenvegetation	2.1.3. Zeilenbebauung, 1 - 2 Vollgeschosse
1.1.4. Einzelbaum	2.1.4. Zeilenbebauung, 3 - 9 Vollgeschosse
1.1.5. Einzelbaum & Kraut-/Wiesenvegetation	2.1.5. Hochhaus
1.1.6. Einzelbaum, lineare Anordnung	2.1.6. Blockrandbebauung
	2.1.7. Blockbebauung
1.2. Staudenfluren- / Gebüschvegetation	2.1.8. Gemischte Blockbebauung
1.2.1. Gebüsch / Strauchgruppe	2.1.9. Großflächige, gemischte Bebauung
1.2.2. Gebüsch / Strauch & Baumvegetation	2.1.10. Punkthafte, disperse Bebauung
1.2.3. Gebüsch / Strauch & Kraut-/ Wiesenvegetation	2.2. Verkehrsfläche
1.2.4. Hecke / Rain	2.2.1. Weg
1.3. Kraut- / Wiesenvegetation	2.2.2. Straße
1.3.1. Kraut- / Wiesenvegetation, geringe Deckung	2.2.3. Autobahn
1.3.2. Kraut- / Wiesenvegetation, hohe Deckung	2.2.4. Platz
1.3.3. Kraut- / Wiesenvegetation & Einzelbaum	2.2.5. Schienenverkehrsanlage
1.3.4. Kraut- / Wiesenvegetation & Hecke / Rain	2.2.6. Luftverkehrsanlage
1.4. Feldfruchtvegetationsfläche	2.3. Sonstige versiegelte Flächen
1.4.1. Ackerfläche	2.3.1. Tennisfläche
1.4.2. Grünland	2.3.2. Sonderflächen, versiegelt
1.4.2. Beetfläche	

Abb. 2: Hierarchischer Objektschlüssel zur qualitativen Kartierung von Vegetation und Versiegelung in besiedelten Bereichen

In der ersten Hierarchiestufe wurde zur Unterscheidung das Kriterium "Farbe" verwendet. Für jeden Baublock ergaben sich dadurch je eine Aussage "Stadtgrün" (grün) und "Versiegelung" (rot), in besonderen Fällen auch die Aussage "Wasserbedeckt" (violett). Wasserflächen sind zumeist als eigener Baublock dargestellt. Diese Baublöcke konnten damit schon in dieser Stufe selektiert werden. In der zweiten Hierarchiestufe wurden als Unterscheidungskriterien differenzierte Farbtöne, Textur und Struktur sowie das zweidimensionale Erscheinungsbild gewählt. In der dritten Hierarchiestufe wurden noch über den Schattenwurf das dreidimensionale Erscheinungsbild sowie objektspezifische Besonderheiten hinzugezogen. Betont sei, daß mit diesem Objektschlüssel keine Aussagen über floristische Aspekte gezogen werden können, da es sich aufgrund der verwendeten Abbildungsmerkmale um überwiegend physiognomisch unterschiedliche Vegetationsformen handelt.

Die Verteilung und Dimension der Bodenversiegelung ergab sich aus dem Negativbild der als vegetationsbestanden kartierten Flächen innerhalb der Baublöcke. Zur Ermittlung des prozentualen Versiegelungsanteils je Baublock wurden diese Flächen zunächst ausplanimetriert. Zusammen mit der Größe der Fläche des Baublockes wurde daraus der prozentuale Versiegelungsanteil ermittelt. Die ermittelten Werte wurden in zehn jeweils 10% Versiegelungsanteil einbeziehende Gruppen zusammengefaßt.

3.3 Ergebniskontrolle

Die Ergebnisse der Versiegelungskartierung wurden stichprobenartig bei 77 Baublöcken (= 11%) untersucht. Alle anderen Ergebnisse wurden für die gesamte Testfläche überprüft.

Als Referenzdaten für den prozentualen Versiegelungsanteil diente eine mittels Ortholuftbildplänen (M: 1:1000) durchgeführte Versiegelungskartierung der LH MÜNCHEN (1990). Der reale Vegetationsbestand und das Objektinventar wurden mittels stereoskopischer Auswertung von Farbinfrarotluftbildern (M: 1:5600) ermittelt. Verschiedene Karten (LH MÜNCHEN 1983, 1988) wurden für weitere Vergleiche herangezogen.

Hinsichtlich der hierarchischen Objektklassen wurde mittels einer bei FITZPATRICK-LINS (1980, S.4) angegebenen Formel der prozentuale Anteil der Information der Karten berechnet, der mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit an der unteren Grenze des 95% Vertrauensintervalles liegt (vgl. Tab.1). Für thematische Kartierungen mit hierarchischen Objektklassen wurde in den Vereinigten Staaten festgelegt, daß dieser Wert 85% nicht unterschreiten sollte (ANDERSON et al. 1976).

4. Ergebnisse

4.1. Maßstab 1 : 25000

Im Maßstab 1 : 25000 können linienhafte Bildelemente (Straße, Häuser) gut verfolgt werden. Zusammen mit dem durch die Überfliegszeit bedingten Schattenwurf führt dies zu einer guten inneren Differenzierung. Der Schattenwurf ist für den relativ plastischen Eindruck des Untersuchungsgebietes und für das Erkennen der relativen Höhenverhältnisse darin verantwortlich. Hervorzuheben ist dabei der Gegensatz zwischen niedriger Bebauung im Osten und der Blockbebauung nahe der Isarhangkante in Bogenhausen. Die Isarhangkante als Teil des natürlichen Reliefs läßt sich dadurch ebenfalls gut verfolgen. Einzelne größere Baukörper mit Abstandsflächen sowie Blockrandbebauung sind gut zu erkennen.

4.2. Maßstab 1 : 10000

Nach der bei FITZPATRICK-LINS (1980) gezeigten Methode wurden Klassifikationsfehlermatrizen auf Basis der bei den qualitativen Kartierungen erhobenen Daten erstellt.

Die hier wiedergegebenen Matrizen (Abb. 3 und 4) lassen sich wie folgt lesen: Auf der oberen Abszisse und der linken Ordinate sind jeweils die für die Kartierung relevanten Objektklassen angegeben. Die Klassifikationsergebnisse der Satellitenbildkartierung (Abszisse) werden mit Ergebnissen einer Realkartierung (Ordinate) verglichen. In der rechten Ordinate bzw. der unteren Abszisse kann

die Gesamtzahl der jeweils real- bzw. satellitenbildkartierten Klassen abgelesen werden. In den einzelnen Feldern der Matrix werden mit Zahlen die absoluten Häufigkeiten des Auftretens von Blöcken mit einer bestimmten qualitativen Eigenschaft im Verhältnis der kartierten Klasse zu realer Klasse angetragen. Die in den Feldern der Diagonale der Matrix liegenden Blöcke weisen dabei die Eigenschaft auf, daß die kartierte Klasse mit der realen Klasse übereinstimmt. Abseits der Diagonalen sind Verwechslungen bzw. Fehlinterpretationen aufgetreten. Leere Felder weisen darauf hin, daß es bei der jeweiligen Kartierung keine Einheiten (Blöcke) mit diesen Eigenschaften im Verhältnis kartiert zu real gibt. Bei Kartierungen, die die realen Verhältnisse gut wiedergeben, scharen sich die Zahlenfelder mit hohen Werten auf bzw. um die Diagonale. Bei den hier aufgeführten Matrizen wurden die Klassen aller Stufen wiedergegeben.

KOSMOS KFA-1000 Grünkartierung

	0	100	110	111	112	113	114	115	116	120	121	122	123	124	130	131	132	133	134	140	141	142	143	f
0	47	2			1												1							51
100																								0
110																								0
111				4																				4
112	2	1	2	2	18	2																		27
113	3	4	2	1	52	23					3	3	1			2		3						97
114	38	38	2		21		3				1					1	1							105
115	7	30	4		84	23	1		1	1	2	2		3	7	2	2		2					169
116	3	1	1						4	2	1				1	2								15
120																								0
121	1																							1
122	1	3			9	2					1				1	2		1						20
123	17	11	1		32	3					2	1	3		4	6		2						82
124																								0
130																								0
131	6	1														2								9
132	2	7			1	1							1			4	4							20
133	2	6	4		23	18		1		3			4		3	3	2	1						70
134	1				1											1								3
140																								0
141												1	1			1	1				1	1		6
142					2							1												3
143																						1	1	2
f	130	104	16	7	244	72	4	1	5	3	12	7	12	0	9	31	12	10	1	0	1	2	1	584

Abb. 3: Klassifikationsfehlermatrix nach FITZPATRICK-LINS (1980) für die qualitative Vegetationskartierung

Das sich aus der Kartierung des Vegetationsbestandes (KFAGrün) ergebende Matrixbild (Abb.3) läßt nur fragmentarisch die Diagonale erkennen. Die mit Werten belegten Felder sind dispers verstreut

und weisen damit auf eine große Verwechslungsvielfalt hin, die nahezu einen Zufallscharakter besitzt. Die waagerechte Bildstruktur wurde durch das Aufführen der Objektklassen der Stufen 1 und 2 auch auf der Realseite der Matrix verursacht. Die gehäufte Fehlzuweisung der Klassen 112 und 113 zu 133 real bei KFAgrün weist auf eine Schwachstelle des Objektschlüssels hin: Diese Klassen unterscheiden sich lediglich per Definition um den Gesamtbedeckungsgrad der Baumgruppe. In diesem Zusammenhang sind auch die gehäufte Fehlzuweisungen von Klasse 112 zu Klasse 123 real zu vermerken.

Die Matrix der Versiegelungskartierung (KFAvers) (Abb. 4) bietet dagegen ein erfreulicherer Bild:

KOSMOS KFA-1000 Versiegelungskartierung

	0	200	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	110	220	221	222	223	224	225	230	231	232	Σ		
0	87	1		2	2									4								1	1	98	
200																								0	
210																								0	
211			2	74	33	10	1			1	3		2				1						2	129	
212	6			13	25	1	5		9	9	5													73	
213	1				1	21	1		2															28	
214							21	1	1	2	1													26	
215								5																5	
216							4		36	4														48	
217	1			1	2		6		27	126	4													167	
218				7	2	7	1	2	13	29														1	62
219			1		1				1		1	10										1		15	
2110													2											2	
220																								0	
221	4	1													3									8	
222																								0	
223																								0	
224		5												4	1		7							17	
225																	1							1	
230																								0	
231																	1					3		4	
232														1									5	1	
Σ	106	2	3	90	75	34	45	7	78	155	43	10	4	9	3	1	0	10	0	0	0	5	4	684	

Abb. 4: Klassifikationsfehlermatrix nach FITZPATRICK-LINS (1980) für die qualitative Versiegelungskartierung

Die Wolken der Felder der Fehlzuweisungen weisen überwiegend niedrige Zahlenwerte auf und beschränken sich auf Bereiche in enger Nachbarschaft zur Diagonalen. Die Fehlzuweisungen lassen sich durch die Grenzbereiche im physiognomischen Erscheinungsbild der Baukörper erklären. Verwechslungen zwischen der Klasse 217

und der Klasse 218 real sind deswegen verständlich.

Schließlich wurde mit der Formel

$$(1) \quad p = p^* - | 1.645 \sqrt{p^* \times q^*/n + 50/n} |,$$

wobei: p = Die Genauigkeit der Karte in [%],
 p* = richtig kartierte Blöcke / Gesamtzahl Blöcke,
 q* = 100 - p*, und
 n = Umfang der Probe

der prozentuale Anteil der Information der Karten berechnet, der mit $\alpha = 5\%$ Irrtumswahrscheinlichkeit an der unteren Grenze des 95%-Vertrauensintervalles liegt (vgl. Tab.1). Der bei FITZPATRICK-LINS (1980) angegebene Wert von 85% als untere Grenze für Karten im Maßstab 1 : 250000 und 1 : 100000 mit einer Landnutzungsklassifikation nach ANDERSON et al. (1976) wurde dabei als Anhaltspunkt übernommen.

95%-Konfidenzgrenzen der Kartengenauigkeit		
KOSMOS KFA-1000	OBJEKTKLASSE "STADTGRÜN"	OBJEKTKLASSE "VERSIEGELUNG"
Stufe 1	85%	95%
Stufe 2	47%	91%
Stufe 3	14%	68%

Tab. 1: Prozentualer Anteil der mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit richtigen Karteninformation der Hierachiestufen 1 - 3 des Objektschlüssels

Die Tab. 1 zeigt für die Objektklasse "Stadtgrün", daß hier die 85%-Grenze nur mit Stufe 1 überschritten wird. Bei der Objektklasse "Versiegelung" kann mit KOSMOS KFA-1000 gut die Stufe 2 erreicht werden.

5. Dank

Die vorgestellten Ergebnisse sind Teil einer Diplomarbeit, die am Institut für Geographie der Ludwig-Maximilians-Universität München bei Prof. Dr. F. Wieneke angefertigt wurde. Für die Bereitstellung des entsprechenden Satellitenbildes bedanke ich mich besonders bei der Gesellschaft für Angewandte Fernerkundung (GAF), München 19, Leonrodstr. 68.

6. Referenzen

ANDERSON, J.R., HARDY, E.E.; ROACH, J.T. & WITMER, R.E. (1976): A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. USGS Prof. Paper No. 964, 28 S., Washington.

FITZPATRICK-LINS, K. (1980): The accuracy of selected land use and land cover maps at scales of 1 : 250000 and 1 : 100000. USGS Circular No. 829, 24 S., Washington.

HAYDN, R. & VOLK, P. (1987): Erkennung von Umweltproblemen in Luft- und Satellitenbild. In: Geographische Rundschau, Vol. 39, H.6, S. 316 - 323, Braunschweig.

KACZYNSKI, R. & KONIECZNY, J. (1988): High resolution soviet space photographs for topographic mapping. In: Int. Arch. Ph. & R.S., Vol.27, Part B2, Commission II, S.501 - 505 (= Proceedings of the 16th ISPRS congress 1988, Kyoto), Kyoto.

KRÄMER, J. (1988): Map production and revision with satellite photographs taken by the MKF-6 camera and by the cameras KATE-140, KATE-200, and KFA-1000. In: Int. Arch. Ph. & R.S., Vol.27, Part B2, Commission II, S.506 - 512 (= Proceedings of the 16th ISPRS congress 1988, Kyoto), Kyoto.

LANDESHAUPTSTADT MÜNCHEN, UMWELTSCHUTZREFERAT (HRSG.)(1990): Karte 1.6 - Versiegelungsgrad pro Baublock. In: Umweltatlas München, München.

LANDESHAUPTSTADT MÜNCHEN, BAUREFERAT - STADTGARTENDIREKTION (HRSG.)(1988): Grünflächenplan München. Bestands- und Ausbauplan mit Erläuterungen, Fortschreibung 1988, München.

LANDESHAUPTSTADT MÜNCHEN, UMWELTSCHUTZREFERAT (HRSG.)(1983): Karte zur Biotopkartierung der LH MÜNCHEN, M 1: 25000, München.

LILLESAND, T.M. & KIEFER, R.W. (1987): Remote sensing and image interpretation. 2.Aufl., 721 S., New York.

LOSCH, S. (1988): Sparsamer und schonender Umgang mit Grund und Boden in der Stadtplanung. In: Informationen zur Raumentwicklung, H.8/9, S. 485 - 497, Bonn.

RIEDEL, W.; MÜLLER, C. & PACKSCHIES, M. (1989): Landschaftsbezogene Datenerhebung für kommunale Umweltplanung. In: Geographische Rundschau, Vol.41, H.9, S. 500 - 505, Braunschweig.

SCHNEIDER, S. (1984): Angewandte Fernerkundung. Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 285 S., Hannover.

SIEBERT, A. & STRATHMANN, F.-W. (1990): Kosmos KFA-1000 - Ein hochauflösender Sensor zur Dokumentation von Raum- und Umweltveränderungen. In: Die Geowissenschaften, 8. Jg., Nr. 11-12, S. 347 - 354, Weinheim.

STRATHMANN, F.-W. (1985): Multitemporale Luftbildinterpretation in der Stadtforschung und Stadtentwicklungsplanung. Münchner Geographische Arbeiten, Band 34, 132 S., München.

STRATHMANN, F.-W. & KAUFMANN, H. (1986): Urban development planning using Thematic Mapper data of Munich. In: ESA/ EARSeL Symposium on Europe from Space, Lyngby, 25 - 28 June 1986, ESA SP-258, S. 9 - 14.

WELCH, R. (1982): Spatial resolution requirements for urban studies. In: Int. J. Remote Sensing, Vol.3, No.2, S. 139 - 146, London.

WIENEKE, F. (1987): Der Einfluss der räumlichen Dimension der Daten auf die Einsatzmöglichkeit photographischer Fernerkundung für landschaftsökologische Untersuchungen. In: Geomethodica (= Veröff. 12.BGC), Vol. 12, S.57 - 90, Basel.

WILLE, V. (1987): Bericht und Anmerkungen zu einem Nutzerseminar Fernerkundung der DFVLR im November 1986 in Oberpfaffenhofen. In: Raumforschung und Raumordnung, H. 5 - 6, S. 243 - 246, Bonn.

THE USE OF THE VIDEOTAPE AND AERIAL DATA FOR IDENTIFICATION OF VEGETATION VARIABLES

Dr. Dana Klimešová

Institute of Information Theory and Automation

Czechoslovak Academy of Science

182 08 Prague 8, Pod vodárenskou věží 4, ČSFR

ABSTRACT

The contribution deals with a new approach in the videotape processing together with the aerial and ground-based measurement for the purposes of planning and control of agricultural production. We create various types of layers and merge them with respect to different objects analysis. The process can be combined with texture feature space building. For this purpose a new method of feature selection is presented. Suggested iterative method is computationally efficient and gives good separability of given objects.

1. INTRODUCTION

The videotape seems to be accessible and effective source of information from the smaller territory to solve particular requests concerning

- | | |
|-------------------------------|------------------------|
| - corn quality identification | - yield estimation |
| - field weeding | - vegetation variables |
| - land treatment | - land contamination |
| - biomass growing | - harvest progress. |

To remove the disadvantage of monospectral image we use special convolution operators of great size to create new layers (pseudochannels) containing contextual information of defined neighbourhood. We can take into consideration also other types of layers. They can be represented by image sample, spectral, pseudospectral or temporal sample, from other sources samples and by their combinations.

Various layers are used with respect to object and phenomena that have to be analysed. It is possible to combine this process with the structure space building using 3D-neighbourhood. To construct 3D-neighbourhood the square or rectangular mask is spread over all selected layers and convenient model of feature description is applied. Multilayer images, of course, it is great amount of data. To minimize the number of layers the principal component transformation is reasonable to use.

To describe the object or phenomena properties the multicorrelation model [1] has been successfully implemented. The vector of obtained features represents the statistical content of 3D-neighbourhood. But the number of features, using great size of neighbourhood, may be too great and therefore non-acceptable as an input to the classification procedure. To overcome this difficulties the presented method has been proposed.

2. FEATURE SELECTION METHOD

While most suggested methods deal with the matrix diagonalization and eigenvalue evaluation, few attempts have been devoted to the iterative methods offering good

separability of classes. The method is computationally efficient and operationally flexible. The great advantage and importance of this method is evident with respect to multisource images where the number of interesting features is great. Also for problems of structure processing it holds.

There are two discriminative measures defined on the beginning. Own selective algorithm is iterative process. We define the distance between classes R_i , R_k for the feature v_j as follows:

$$D_{ikj} = \left(\text{MEAN}_{ij} - \text{MEAN}_{kj} \right) / \left(\text{DEV}_{ij} + \text{DEV}_{kj} \right)^2$$

Values of mean and standard deviation are evaluated on the training sets, in the case of 3D-neighbourhood training cubes.

The first best feature is selected using the rule of maxima of cum-ulative distance

$$D^* = \max_j \sum_i \sum_k D_{ikj}$$

defined on the set of given classes. Assume that D^* corresponds to the feature v_* . Then the matrix H_{\max} of between-classes distances is computed as follows:

$$H_{\max} = [H_{ik}] = [D_{ik*}]$$

To select the next features we change the decision rule.

D^{**} is given as

$$D^{**} = \max_j \sum_i \sum_k (D_{ikj} / H_{ik})^2$$

where H_{ik} is used to reduce the influence of before selected features. The H_{\max} matrix of between-classes distances is updated with respect to the last selected feature v_{**} in every step of iteration.

$$H_{ik} = \max (H_{ik} , D_{ik**})$$

We continue in that way as far as we have determined numbers of features.

We can meet the difficulties in the case that distribution of classes is following: one singular cluster and one great spread cluster of the rest of classes. To avoid this situation it is useful to dispose the overview of contributions to the cumulative distance D_j for every feature.

$$D_j = \sum_i \sum_k D_{ikj}$$

The fact is that, luckily for us, the above mentioned case is met rarely.

3. CONCLUSION

Given method was successfully tested considering increasing number of used features. Of course there are some limitations referring to the amount of training sets and their reasonable connectivity. The training sets are selected with elimination of statistically significant differences between subareas. We achieved very successful classification of multisource image with only several mixed features.

Having that efficient tool for feature space modeling we

can combine spectral, textural and structural features. If fitted testing area is used, very exact estimations of recognition accuracy are obtained and consequently it is possible to determine the number of sufficient features to guarantee required precision.

REFERENCES

- [1] Klimešová D.: Multispectral textural model of image analysis. Proc. 3rd International Colloquium on Applied Stereology and Image Analysis. Košice, 1988

Improvement of the information content of multispectral MOZ-OBZOR data
in the project of PRIRODA for recognizing toxicant influences

V. I. Lyalko

Scientific Council "Earth exploration by Remote Sensing" of the
Ukrainian Academy of Sciences

Experimental researches of the spectra from vegetation carried out by scientists on laboratory and field conditions have shown: first - an inverse dependence of the spectral reflectance at 550nm wavelength versus nitrate content in the plants; second - a shift toward the shorter wavelengths of the plants spectra ("blue shift") over the range 680 to 740nm caused by high content of heavy metals.

These effects are detected by using spectrometers with high resolution (1 to 3 nm) and give the useful signals for remote operative mapping of stated above environmental pollutants connected with vegetation, soil, water-supply that are spreading extensively now.

Unfortunately developed satellite multispectral scanning system MOZ-OBZOR is unsuitable to solve such problems. In these senses although high resolution about 1,4 nm was attained at MOZ-A, but this system has only 4 channels, moreover they lay in the range 757 to 766 nm that is out required wavelength bands. And other modification of instrument MOZ-B possesses insufficient

quantity of channels besides its spectral resolution is low (about 10 nm).

In order to improve the informativeness of spectrometric satellite surveys, that will be performed by mentioned orbital instruments of "PRIRODA" ("NATURE") Draft, it is necessary to make aircraft spectrometric surveys in the visible region at 500 to 600 nm and at 680 to 740 nm simultaneously with satellite observations and ground sampling of plants and soils for heavy metal analyses within the specific test sites (for example, Dneprovsky, Kursky, German Federal Republic's sites et al.) using available soviet equipment.

In this case it is reasonable to follow the next sequence of operation: First. To plot the type spectrogram of radiation reflected from plant in visible region, to discriminate the anomalies of stressed plants reflectance induced by toxic substances (such as nitrates, heavy metals) and to mark on this spectrogram the boundaries of MOZ-B channels (Fig. 1).

Second. Based on the spectrometry for the plants containing different nitrate concentrations (Fig. 2), to draw the calibrating plot for the nitrate contents in the plants (from field sampling) versus the values of spectral radiance from the crops at 550 nm wavelength (approximately equal $\approx \frac{520 + 570}{2}$) (Fig. 3).

Third. Taking as a basis the profile aircraft spectrometry over the areas with different plant species, sampling of plants for nitrate analyses and nitrate content - spectral radiance at 550nm $C_{NO_3^-} = f(I_{550})$ calibration the profiles /maps/ are composed concerning to the vegetation contaminated by nitrates /if the nitrate contents are greater than TTL(toxity threshold level)(Fig.

Fourth. [DOI: https://doi.org/10.2312/zipe.1991.118.02](https://doi.org/10.2312/zipe.1991.118.02) as a the result of aircraft surveys permit to match values of spectral radiance

I₅₅₀ from satellite MOZ-B unit up the corresponding nitrate-ion content on test sites with the certain plant species and to plot the calibration curve nitrate content - spectral radiance at 550 nm for the interpretation of satellite areal spectrometry data.

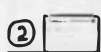
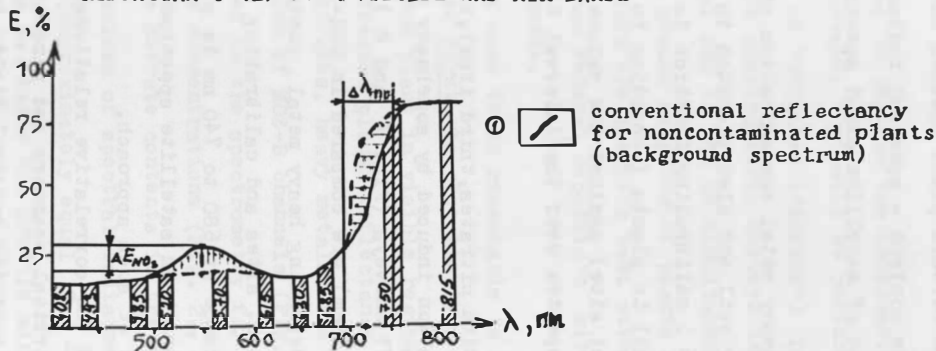
Fifth. In order to estimate heavy metal contamination of the vegetation (with due regard for soil and also plankton in reservoir). heavy metal contents (Fig. 5) calibrating function is plotted for content of some heavy metal in plants (according to analyses of plant samples from the test site) against the values of "blue shift" of plant reflectance spectra over the interval 680 to 740 nm (Fig. 6).

Sixth. Then (as in the case with nitrates, third item), the profiles /maps/ of plant contamination induced by some heavy metals are composed as result of aircraft surveys (Fig. 7 and 8) and spectral features (as in fourth item) are compared in MOZ-B channels (685 nm and 750 nm) to corresponding heavy metal contents of specific plant species from test sites and calibrating curve heavy metal content - spectral radiance at 680 to 740 nm is plotted.

Channel at ⁷¹⁵⁻720 nm wavelength on satellite spectrometer is needed to improve the quality of such approach.

This can be used to find the correlative relationship between spectral fields obtained by orbital scanners and aircraft tracers, respectively. Calibration of scanning spectral fields in accord with peculiar impacts of chemical pollutants induced stress in plants and mapping contaminated regions will be the final result.

DETECTION
OF TOXICITY INDUCED BY HEAVY METALS (Pb)
AND NITRATES (NO₃⁻) WITH PLANT SPECTRAL
REFLECTANCY (E) OVER VISIBLE AND NIR-BANDS



shift of background spectrum to shortwave range caused by Pb-toxicity ($\Delta\lambda_{Pb}$) (blue shift)



decreasing of spectral reflectancy dependent on NO₃-toxicity ($E_{NO_3^-}$)



channels of multispectral scanning system MOZ-OBZOR (MOZ-B unit) for the radiometric measurements with $\Delta\lambda = 10\text{nm}$. This system is mounted on "Nature" module for the pilot orbital station "MIR" (1992) ("PRIRODA")

Fig. 2 REFLECTANCE SPECTROGRAMS FOR THE CORN LEAVES WITH DIFFERENT NO_3^- CONTENTS (OBUKHOV'S IRRIGATION SYSTEM, KIEV REGION, JUNE 1989)

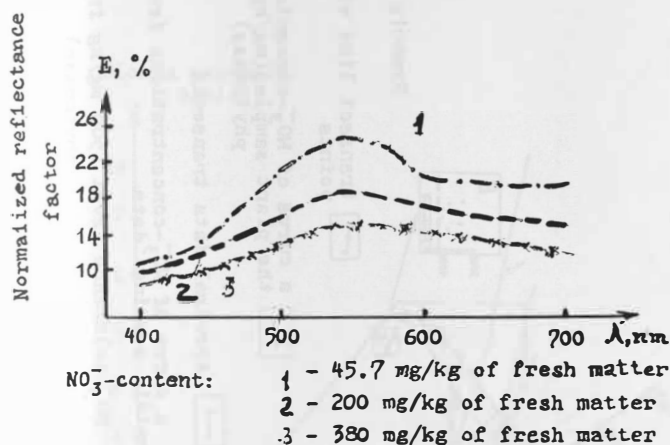


Fig. 3 CALIBRATION CURVE OF NITRATE-ION CONTENT IN THE PLANTS ($C_{\text{NO}_3^-}$) AGAINST THE VALUE OF SPECTRAL RADIANCY FOR CROPS AT WAVELENGTH 550 nm (B_{550})

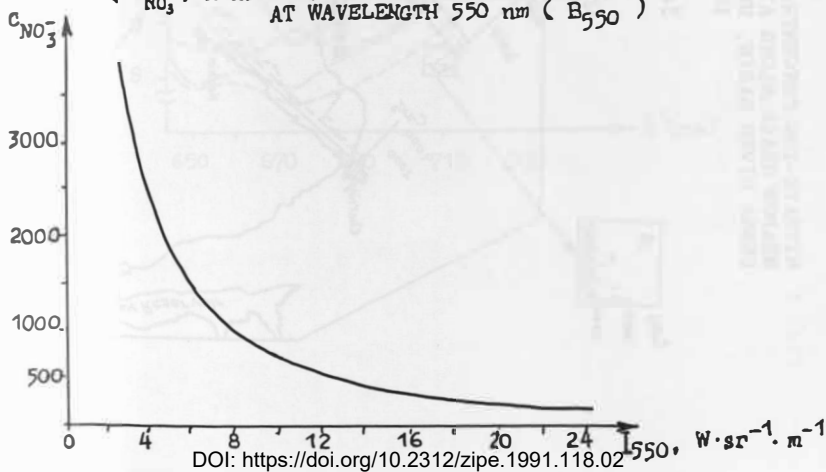


FIG. 1 NITRATE-ION CONCENTRATION (mg/kg fresh phytomass) IN FORAGE AND MEADOW GRASS ALONG AIRCRAFT-DERIVED SPECTRAL DATA TRANSECTS OVER DESNA RIVER BASIN, UKRAINE, AUGUST, 1990
IGS AN Ukr' SSR

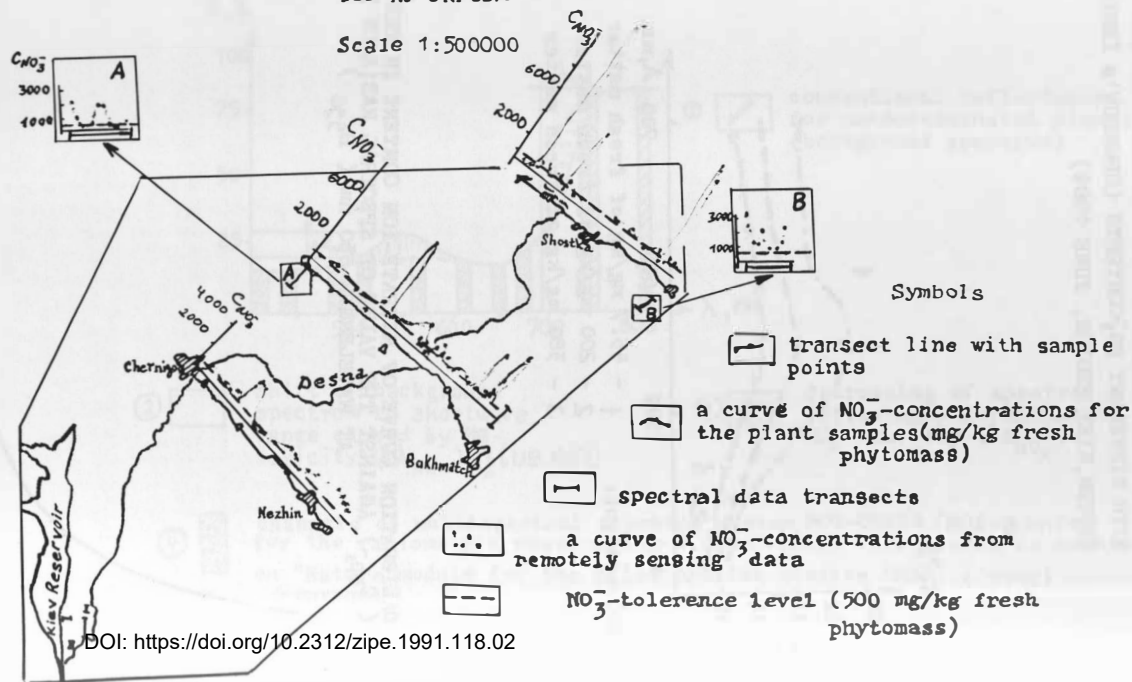


Fig. 5 RELATIONSHIP OF SPECTRAL RADIANCY AND HEAVY METAL CONTENT FOR THE BARLEY (EAR FORMATION) FROM REMOTE SENSING DATA AND SYNCHRONOUS GROUND SAMPLING WITHIN DNEPROVSKY TEST SITE

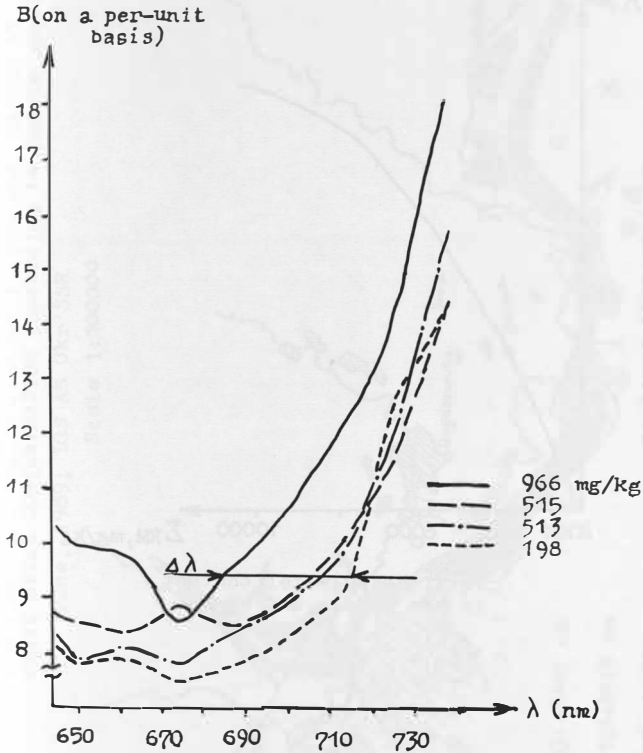


Fig. 6 TYPICAL CURVE OF "BLUE SHIFT" FOR THE PLANT REFLECTANCE SPECTRUM VERSUS HEAVY METAL CONTENT IN THE PLANTS

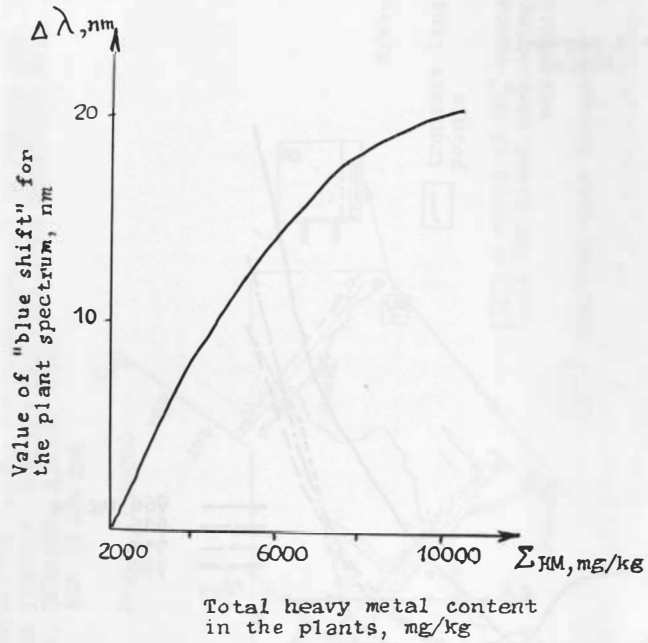


Fig. 7

LOCATION OF "BLUE SHIFT"
FOR PLANT SPECTRAL REFLECTANCY (VISIBLE) CAUSED BY
HEAVY METAL CONTAMINATION (according to remote spectrometry)

June, 1989; IGS AS Ukr'SSR

Scale 1:100000

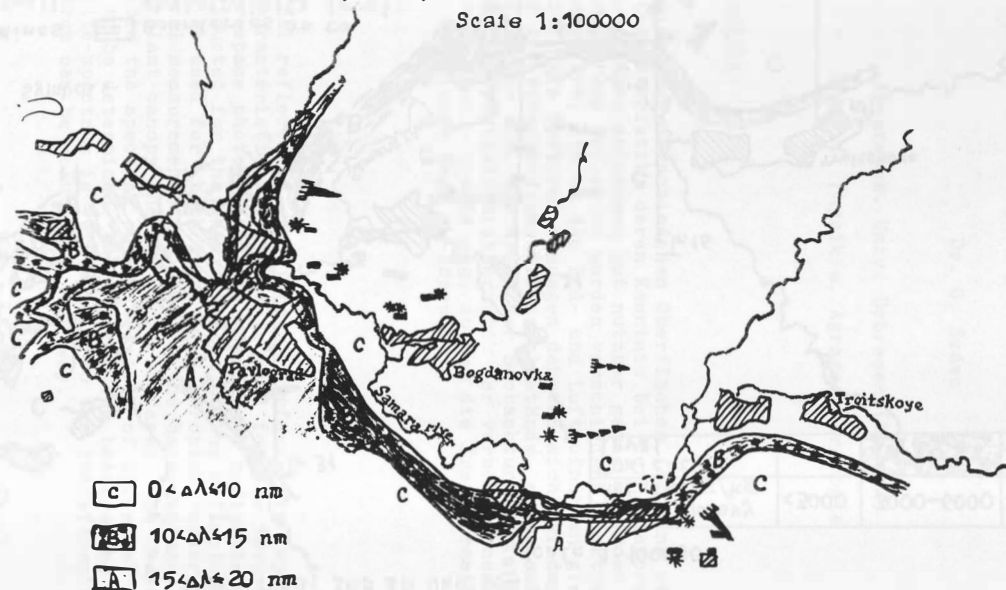
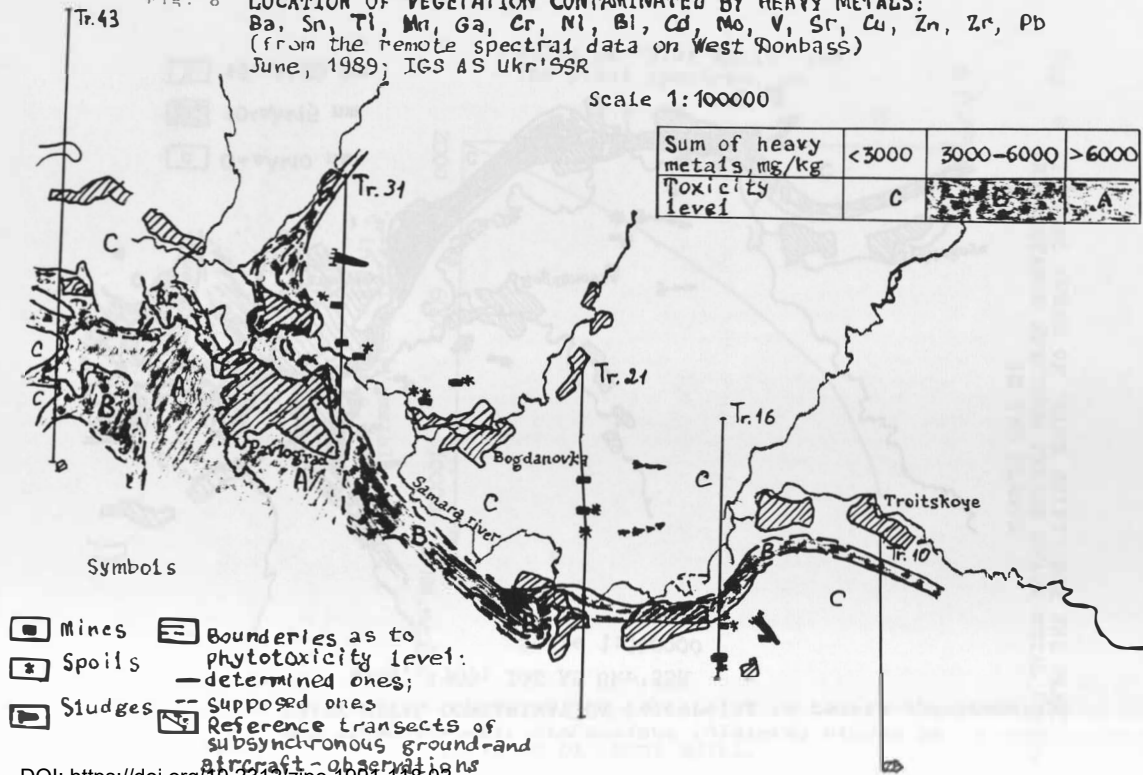


Fig. 8 LOCATION OF VEGETATION CONTAMINATED BY HEAVY METALS:
 Ba, Sn, Tl, Mn, Ga, Cr, Ni, Bi, Cd, Mo, V, Sr, Cu, Zn, Zr, Pb
 (from the remote spectral data on West Donbass)
 June, 1989; IGS AS Ukr'SSR

Scale 1:100000

Sum of heavy metals, mg/kg	<3000	3000-6000	>6000
Toxicity level	C	B	A



Symbols

- Mines
- Spoils
- Sludges
- Boundaries as to phytotoxicity level:
 - determined ones;
 - - - supposed ones
- Reference transects of subsynchronous ground-and atmosphere-observations

DOI: <https://doi.org/10.2312/zipe.1991.118.02>

Die Anwendung der Spektrophotometrie in der Fernerkundung

Dr. G. Szász

Agrarwiss. Univ. Debrecen (Ungarn)

Inst. f. Physik u. Agrarmeteorologie

Zusammenfassung

Die Reflektanz der verschiedenen Oberflächen ist eine wichtige optische Charakteristik, deren Kenntnis bei der Interpretation der aerokosmischen Aufnahmen gut nutzbar gemacht werden kann. Zur Bestimmung der Reflexion wurden verschiedene Spektroradiometer konstruiert, die zu den Erd- und Luftaufnahmen gleich anwendbar sind. Die Spektralmessungen dehnten sich auf den Kahlboden, auf die verschiedenen Pflanzenbestände sowie auf die Wasseroberflächen aus. Auf Grund der Beobachtungen **ist** die Bestimmung der Spektralcharakteristik der verschiedenen natürlichen Oberflächen sehr eng, so daß die Transformation des Spektrums auf diesem Wege zu lösen **ist**.

Summary

The spectral reflections of different surfaces are important optical characteristics, they can be used for the interpretation of the aerospace photographs well. Different radiometers have been constructed for the determination of the reflection, which can be used for both earth- and aeroplane-observations. The spectral measurements are include the bare surface, the different plant canopy and the water surfaces. The observations enable the spectral characteristics of different natural surfaces to be determined. The correlation between the earth- and satellite-spectrum is very close, so the transformation of the spectrum can be soluted in this way.

Einleitung

Die Spektralstruktur der Sonnenstrahlung ist grundsätzlich als konstante physikalische Eigenschaft zu betrachten. Diese in Zeit als homogen betrachtete Strahlung wird durch die Oberflächen, Objekte in Abhängigkeit des Reflexionsvermögens spektral grundsätzlich geändert. Der Quotient der reflektierten Strahlung und der Einstrahlung ist im physikalischen Sinne für eine bestimmte Oberfläche charakteristisch. Die Erkennung der Reflexionscharakteristik der Oberflächen gibt eine gute Hilfe bei der Analyse der aerokosmischen Aufnahmen. Im Rahmen der Forschung der Naturresource ist die Analyse der Raumbilder, die durch die Satelliten detektiert wurden, eine grosse Hilfe, weil die Vielseitigkeit der Geosysteme bzw. die Variabilität der Ökosysteme der Erde sehr gross ist, demzufolge bedeutet es eine ausserordentlich komplizierte Aufgabe, sie klarzustellen. Die Überlegung dieser Probleme hat den Anlass dazu gegeben, die reflexionsspektrometrischen Eigenschaften der verschiedenen natürlichen Oberflächen zu untersuchen.

1. Die Instrumente der reflexionsspektrometrischen Eigenschaften

Die Untersuchung der reflexionsspektrometrischen Eigenschaften der verschiedenen Oberflächen wird durch die Messung der elektromagnetischen Sonnenstrahlung ermöglicht. Je ausführlicher das Auflösungselement (Pixel) ist bzw. je höher die Spektral-Empfindlichkeit des zur Verfügung stehenden Radiometers liegt, desto vielfältigere Informationen sind zu erhalten. Die Spektoradiometer, die an Bord der verschiedenen Satelliten angelegt sind, funktionieren in sehr verschiedenen sichtbaren und Infra-Spektralbänden, deswegen sind die charakteristischen Spektralbände der verschiedenen Oberflächen noch kaum oder gar nicht bekannt. Durch diese Unterlegung ist die Feststellung begründet, dass nur die durch Messungen erhaltene Bestimmung des kontinuierlichen Spektrums eine feste Grundlage bilden kann. - Dieser Ansicht entsprechend wurde intensive technische Entwicklungstätigkeit in Bewegung gesetzt, wonach das Instrumentensystem geplant wurde, durch das das Spektrum sowohl auf der Erdoberfläche als auch am Flugzeugbord zu bestimmen ist.

Das Spektrometer vom Typ SM-1 ist geeignet, im Intervall 400-1000 nm zu messen; sein maximales Auflösungselement ist theoretisch 1 nm (zur praktischen Messung ist ein Auflösungselement von 6 nm zu empfehlen). Der Spektralaufungsverlauf wird durch Farbfilter und optisches Gitter gesichert; die Gittercharakteristik ist 1200 Linien/nm; der Detektor ist PIN-Photodiode. Die Messung wird durch Mikroprozessor gesteuert. Signal-output-Geräte: X-Y-Plotter, Printer, Rechner. Referenzoberfläche: BaSO₄.

Das Spektrometer vom Typ SM-2 ist geeignet, im Intervall von 400-2300 nm zu messen; auch bei diesem Gerät ist ein Auflösungselement von 5-10 nm zu empfehlen. Im Intervall 1000-2400 ist der Detektor ein thermostierter PbSO₄-Photowiderstand, die Charakteristik des optischen Gitters ist 600 Linien/mm. Die Referenzoberfläche beim Reflexionsspektrum ist eine vergoldete Diffusoberfläche. Die Messleistung ist gleich wie beim Typ SM-1 gelöst (Abbildung 1).

Das Radiometer von Typ SM-R ist sowohl in der Nähe des Bodens (Minimalhöhe: 3 m), als auch am Flugzeugsbord anzuwenden. Im Gegensatz zu den erwähnten Geräten funktioniert dieses Messgerät nach der Scanner-Methode. Rotationsgeschwindigkeit ist: Drehzahl/1 sec. Durch eine Umdrehung werden Signale der 12 Kanäle aufgefangen und detektiert. Der Kanal 1^o dient der Messung der Strahlungstemperatur der Oberfläche (13-15000 nm). Die Signale der Kanäle kommen von einem Gebiet 40x50 m² her. Um die Identifizierung der Signale zu erleichtern, gehört zu je einer Signallerie ein identisches Videobild in der erwähnten Grösse. Die Spektralsignale werden am Rand des Videobandes festgesetzt, dadurch wird die Synchronität fortläufig gesichert. Das Bild und die spektralen Digital-Signale befinden sich an den gleichen Strecken des Filmbandes; so können das Bild und die Information über die absolute Reflexion auf den beiden Displays gleichzeitig betrachtet werden. Die Messkanäle repräsentieren im wesentlichen die Reflexionsbänder der verschiedenen Oberflächen (Kahlboden: 1./ 400-450 nm, 2./ 500-650 nm, 3./ 750-850 nm, 4./ 950-1150 nm; Pflanzendecke: 5./ 400-450 nm, 6./ 500-600 nm, 7./ 600-700 nm, 8./ 800-1100 nm; Wasser: 9./ 400-500 nm, 10./ 550-700 nm, 11./ 950-1150 nm, 12./ 1300-1700 nm). Sowohl das Spektrum als auch das Bild sind in einer digitalen Form einzulagern, wonach die Spektren aus verschiedenen Zeitpunkten zu

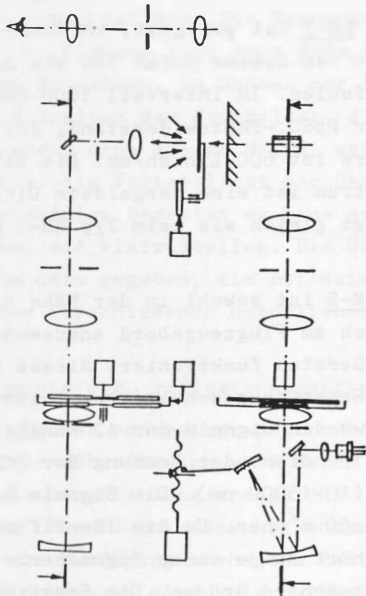


Abbildung 1

Skizze des optischen Aufbaus des Spektroradiometers vom Typ MS-1

vergleichen sind bzw. man mit ihnen verschiedene Rechnungen durchführen kann. Der Vorteil des Radiometers vom Typ SM-R ist, daß mit seiner Hilfe praktisch eine "real-time"-Information zu erhalten ist, wodurch die Möglichkeit der praktischen Anwendbarkeit bedeutend erhöht wird.

2. Anforderungen an die Interpretation der Messergebnisse

Die Interpretation der spektrometrischen Messungen ist durch die Erfüllung verschiedener Bedingungen zu erreichen. Die Kriterien der Repräsentativität sind: das Kriterium der physikalischen Repräsentativität, das Kriterium der mathematisch-statistische Repräsentativität, das Kriterium der mathematischen Repräsentativität. Durch die Erfüllung der Kriterien wird die Repräsentativität ausgedrückt.

2.1. Das Kriterium der physikalischen Repräsentativität

Nur die Messergebnisse, die geometrisch gleichen Bedingungen entsprechen, sind zu seiner Interpretation geeignet. Die auf den Nadirpunkt reduzierte Reflektanz festzustellen, bedeutet eine komplizierte Aufgabe: das Lambert'sche Kriterium besteht nämlich nicht in jedem Fall, d.h., die tatsächliche Reflektanz ist:

$$R_o(\lambda) = a(\lambda) \cdot \cos R_m$$

$$a(\lambda) \leq 1,0.$$

Der numerische Wert von $a(\lambda)$ hängt von der optischen und geometrischen Eigenschaft der Oberfläche: Die Reduzierung auf den Nadirpunkt braucht eine zusammengesetzte Analyse, weil die Reflexionsfähigkeit eine wichtige Rolle wegen des Bedarfes der Zusammengleichungsmöglichkeit spielt. Hinsichtlich dessen, dass sich die Reflektanz mit der Steigerung der Rauigkeit der Oberfläche vermindert, ist die Kenntnis des optischen Rauigkeitsparameters unentbehrlich. Bei den Pflanzenbeständen ist die optische Rauigkeit durch die Verteilung des Neigungswinkels der elementaren Blattflächen auszudrücken. Aus alledem folgt, dass die physikalische Interpretation des Spektrums die Kenntnis zahlreicher Informationsparameter beansprucht.

Ein Kardinalproblem der genauen Definition der Reflektanz der Pflanzenbestände ist die Winkelabhängigkeit der Proportion Pflan-

ze/Boden. Deckt die Blattfläche des Pflanzenbestandes den Boden nicht völlig ein, d.h., ist der Pflanzenbedeckungsfaktor grösser als Null, erreicht aber den Wert 1,0 nicht, so beansprucht die Reduktion auf den Nadirpunkt ein kompliziertes Verfahren. Unseren Untersuchungen nach sind die Reduktionsparameter: die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Neigungswinkels der Blattflächen, die "optische Tiefe" der Pflanzendecke, der Höhenwinkel des Detektors, die Grösse der Strahlungsdurchlässigkeit der Bestände. Die Kenntnis der "optischen Tiefe" ist in dem Falle nötig, wenn sie niedriger als die Höhe des Pflanzenbestandes steht. Die Kenntnis des letzten Parameters ist dadurch unbedingt begründet, dass die auf den Nadirpunkt bezogene Reflektanz durch die Satellit-Radiometer gemessen wird.

2.2. Das Kriterium der statistischen Repräsentativität

Ein Spektrum, das sich auf eine bestimmte Oberfläche bezieht, ist in dem Fall als repräsentativ zu betrachten, wenn der Messfehler, der aus der optischen Heterogenität der Oberfläche herkommt, ein Minimum steht. Dies bedeutet praktisch, dass eine Messzahl n von einer ausgewählten Oberfläche hergestellt werden soll und dass auf Grund der Proben die Streuung bzw. der statistische Fehler festzustellen ist. Daraus folgt die richtige Probenanzahl, die als optimal zu betrachten ist, wodurch die spektrale Charakteristik ausgedrückt werden kann. Die Grösse des statistischen Fehlers ist:

$$F = \pm \frac{1,955}{\sqrt{2n-1}} \frac{\sum |\Delta|}{n} \quad \text{nm}$$

wobei n : die Anzahl der Proben, $\sum |\Delta| / n$: die mittlere Abweichung angibt. Die minimal nötige Probenanzahl ist:

$$N_o = \frac{n \cdot F^2}{F_o^2} ,$$

wobei N_o : die minimal nötige Probenanzahl bei einem Fehler F_o bezeichnet. Nach unseren Untersuchungen ist die nötige Wiederholungsanzahl in den Bereichen des Spektrums verschieden.

Die erwähnte Transformation ermöglicht die Festlegung der Unterschiede [DOI:https://doi.org/10.2312/ziper.19910118.02](https://doi.org/10.2312/ziper.19910118.02) Flächen. Die Cluster-Analyse

bietet einen zuverlässigen Grund dafür, obwohl zu bemerken ist, dass die mathematische Abgrenzung der Cluster-Einheiten veränderlich ist (z.B. euklidische Entfernung). Durch die Bewegung je einer Cluster-Einheit in der Ebene wird die zeitliche Dynamik der Eigenschaft beschrieben. Diese Bewegungsdynamik drückt im wesentlichen die zeitliche Änderung des ausgewählten Reflektanzbereiches aus, die für die Oberfläche charakteristisch ist.

2.3. Das Kriterium der mathematischen Repräsentativität

Die Reflektanz ist eine Eigenschaft, die sich in der Zeit verändert; ihre Dynamik ist für die Oberfläche charakteristisch. Die Dynamik der Reflektanz der verschiedenen natürlichen Oberflächen ist durch eine bestimmte Funktion zu beschreiben. Die Funktionen, durch die die Reflektanz repräsentiert wird, können überwiegend mit Hilfe der trigonometrischen Funktionen geschrieben werden, weil sich die Veränderung periodisch abspielt. Die Reflektanz des Bodens, der Pflanze und der Wasseroberflächen verändert sich nach einem regelmässigen jährlichen Rhythmus, bedeutende Abweichungen gestalten sich nur zwischen den Amplituden hauptsächlich infolge irgendeines klimatisches Effekts aus. Die Dynamik der Reflektanz ist eine für die Oberfläche charakteristische Eigenschaft, deren Kenntnis die Interpretation in grossem Ausmass fördert.

3. Die physikalische Erklärung der Reflektanz

Die in der Natur messbare Reflexion gestaltet sich in der Mehrheit der Fälle nicht den allgemeinen physikalischen Gesetzen gemäss. Die Einstrahlung dringt in der Mehrheit der Oberflächen teilweise hinein, und einige Teile der Photonen kommen wieder aus den Absorptionsschichten auf einem sehr komplizierten Weg in die Atmosphäre heraus. Dieser Verlauf ist eigentlich die Streuung innerhalb des Körpers, was sich in den Pflanzen, im Wasser abspielt; der Boden ist in dieser Hinsicht ein Ausnahmefall. Die Photon-Bewegung nach der Streuung bildet die Diffusstrahlung in der Atmosphäre. Aus dem Gesagten folgt, dass die Reflexion nur teilweise als die Lambert'sche Reflexion zu betrachten ist. Im weiteren werden nur die wichtigsten Ergebnisse der Forschungen zusammengefasst.

3.1. Der Boden

Die wichtigsten 5 Faktoren wurden von BAUMGARDNER (1) eingehend zusammengefasst. Darüber hinaus aber stellen sich zahlreiche Fragen, die bei der Interpretation im physikalischen Sinne bedeutend sind. Als erste soll die Wirkung der Bodenfeuchtigkeit erwähnt werden. Es ist allgemein bekannt, dass die Reflektanz der Böden mit der Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes abnimmt. Das Mass der Abnahme hängt vom Tongehalt ab. Je grösser der Tongehalt im Boden ist, umso gleichmäßiger wird das Maß der Reflexionsabnahme im sichtbaren Intervall sein. In Abbildung 2 sind die Geraden von 3 Hauptbodentypen zu sehen. Der aus den trockenen bzw. feuchten Zustand darstellenden Geraden gebildete Winkel ist bei Sandböden groß, bei Lehm Böden wesentlich kleiner, im Falle der Tonböden sind die beiden Geraden parallel. Diese allgemeine Erkenntnis ist im Rahmen der Untersuchung der Bodeneigenschaften sehr wichtig.

Die Reflexion der Böden wird durch ihre Stoffzusammensetzung (Humus, Eisenoxid, Kalk, usw.) eigenartig geändert. Im Laufe der Untersuchungen wurde auch die Spektralverteilung der absoluten Reflexion der Erdoberfläche festgestellt, wobei sich die Absorptionsbänder von den reflektierten Bereichen scharf abgrenzen; dadurch ist eine ausführliche Information über die Stoffzusammensetzung des Bodens zu erhalten. Das feste Skelett des Bodens wird durch verschiedene Mineralstoffe gebildet, bei denen eine chemische Ähnlichkeit besteht, aber sie unterscheiden sich in ihren optischen Charakterzügen voneinander. Abbildung 3 führt die Spektralverteilung für zwei Mineraltonstoffe im sichtbaren und Infra-Band vor. Ausser der dargestellten ist das Dasein zahlreicher anderer Mineralstoffe der Bodenbestandteile durch eine spektrometrische Methode festzustellen.

3.2. Die Pflanze

Für die Beschreibung der Reflexion der Pflanzenbestände stehen uns zahlreiche Modelle zur Verfügung. Im allgemeinen ist festzustellen, dass die Beschreibung dieser Modelle ziemlich kompliziert ist. Infolgedessen ist die Möglichkeit ihrer Verallgemeinerung in enge Grenzen eingeschränkt. Diesmal muss man hier betonen, dass diese Modelle den augenblicklichen Zustand des Bestandes vorstellen, die meisten von ihnen sind zur Einschätzung der Dynamik der

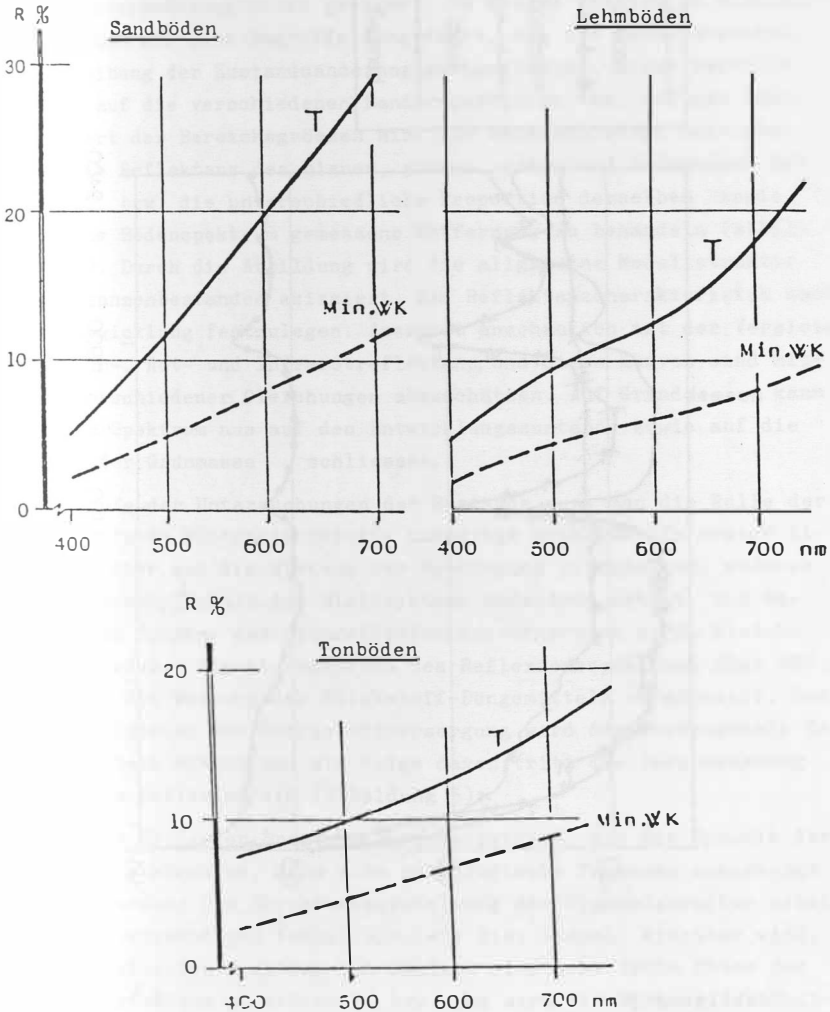
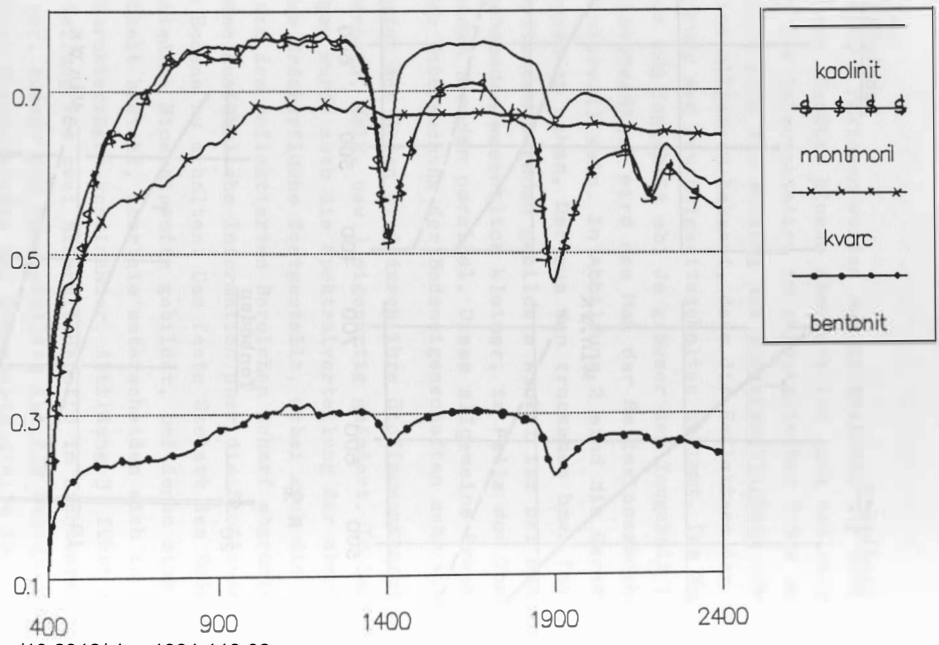


Abbildung 2

Die Reflektanz der verschiedenen Bodentypen
(T: trocken, WK: minimale Wasserkapazität)

Abbildung 3
Die Reflektanz verschiedener Tonminerale

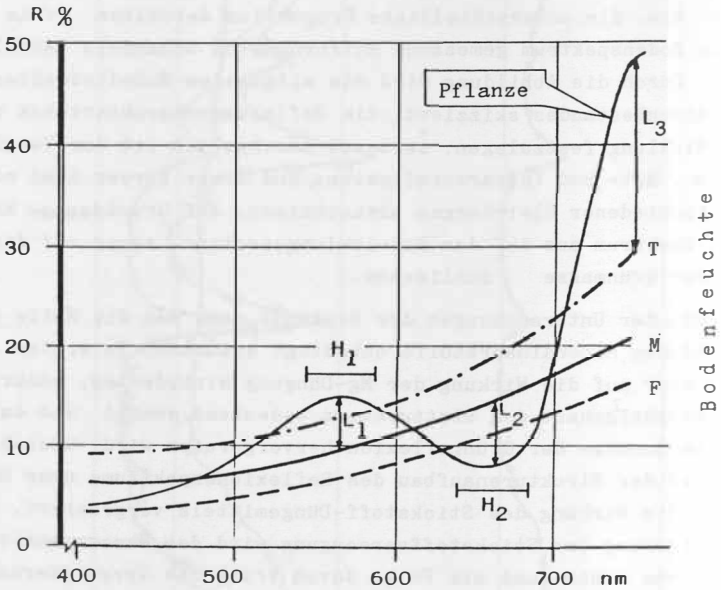


Bestandsveränderung nicht geeignet. Um dieses Problem zu eliminieren, haben wir neue Begriffe eingeführt, die zur mathematischen Beschreibung der Zustandsänderung geeignet sind. Diese Begriffe deuten auf die verschiedenen Bandproportionen bzw. auf den Absolutwert der Bereichsgrößen hin. Als unterschiedene Bereiche sind die Reflektanz des blauen, grünen, roten und infranahen Bereiches bzw. die unterschiedliche Proportion derselben sowie ihre vom Bodenspektrum gemessene Entfernung zu behandeln (Abbildung 4). Durch die Abbildung wird die allgemeine Modellstruktur des Pflanzenbestandes skizziert, die Reflektanzcharakteristik nach der Entwicklung festzulegen. Äusserst anschaulich ist der Vergleich der Grün-, Rot- und Infrarotreflektanz, und diese Kurven sind mittels verschiedener Gleichungen abzuschätzen. Auf Grund dessen kann man vom Spektrum aus auf den Entwicklungszustand sowie auf die Grösse der Grünmasse schliessen.

Im Laufe der Untersuchungen der Bestände muss man die Rolle der verschiedenen Mineralnährstoffe unbedingt erwähnen. In erster Linie ist hier auf die Wirkung der Mg-Düngung hinzuweisen, wodurch der Chlorophyllgehalt des Blattsystems bedeutend erhöht und dadurch die Zunahme der Grünreflexion hervorgerufen wird. Gleichfalls wird der Strukturaufbau des Reflexionsspektrums über 800 nm durch die Wirkung des Stickstoff-Düngemittels vergrössert. Durch die Steigerung der Stickstoffversorgung wird der Wassergehalt des Blattsystems erhöht und als Folge davon tritt die Vergrösserung der Infra-Reflexion ein (Abbildung 5).

Mit der Hilfe der Spektrumcharakteristiken, die die Dynamik der Pflanzen ausdrücken, kann eine phänologische Prognose zusammengestellt werden: Die Strukturumgestaltung der Pigmentgarnitur setzt nämlich beträchtlich früher ein, wie dies visuell sichtbar wird. Im reflektierten Spektrum ist nämlich eine sehr frühe Phase des Chlorophyllabbaus zu erkennen, bzw. es wird die Wirkung der Gelbkörper hier ganz früh wahrnehmbar [2].

Die Schätzung der Oberflächentemperatur bedeutet eine komplizierte Aufgabe, deshalb wird im allgemeinen die Strahlungstemperatur gemessen. Hinsichtlich dessen, dass nämlich die Emissionsfaktoren der verschiedenen Oberflächen voneinander bedeutend verschieden sind (0,92-1,0), ist die Schätzung der physikalischen



$$P_N = (\alpha_1 L_1) + (\alpha_2 L_2) + (\alpha_3 L_3) \text{ t ha}^{-1}$$

$$H_1 = \lambda_{\text{max.}} \cdot L_1 ; \quad H_2 = \lambda_{\text{max.}} \cdot L_2$$

Abbildung 4

Das Schema des Schätzungsmodells für Boden und Pflanze auf Grund der Fernerkundung

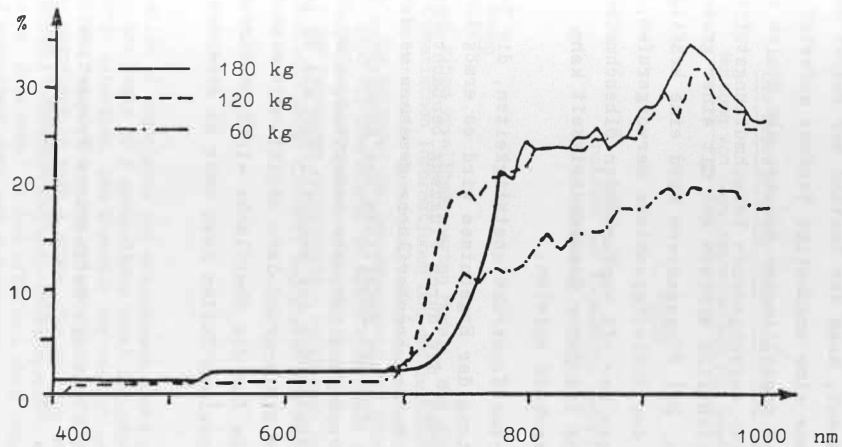


Abbildung 5

Wirkung der Stickstoffdüngung auf die Spektralreflektanz von Mais

Temperatur der Oberfläche nur mit beträchtlichen Fehlern durchzuführen. Dieser Problem -kreis taucht hauptsächlich im Laufe der Feststellung der Feuchtigkeitszustandes der Wasser bzw. der Pflanzenbestände auf.

3.3. Das Wasser

Es ist allgemein bekannt, dass der Zustand der Wasser vom Gesichtspunkt der Qualität aus eine ungünstige Tendenz aufweist. Insofern man die Reflexion des destillierten Wassers als Etalon betrachtet, ist die Wirkung der verschiedenen Verschmutzungstoffe im Vergleich dazu ausserordentlich einfach und mit einer grossen Genauigkeit festzustellen. Bei Flusswassern wird eine kräftige Spektrummodifizierung durch das Schluffgeschiebe hervorgerufen, oder aber sind dabei die Folgen der oft vorkommenden Ölverschmutzung zu erkennen. Die Anwendung letzterer Gesetzmässigkeit kann eine wichtige Rolle im Umweltschutz spielen.

Durch die angeführten Konstruktionstätigkeiten, die Versuchsarbeit und die Auswertung der Ergebnisse wird es ermöglicht, die Reflexionsinformationen, die durch Flugzeug beobachtungen oder durch Fernerkundung an der Erdoberfläche gemessen werden, mit den von den Satelliten aus gemessenen Werten zu vergleichen. Die Korrelation ist sehr bedeutend, aber die modifizierende Rolle der Atmosphäre ist wesentlicher, als es gegenwärtig klarzulegen ist. Der Hintergrund-lärm ergibt eine hochgradige Entstellung, dass die für die Oberfläche wirklich charakteristischen Signale in einzelnen Fällen kaum mehr zu erkennen sind.

Literatur

- [1] BAUMGARDNER, M. F. et al: Reflectance Properties of soils. Academic Press, INC. London. (1985) Advances in Agronomy. Vol. 38. 2-44.
- [2] SZÁSZ G.: A mezőgazdasági célú távérzékelés jelentősége az agrometeorológiában. (The importance of agricultural remote sensing in development of agricultural meteorology.) - Időjárás, Journal of the Hungarian Meteorological Service. Vol. 91. No. 2-3. 88-103.

Die Bedeutung der Funktionalanalyse bei der
Nutzung von Geowissenschaften für Umweltaufgaben

E. PROSS

Institut für Angewandte Geodäsie
Außenstelle Leipzig

Zusammenfassung

Basierend auf einem verallgemeinerten Modell, das die topographische Situation, die thematischen Informationen und den zeitlichen Ablauf in einem abstrakten Raum darstellt, lassen sich Geowissenschaften und Umweltaufgaben integrieren. Die Methoden der Datengewinnung und Ableitung thematischer Informationen sind als Operatoren in solch einem Raum darstellbar. Wichtige Operatoren sind dabei Projektoren und Integratoren, denen wiederum charakteristische - den Prozessen zugeordnete - Funktionen entsprechen. In diesem Modell lassen sich Daten sinnvoll reduzieren und repräsentative Daten und Informationen ableiten.

Summary

The integration of geoscience and environment tasks in an abstract space is possible on the basis of a generalized model including the representation of topographic situation, the thematic information and the run of time. The methods of data registration and determination of thematic information are realized by operators in such a space. Projections and integrations are important operators corresponding with characteristic functions describing such processes. This model allows efficient data reduction and the determination of equivalent data and information.

1. Allgemeine Grundlagen

Dieser Artikel soll, aufbauend auf systematischen Betrachtungen innerhalb der sich formierenden Geoinformatik, Anregungen geben, wie - eingeordnet in ein funktionales Modell - auch Umweltaufgaben dargestellt werden können. Hervorgehoben werden dabei die Bedeutung von Fernerkundung, Photogrammetrie und Kartographie in solch einem System für die Gewinnung und Verarbeitung von Daten und Informationen. Die Ausführungen sollen auch auf diesen Teil der Geowissenschaften eingeschränkt werden.

Betrachtet man die - insbesondere mit Methoden der Fernerkundung - gewonnenen Daten, so lassen sie sich als Elemente eines mehrdimensionalen abstrakten Raumes betrachten.

Wesentliche Koordinatenachsen solch eines abstrakten Raumes sind dabei

- die Lage- oder Ortskoordinaten x

Darstellungen werden oft auf zweidimensionale Lagekoordinaten - in der Regel in definierten geodätischen Koordinatensystemen - reduziert, die als Abbildung von Teilen der Erdoberfläche aufgefaßt werden.

Die Höhe über einer Bezugsfläche kann hier entweder die Geländehöhe (als dritte Lagekoordinate - 3D - oder als Merkmal - 2 1/2D) sein oder aber als echte Variable betrachtet werden (bspw. wenn der "Luftkörper" Untersuchungsgegenstand wie bei der Luftverschmutzung ist).

Für die weiteren Betrachtungen werden die Ortskoordinaten auf zwei Dimensionen eingeschränkt.

- die Frequenz λ des elektromagnetischen Spektrums

Umweltrelevante Probleme und Erscheinungen lassen sich oft indirekt über eine spektrale Charakteristik erfassen.

Multispektrale Aufnahmen sind geeignete Formen der Erfassung solcher Masendaten.

- der Zeitpunkt t

Die Datenerfassung ist immer an einen Zeitpunkt gebunden.

Im Bild 1 wird dieser Sachverhalt symbolisch dargestellt.

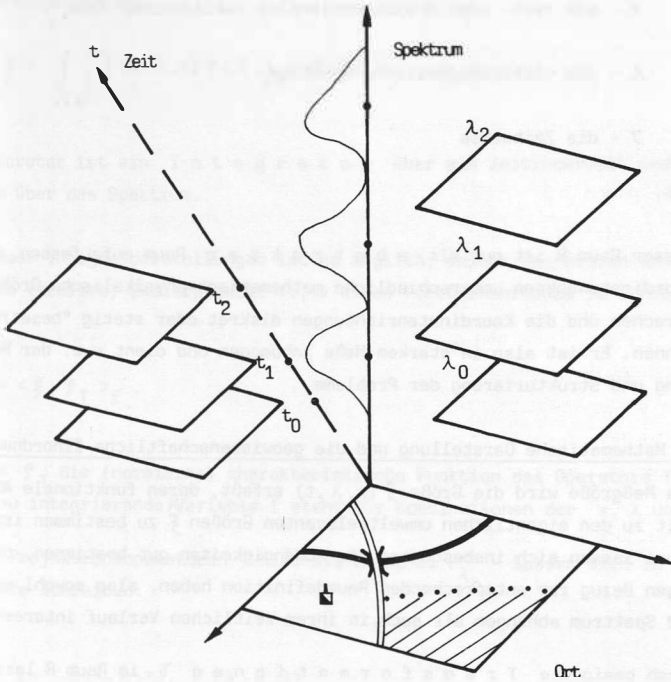


Bild 1. Darstellung in einem abstrakten Merkmalsraum

Dieser Raum R ist definiert als

$$R = \left\{ \xi = \xi(x, \lambda, t) \mid x \in \mathcal{X}, \lambda \in \Lambda, t \in \mathcal{T} \right\},$$

wobei

\mathcal{X} - ein zwei- oder dreidimensionaler euklidischer Raum,

Λ - das elektromagnetische Spektrum,

\mathcal{T} - die Zeitachse

ist.

Dieser Raum R ist nur als **a b s t r a k t e r** Raum aufzufassen, weil den Koordinatenachsen unterschiedliche mathematisch-physikalische Größen entsprechen und die Koordinatenrichtungen diskret oder stetig "besetzt" sein können. Er ist also in starkem Maße inhomogen und dient v.a. der Modellierung und Strukturierung der Probleme.

2. Mathematische Darstellung und die geowissenschaftliche Einordnung

Als Meßgröße wird die Größe $\xi(x, \lambda, t)$ erfaßt, deren funktionale Abhängigkeit zu den eigentlichen umweltrelevanten Größen $\hat{\xi}$ zu bestimmen ist. Dabei lassen sich insbesondere die Abhängigkeiten gut bestimmen, die einen engen Bezug zur entsprechenden Raumdefinition haben, also sowohl vom Ort und Spektrum abhängen als auch in ihrem zeitlichen Verlauf interessieren.

Durch geeignete **T r a n s f o r m a t i o n e n** T im Raum R lassen sich die allgemeinen Abläufe modellieren und strukturieren. Als wichtigste Transformationen (auch Operatoren genannt) können aus methodischer Sicht Projektionen und Integrationen angesehen werden.

Eine **P r o j e k t i o n** P zeichnet sich dadurch aus, daß gewisse Koordinaten "fest" gehalten werden.

Bspw. ist ein Luftbild eine "Projektion" mit festem Spektralbereich und zu einem bestimmten Zeitpunkt

$$P_{\lambda_0, t_0} \xi = \xi(x, \lambda_0, t_0) = \xi(x)$$

und kann der Schwärzung des Films zugeordnet werden. Genau genommen ist es nicht ein λ_0 , sondern es wirkt die spektrale Charakteristik $f(\lambda, \lambda_0)$ und Belichtungszeit Δt :

$$T_{\lambda_0} \xi = \int \int \xi(x, \lambda, t) f(\lambda, \lambda_0) dt d\lambda .$$

Dieser Operator ist ein I n t e g r a t o r über ein Zeitintervall und gewichtet über das Spektrum.

Wegen dieser Integraldarstellungen ist es möglich, solche Operatoren abstrakt als (reelles) Skalarprodukt $\langle \cdot, \cdot \rangle$ eines Funktionenraumes zu schreiben:

$$T \xi = \langle \xi, f_T \rangle_f .$$

Dabei ist f_T die (normierte) charakteristische Funktion des Operators T , und die zu integrierende Variable f steht für Kombinationen der x, λ und t .

Auch die Projektionsoperatoren - hier als Beispiel P_{λ_0} - lassen sich in obiger Form schreiben:

$$\begin{aligned} P_{\lambda_0} \xi &= \langle \xi(x, \lambda, t), \delta(\lambda - \lambda_0) \rangle_{\lambda} \\ &= \xi(x, \lambda_0, t). \end{aligned}$$

Die zugehörige charakteristische Funktion ist hierbei die DIRACsche δ -Distribution, d.h., es ist

$$P = T_{\lambda_0}$$

Somit sind sowohl analoge (also stetige) als auch digitale (also diskrete) Realisierungen in einem Kalkül beschreibbar.

Diese Betrachtungsweise, die analoge und digitale Daten und Prozesse integriert, ist ein entscheidendes - funktionalanalytisches - Mittel sowohl zur Beschreibung von Prozessen und Abläufen (s.a. /1/) als auch zur Reduktion großer Datenmengen auf wesentliche Informationen (vgl. auch Tabelle 1).

Der Disziplin *Fernerkundung* kann zugeordnet werden, die Größe $\xi(x, \lambda, t)$ zu ermitteln und vorzuverarbeiten. Den Zusammenhang zur umweltspezifischen Größe $\hat{\xi}$ herzustellen, ist dabei die entscheidende Aufgabe, d.h., die funktionale Abhängigkeit von umweltrelevanten und fernerkundungsspezifischen Größen ist zu bestimmen. Daraus ergeben sich dann wiederum Empfehlungen, wie die Wertebereiche \mathcal{X} , \mathcal{A} und \mathcal{T} der Größen x (Lage), λ (Spektrum) und t (Zeit) einzuschränken sind und welche Operatoren definiert werden. Diese Aufgaben sind nur interdisziplinär zwischen Umweltfachleuten und Fernerkundern lösbar.

Der *Photogrammetrie* läßt sich die Geokodierung - also die Zuordnung von Lagekoordinaten zu bildhaft erfaßter Information - in Form einer geometrischen Transformation T_G zuordnen:

$$T_G \xi = \xi(T_G(x), \lambda, t) .$$

Der *Kartographie*, also hier der (karto)graphischen Darstellung thematischer Sachverhalte, kann die Transformation T_K zugeordnet werden, die genau diese Thematik in einer zweidimensionalen Form darstellt:

$$T_K \xi = \xi_{\lambda, t}(x) .$$

Photogrammetrie und Kartographie lassen sich aber nicht so formal trennen, zumal für eine Speicherung und die Nutzung von Geoinformationssystemen die Übergänge fließend sind.

Typisch für G e o wissenschaften scheint zu sein, daß die Lagekoordinaten x in der Regel nicht wegprojiziert werden. Für aggregierte Aussagen ist es dagegen durchaus üblich, den konkreten Lagebezug aufzugeben (bspw. Integration über eine Fläche - vgl. unten aufgeführtes Beispiel und Bild 2).

In der Tabelle 1 werden dominierende Koordinatenrichtungen und denkbare Datenreduktionsraten gegenübergestellt.

Dominierende Koordinatenrichtung	Hauptaufgabe	Reduktionsraten
Lage	geokodierte thematische Information	10^2 ... 10^6 kartographische (Linien-) Darstellung Auswahl geeigneter Punkte räumliche Integration
Spektrum	spektrale Objekterkennung	< 10
Zeit	Monitoring	10 ... 10^2

Tab. 1. Gegenüberstellung von Koordinatenrichtungen und Datenreduktionsraten

An einem B e i s p i e l zur Darstellung von Belastungen soll das o.g. illustriert werden, wobei keine spektrale Charakteristik berücksichtigt wird.

Aus Bild 1 seien

- eine Fabrik (Punkt x_0) und
- die Waldfläche (Fläche G)

ausgewählt.

Die momentane Belastung sei durch die Funktion

$$m(x,t),$$

das zeitliche Verhalten durch

$$f(t)$$

gegeben. Die Zeitfunktion sei

$$\theta_{\Delta}(t) = \begin{cases} \frac{1}{\Delta t} & \text{für } t \in \Delta t \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Als Belastung b im Punkt x ergibt sich dann

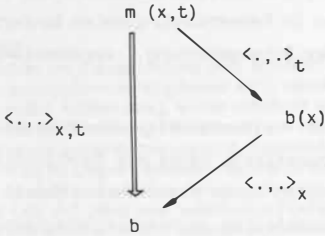
$$b(x) = \int_{\mathcal{J}} m(x,t) f(t) \theta_{\Delta}(t) dt$$

Durch Einsetzen des Punktes x_0 erhält man $b(x_0)$ als die Belastung am Fabrikstandort und durch Integration über die Fläche G die Belastung der Waldfläche

$$b_G = \int_{\mathcal{X}} b(x) \theta_G(x) dx$$

Dabei ist θ_G die normierte charakteristische Funktion der Fläche G.

Folgendes Schema verdeutlicht die Integrationen:



Im Bild 2 ist die Belastung in Form von Linien gleicher Belastung (Bild a) bzw. abgeleitet für Fabrik und Waldfläche als Kartogramm (Bild b) dargestellt.

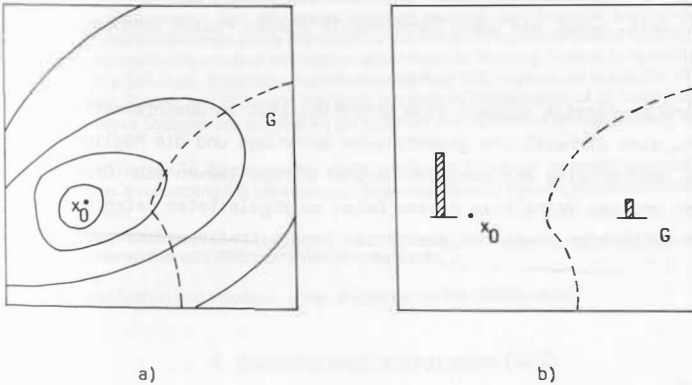


Bild 2. Kartographische Darstellung thematischer Sachverhalte

- a) Linien gleicher Belastung
- b) Kartogramme

3. Zusammenfassung

Ausgehend von einer Modellierung der Umweltproblematik, die auf der Widerspiegelung von Umweltparametern in Fernerkundungsdaten basiert, müssen thematische funktionale Modelle der Datengewinnung, -verarbeitung und -präsentation aufgestellt werden.

Dazu müssen geeignete Operatoren - einschließlich der charakterischen Funktionen - und entsprechende mathematische Räume mit funktionalanalytischen Mitteln definiert werden. Aus solch einem funktionalen Modell lassen sich Schwerpunkte der Datenreduktion ableiten, sinnvolle Datensammlungen konzipieren und geeignete Referenz- und Meßpunkte vorschlagen.

Datenreduktionen bzgl. der Lagekoordinaten sind von entscheidender Bedeutung und reichen von flächenhaft verfügbaren thematischen Informationen, die in Informationssystemen abgelegt werden, bis zu wenigen Punkten (u.a. für Entscheidungsparameter). Einschränkungen auf ausreichend viele Spektralkanäle sowie ausgewählte Zeitpunkte orientieren auf konkrete Anwendungsfälle. Ein entscheidendes Mittel der Datenreduktion ist die Integration über Raum und Zeit, wobei die Umweltproblematik diesen Prozeß optimiert und steuert.

Solch eine Systematik sichert eine Kompatibilität zu Geoinformationssystemen, d.h., eine einheitliche geometrische Grundlage und die Möglichkeit, thematische Sachverhalte einzuordnen. Darüber hinaus lassen sich Originaldaten einsparen und das Verhältnis dieser Daten zu abgeleiteten Daten und Informationen optimieren sowie repräsentative Langzeitreferenzdaten auswählen.

Literatur

/1/ Proß E.

Digitale Komponenten von Fernerkundung, Photogrammetrie und Kartographie innerhalb der Geoinformatik sowie deren Beschreibung durch funktionalanalytische Mittel und Methoden. Habilitationsschrift, Dresden 1991

Aspekte der Integration von Fernerkundungsdaten in Geoinformationssysteme

Jürgen Schulz

Institut für Kosmosforschung Berlin

Zusammenfassung

Die anerkannten Vorteile der Fernerkundung (FE) schlagen sich nur ungenügend in der Nutzung von FE-Daten als Input von Geoinformationssystemen (GIS) nieder. Die Gründe dafür sind vielfältig (technologischer Entwicklungsstand, Kosten usw.), wobei auffallend wissenschaftsinformativische Aspekte kaum Berücksichtigung finden. Die Beachtung der Unterschiede zwischen semantischer und syntaktischer Informationsverarbeitung ist von großer Bedeutung für die Gestaltung der Schnittstelle zwischen FE-System und GIS. Nur die Rückführung der Output-Information des FE-Systems auf ihre syntaktischen Strukturen erlaubt die Nutzung als GIS-Input. Insbesondere der Trend zu Echtzeit-GIS erfordert eine automatisierte Verknüpfung von FE-System und GIS und damit eine vollständige Formalisierung aller Input-Informationen für GIS. Bildanalyse-Systeme sind geeignet für eine optimale Aufbereitung der FE-Daten für den GIS-Input. Anhand einer kombinatorischen Auswertung von SPOT- und KFA-Daten bezüglich eines Testgebietes in Thüringen können wichtige Funktionen eines Bildanalyse-Systems als Bindeglied zwischen Geodaten aus der FE und formalisierten Input-Daten für GIS gezeigt werden. Dazu gehören u.a.

- geometrische Transformation mit unterschiedlichem Resampling,
- Image Merging,
- überwachte Klassifikation und Einfluß der geometrischen Transformation auf das Klassifikationsverhalten.

Abstract

The advantages of Remote Sensing are not reflected by the use of Remote Sensing data as an input for GIS. The reasons are variously (technological level, costs, ...), but striking scientific-informatic reasons are barely taken into consideration. The differences between semantic and syntactic information processing should find more attention because this is important for the design of the interaction of Remote Sensing and GIS. Only the substitution of the output information of the Remote Sensing System to its syntactic structure permits its use as a GIS input. Especially the trend to real-time GIS requires an automatic interconnection of Remote Sensing System and GIS - and therefore a complete formalisation of all input information for a GIS. - Image Analyse Systems are suitable for an optimum preparation of remote sensing data for a GIS input.

By analysing SPOT and KFA data regarding a test polygon in Thuringia essential functions of an Image Analyse System as a connecting link between geo-data from Remote Sensing and formalised input data for GIS could be shown.

Among other things these are

- geometric transformation with different resampling methods,
- image merging,
- supervised classification and influence of transformation on the classification.

1. Geoinformationssysteme (GIS)

Ein GIS stellt die Gesamtheit der Elemente eines rechnergestützten Systems zur Verarbeitung von Geodaten (räumliche Daten und deren nichträumliche Attribute) aus unterschiedlichen Quellen dar, das auf der Basis einer einheitlichen räumlichen Bezugsgrundlage Informationen für einen breiten Nutzerkreis in Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung liefert.

Bisher hauptsächlich analog in Form von Karten und Bildern zur Verfügung stehende Informationen werden nunmehr durch weitere Informationen ergänzt und mit Hilfe der

Rechentechnik digital erfaßt und gespeichert, analysiert und verarbeitet sowie dargestellt. Die Zweckbestimmung von GIS besteht darin, große Mengen räumlicher Daten zu akzeptieren, welche von einer Vielzahl von Datenquellen (einschl. der Fernerkundung) abgeleitet wurden.

Es wäre jedoch falsch, jede Sammlung von räumlichen Daten bereits als ein GIS zu bezeichnen. GIS unterscheiden sich ja gerade dadurch von Datenbanken zur Speicherung räumlicher Daten, indem sie Daten der verschiedensten Quellen integrieren und kombinieren und so Aussagen mit größerem Informationsgehalt für breite Nutzerkreise bereitstellen. Insofern steht auch die Vorsilbe "geo" in GIS nicht nur für geographisch, sondern ebenso für geologisch, geo-ökologisch, geo-hydrologisch, geo-ökonomisch usw. GIS unterscheiden sich also von den weitverbreiteten Informationssystemen für Management oder statistische Aufgaben, daß sie sowohl die nicht-räumlichen merkmalsbeschreibenden Daten (Attribute der räumlichen Merkmale) als auch die Lage der Merkmale im Raum und die topografischen Beziehungen zwischen den Merkmalen speichern und verarbeiten.

Die Mehrheit der existierenden GIS basiert auf der Digitalisierung von Karten und ist deshalb vektororientiert. Gründe dafür sind die historische Entwicklung und die platzsparenden Speichermöglichkeiten von Vektordaten. Die Entwicklung von rasterorientierten GIS erfuhr ihre stärksten Impulse durch die Notwendigkeit der Auswertung von Satellitenbilddaten. Neueste GIS-Entwicklungen sind in der Lage, sowohl Raster- als auch Vektordaten als Input zu akzeptieren. Die scharfe Trennung zwischen den beiden Systemtypen hebt sich zunehmend auf; die Annäherung von vektor- und rasterorientierten Systemen führt zu hybridengrafischen Systemen, in denen Vektor-, Sach- und Rasterdaten simultan gespeichert und analysiert werden (siehe auch Interface zur Verbindung der Systeme ERDAS und ARC/INFO).

2. Fernerkundung der Erde

Die immer stärkere Nutzung natürlicher Ressourcen, der notwendige Umweltschutz, die immer intensiveren Wechselbeziehungen zwischen Mensch und Natur erfordern zahlreiche lokale, regionale und globale Informationen komplexen Charakters. Bei ihrer Gewinnung und Verarbeitung leisten die Mittel und Methoden der aerokosmischen Fernerkundung (FE) der Erde nicht nur eine wertvolle Hilfe, sondern erweisen sich oftmals als die rationellsten und ökonomisch vorteilhaftesten. Sie geben Aufschluß über den Zustand und die Vorgänge im Territorium, über natürliche Ressourcen sowie über den Zustand der natürlichen bzw. durch menschliche Tätigkeit beeinflussten Umwelt. Für viele Aufgaben können mit den Methoden der FE-Informationen auf sehr produktive (große Flächen in geringen Zeiträumen), auf sehr flexible (bzgl. Territorium und Datenart) und auf sehr ökonomische (Kosten pro qkm) Weise gewonnen werden. Daraus leitet sich die hohe gesellschaftliche Relevanz des gesamten Prozesses der FE der Erde ab.

Generell stellt die FE jedoch eine Ergänzung und keineswegs die Ablösung der traditionellen Methoden der Informationsgewinnung über die Erdoberfläche dar. Ihre Vorteile kommen nur mittelbar durch die effektivere Erstellung von Kartenmaterial und vor allem durch schnelle Aktualisierung digitaler territorialer Informationssysteme zum Tragen. Volkswirtschaftlich effektiv sind FE-Daten erst bei wiederholter Datengewinnung (Monitoring-Prinzip), bei Kombination mit geeigneten konventionell gewonnenen Daten einschließlich vorhandener Karten sowie bei einer möglichst komplexen Nutzung für großflächige und zentralisierbare Lösungen. Speziell der entscheidende Vorteil der FE, Informationen schnell und flächendeckend zu liefern, kann nur in Verbindung mit herkömmlichen schnellen Informationssystemen wirksam werden. Hauptsächlich muß das Ziel der FE also darin

liegen, einen Beitrag zum Aufbau territorialer Informationssysteme auf der Basis moderner Informations- und Kommunikationstechnologien zu liefern bzw. ihre Daten in solche Systeme zu integrieren.

Der internationale Entwicklungsstand ist durch den beginnenden Übergang der FE von der Forschungs- und Entwicklungsphase zu ihrer Routinenutzung bei der Lösung von konkreten Forschungs- und Produktionsaufgaben, durch Kommerzialisierung der Datenbereitstellung und -nutzung sowie durch die Entwicklung integrierter Technologien in den Anwenderbereichen gekennzeichnet.

Aus der Vielzahl der geplanten Systeme seien nur vermerkt:

- Europa: SPOT-3,4; ERS-1,2; MOMS-02;...
- USA: Landsat-6; NOAA-I...M; ATLAS-1...5; TOPEX;...
- Japan: MOS; JERS-1; ADEOS;...
- Kanada: RADARSAT;...
- Sowjetunion: Priroda-Module; Ressorce-F; ALMAS-2;...

Damit soll vermittelt werden, daß der Nutzer zukünftig noch verstärkt mit sehr vielen Aufnahmesystemen mit unterschiedlichen Parametern konfrontiert wird, und er somit vor dem Problem

- der Suche nach den optimalen FE-Daten für seine Aufgabenstellung,
- der Beherrschung der Datenflut und
- der Vergleichbarkeit und Kompatibilität der verschiedenen angebotenen FE-Daten steht.

Wenn diese Daten nicht nur in großen Datenbanken gespeichert, sondern auch effektiv ausgewertet und genutzt werden sollen, bedarf es dazu wirksamer Instrumentarien zur Informationsextraktion und zur Verknüpfung dieser Informationen in bestehenden Systemen.

3. Integration von FE-Daten in GIS

Eine Hauptcharakteristik von FE-Systemen ist, daß sie sehr große Mengen räumlicher Daten produzieren. Die effektive Nutzung dieser großen Datenmengen hängt von der Existenz eines wirksamen Speicher- und Verarbeitungssystems ab, welches die Transformation der Daten in nutzbringende Informationen unterstützt. Ein derartiges System zur Verwaltung und Analyse räumlicher Massendaten ist ein oben beschriebenes GIS.

Die Vorteile der Einbeziehung von FE-Daten in GIS bestehen vor allem in folgendem:

1. FE-Daten garantieren sowohl die ständige Aktualisierung der Datenbasis eines GIS als auch aufgrund des Wiederholungscharakters der FE ebenso die Möglichkeit der temporären Analyse für die Ueberwachung der Naturressourcen.
2. Mit Hilfe von FE-Daten lassen sich neben Veränderungen auch fehlende Merkmale bzw. Fehler in der aktuellen Datenbasis erkennen und modifizieren.
3. FE-Daten repräsentieren eine potentielle Quelle neuer Datenelemente mit hohem Informationsgehalt (geometrisch, radiometrisch, spektral). Darüberhinaus lassen sich einige Informationen (Biomasse, Bodenfeuchte, geologische Strukturen,...) flächendekend ausschließlich mit Hilfe der FE gewinnen.
4. Die Nutzung von FE-Daten als Mittel und Träger der interaktiven Arbeitsweise im GIS erleichtert dem Bearbeiter oftmals die Anwendung, da das menschliche Auge einem farbigen Bild (Naturfarbe, Falschfarbe, Klassifikationsergebnis) weit mehr Informationen entnehmen kann als einer Karte.
5. Die sehr guten geometrischen Eigenschaften der über Satellitensensoren gewonnenen Rasterdaten befördern ihre Nutzung als Referenzsystem bei Anwendungen wie GIS.

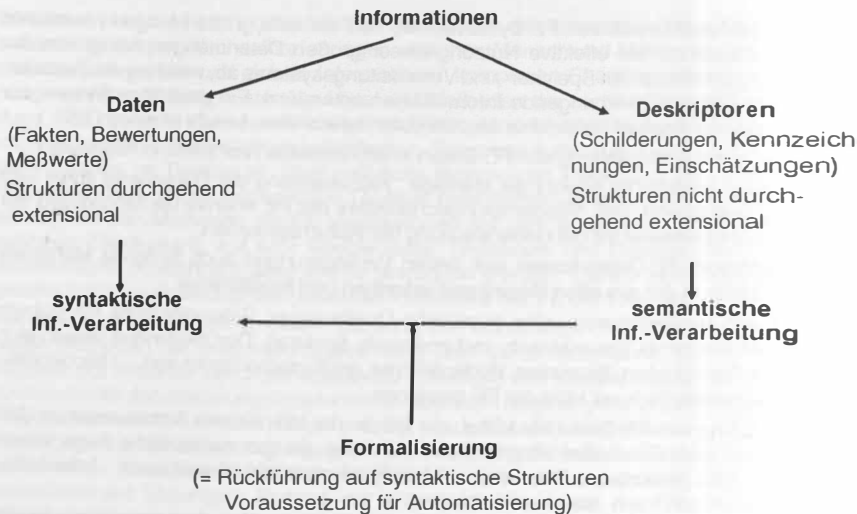
Eine Analyse des internationalen Entwicklungsstandes von GIS und der Einbeziehung von FE-Daten erbringt eine offensichtliche Diskrepanz zwischen den allgemein anerkannten Vorteilen der Einbeziehung von FE-Daten in GIS und der fehlenden praktischen Umsetzung dieser Erkenntnis.

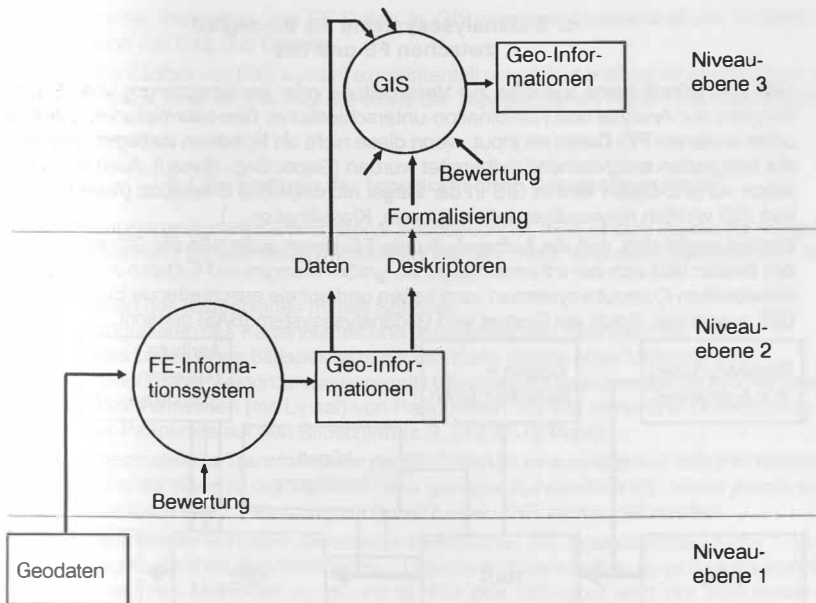
Die Mehrzahl der existierenden GIS verwendet Karten als Primärquelle (und ist deshalb vektororientiert). Dieser historisch gewachsene Zustand ist durch objektive und subjektive Faktoren hervorgebracht worden, zu denen neben dem technisch- technologische Entwicklungsstand der FE, den unvollkommenen staatlichen Organisationsformen, der Unwissenheit der Anwenderbereiche und den hohen Kosten ebenfalls wissenschaftsinformatische Gründe, wie die Nichtbeachtung der Gesetzmäßigkeiten von semantischer und syntaktischer Informationsverarbeitung, gehören.

4. Wissenschaftsinformatische Aspekte

Die Unterschiede zwischen syntaktischer und semantischer Informationsverarbeitung haben bisher bei Untersuchungen zur Einbeziehung von DFE in GIS kaum Beachtung gefunden. Ein entscheidender Mangel liegt mit darin, die FE ausschließlich als Methode der Datengewinnung zu betrachten. Dies würde eine unzulässige Reduktion der FE als Lieferant reiner Meßwerte bedeuten. Die FE muß jedoch betrachtet werden als komplexer informationstechnischer Prozeß von der Messung der elektro- magnetischen Strahlung des Objektes bis zum Veredlungssegment, in welchem durch Interpretation und Darstellung nutzbare Informationen entstehen. Damit ist die FE eindeutig als Informationssystem definiert.

Ein hoher Anteil an interaktiver Arbeit führt im Ergebnis zur Belegung der DFE (Geodaten) mit Semantik, d.h. zu Geoinformationen (Daten und Deskriptoren). Auch weitestgehend automatisch ablaufende Verarbeitungsoperationen innerhalb eines FE-Inforna-





tionssystemen, wie die unüberwachte Klassifizierung, erfordern eine Interpretation der Ergebnisdaten durch den Bearbeiter. Die Darstellung des Ergebnisses erfolgt meist durch farbliche Kennzeichnung, Hervorhebungen im FE-Bild, Beschriftungen, Legenden. Der Output eines FE-Informationssystems in Form eines klassifizierten Bildes mit Legende ist als Input für ein GIS nicht unmittelbar verwendbar, wenn die Legende nur durch den Interpretator "lesbar" ist. Darum ist es erforderlich, die Verantwortung für diesen Formalisierungsprozeß exakt zu definieren. Es muß eine eindeutige Zuordnung der Rückführung der Geoinformationen, die aus dem FE-System gewonnen wurden, auf ihre syntaktischen Strukturen entweder zum FE-Informationssystem oder zum GIS erfolgen.

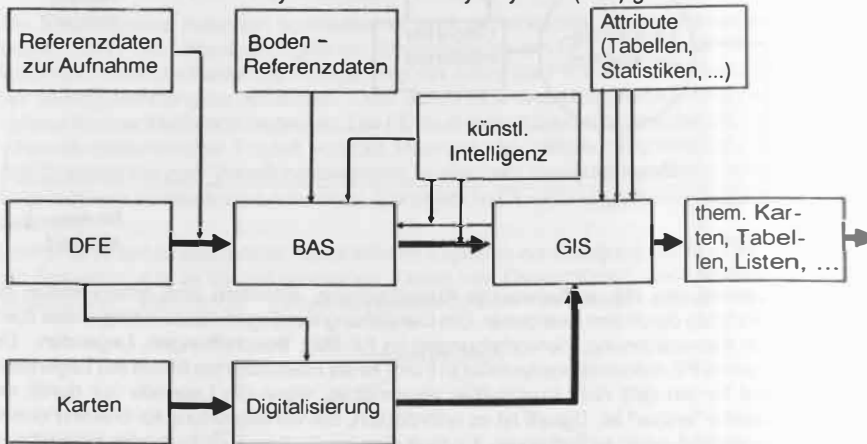
Die Gestaltung der Schnittstelle zwischen FE-System und GIS erweist sich unter wissenschaftsinformatischen Aspekten vor allem als Problem der zielgerichteten Verarbeitung (Formalisierung) der Resultate des FE-Systems.

Die Verfügbarkeit von FE-Daten erweist sich für eine Automatisierung von GIS als notwendige Voraussetzung. Die Tendenz zu Echtzeit-GIS bedingt nicht nur eine kontinuierliche und aktuelle Verfügbarkeit der Eingangsdaten, sondern eine weitgehende Verdrängung des Menschen aus dem informationsverarbeitenden Prozeß (Verdrängung der semantischen Informationsverarbeitung zugunsten der syntaktischen Informationsverarbeitung, d.h. Formalisierung menschlicher Operationen). Das wird unterstützt, indem den GIS durch die FE ausschließlich syntaktisch strukturierte Informationen zur Verfügung gestellt werden. Dadurch erhöht sich der vom Informationsprozeß abgespaltene formalisierte Anteil, der einer Automatisierung zugänglich ist.

5. Bildanalyseysteme als Bindeglied zwischen FE und GIS

GIS sind primär keine Systeme zur Verarbeitung oder gar Speicherung von FE-Daten, sondern zur Analyse und Kombination unterschiedlicher Geo-Informationen. Sie nutzen unter anderem FE-Daten als Input, wenn diese nicht als Rohdaten vorliegen, sondern für die Integration entsprechend aufbereitet wurden (Geocoding-Niveau). Auch die Interpretation von FE-Daten wird in GIS in der Regel nicht speziell unterstützt (Auswahl der für das GIS wirklich notwendigen Informationen, Klassifikation,...).

Daraus ergibt sich, daß die Aufbereitung der FE-Daten außerhalb der GIS erfolgen muß. Am besten läßt sich der Informationsgehalt großer Mengen an FE-Daten in speziell dafür entwickelten Computersystemen verarbeiten und auf die anschließende Einbeziehung in GIS ausrichten. Solch ein System wird Bildanalyse-System (BAS) genannt.



Größe und Verarbeitungsmöglichkeit des BAS richten sich in erster Linie nach den Forderungen des zu versorgenden GIS. Aufgrund der beträchtlichen finanziellen Aufwendungen für den Aufbau eines BAS ist ein zentraler Aufbau zur Versorgung mehrerer GIS angebracht.

Trotz unterschiedlich weitem Ausbau gibt es doch einige Mindestanforderungen, denen alle BAS genügen müssen:

- Datenaufnahme (CCT) bzw. Digitalisierung analoger FE-Daten,
- radiometrische und geometrische Vorverarbeitung,
- BV-Operationen (Filterungen, Hauptachsentransformation,...) für spezielle Merkmalsextraktionen,
- Geocoding,
- Merging,
- Klassifizierung,
- Raster-Vektor-Wandlung.

Durch die Herausbildung von BAS (zentral, gesamtstaatlich initiiert/gefördert aufgrund der enormen materiellen und finanziellen und personellen Aufwendungen) stellt sich da

Problem der Integration von FE-Daten in GIS nunmehr zunehmend als Problem der Integration von BAS und GIS dar.

Einige Funktionen von BAS wurden experimentell unter Verwendung einer multispektralen SPOT-Szene, einer KFA-Aufnahme sowie der Topografischen Karte 1:50.000 dargestellt:

5.1 Herstellung der topografischen Bezugsgrundlage

Nachdem das geeignete Kartenmaterial ausgesucht ist, muß es zum Zweck der Vergleichbarkeit mit den FE-Rasterdaten digitalisiert werden. Dafür sind mehrere Methoden denkbar, z.B.

- a) Abtasten des Kartenblattes mittels Scanner,
- b) Abfotografieren des Kartenblattes und anschließendes Scannen des Films,
- c) direktes Laden eines Bildspeichers mit der Karte mittels einer Videokamera,
- d) Herstellung einer Vektordatenmenge mit Hilfe eines entsprechenden Digitalisiergerätes,
- e) direktes Vermessen (mit Lineal) von Paßpunkten aus der Karte und Umrechnung der Lage der Paßpunkte auf den Bildschirm (z.B. 512 x 512 Pixel).

Für die geometrische Transformation der FE-Daten ist es ausreichend, lediglich bestimmte Paßpunkte der Karte zu digitalisieren (sehr geringer Aufwand mit e)) - meist jedoch sollen die Kartenmerkmale zur Nutzung als Schicht eines GIS verwendet werden.

Generell erweisen sich aber die vielen Informationen der topografischen Karte 1:50.000 (Höhenlinien, Zeichen, Beschriftungen,...) als störend beim Aufbau einer Bezugsgrundlage für GIS mit den Methoden a), b) und c). Für den GIS-Input wird nur eine bestimmte Untermenge aller Karteninformationen benötigt; für die Herstellung der topografischen Bezugsgrundlage sind das vor allem wesentliche Merkmale wie Straßen, Schienenwege, Flußläufe sowie u.U. deren gemeinsame Schnittpunkte, die dann in FE-Daten wiedererkannt werden und als Paßpunkte dienen können.

Ein optimales Ergebnis wurde diesbezüglich durch eine Vektordigitalisierung mittels Digitalisiergerät (HDG) gewonnen, wobei die Koordinaten aller Merkmale in Gauß-Krüger-Koordinaten transformiert sind.

Mit dieser Methode ist erreicht worden, daß sowohl ein Gauß-Krüger-kordinatenbezogenes Paßpunkt-Netz zur späteren Transformation von FE-Daten auf diese Bezugsgrundlage als auch eine Gauß-Krüger-kordinatenbezogene Darstellung aller interessierenden linearen Merkmale zur Schichtenbildung in GIS entstand. Durch den Bezug auf die Gauß-Krüger-Koordinaten ist jederzeit die Erweiterung des Testgebietes, die Ergänzung weiterer Merkmale und der Vergleich der Kombination mit weiteren Gebieten möglich.

5.2 Image Mapping

Die Einbeziehung von FE-Daten in GIS erfordert die Verbindung der FE-Daten mit einer topografischen Bezugsgrundlage. Als mathematische Grundlage erweist sich die (lineare) geometrische Transformation für die meisten Anwendungsfälle als ausreichend. Für die nachfolgende Neuordnung der Pixelgrauwerte (Resampling) gibt es mehrere Möglichkeiten: hauptsächlich die Methoden der Nächsten Nachbarschaft, der Bipolaren Interpolation und der Kubischen Faltung. Kanal 3 der SPOT-Aufnahme des Testgebietes verdeutlicht den Vergleich der beiden erstgenannten Resamplingmethoden.

Sichtbare Unterschiede lassen sich nicht auf dem 20m- Auflösungs-niveau, sondern erst bei einer Vergrößerung der beiden unterschiedlich transformierten Bilder erkennen. Beim Vergleich beider ist deutlich zu sehen, daß insbesondere die Konturengrenzen bei

der Bipolaren Interpolation schärfer gezeichnet sind und die linearen Merkmale dadurch besser hervortreten. Innerhalb der Strukturen ist dagegen ein gewisser Glättungseffekt zu beobachten, der in den Kanälen 1 und 2 sogar noch auffälliger ist. Ein stichprobenartiger Vergleich der Anzahlen der neuentstandenen Grauwerte zeigt vernachlässigbare Unterschiede zwischen beiden Resamplingmethoden:

Grauwert	Original	Nächste Nachbarschaft	Bipolare Interpolation
0	0	512	512
30	131	86	88
50	4420	3483	3406
80	2306	1784	1758
255	0	57802	57730

Somit ist zu erkennen, daß ein Resampling Bipolarer Interpolation für die geometrische Transformation nichtklassifizierter FE-Daten besser geeignet ist als ein Resampling Nächster Nachbarschaft, weil die Begrenzungen zwischen unterschiedlichen Merkmalen besser erhalten bleiben (das Bild visuell schärfer erscheint) und ebenfalls für eine Weiterverarbeitung (Image Merging, Merkmalsextraktion, GIS-Input,...) günstiger zu verwenden ist.

5.3 Image Merging

Bei der Integration unterschiedlicher FE-Daten wird dasjenige Bild mit der besten Geometrie ausgewählt, geocodiert und anschließend als Referenz-Layer genutzt, auf die sich alle weiteren Datenmengen beziehen. Die dabei verwendbaren wichtigsten Methoden sind

- arithmetische und logische Operationen,
- Bandersetzung,
- Hauptkomponentenanalyse,
- Farbtransformation.

Beispiel 1: Subtraktion des K3 von SPOT von der KFA-Aufnahme

Gegenüber den Ausgangsdaten werden im Verknüpfungsbild sowohl der genaue Verlauf des Flusses (ursprünglich in SPOT schlecht, in KFA gut) als auch die Differenzierungen innerhalb von Grünflächen (ursprünglich in SPOT gut, in KFA schlecht) sichtbar.

Beispiel 2: Mischbild aus SPOT-K1 (grün), SPOT-K3 (rot) und KFA (blau)

Die Mischbilderzeugung durch Ersetzen eines der SPOT-Kanäle durch das KFA-Bild (570-670 nm) erbringt beim roten Kanal erwartungsgemäß ein unbrauchbares Ergebnis. Obwohl 75 % des Wellenlängenbereiches des KFA-Bildes mit dem grünen SPOT-K2 (610-680 nm) übereinstimmen, erbringt auch das Einbringen in den grünen Kanal unbrauchbare Ergebnisse. Lediglich das Ersetzen des blauen Kanals durch die KFA-Aufnahme zeigt interessante Resultate, wenn SPOT-K1 mit dem grünen und SPOT-K3 mit dem roten Kanal belegt werden und kann so als Ausgangspunkt für eine thematische Interpretation dienen.

Beispiel 3: Hauptkomponententransformation von SPOT und KFA (erste HK)

Eine Hauptkomponentenanalyse der drei SPOT-Kanäle unter Hinzuziehung der KFA-Aufnahme (20m-Auflösungsniveau, KFA transformiert auf SPOT) ergibt eine Konzentration der Informationen von 79,7 % in der ersten Komponente bzw. von 93,8 % in den ersten beiden Komponenten. Vergleicht man das Ergebnis mit der ersten Hauptkomponente, gewonnen nur aus den 3 SPOT-Kanälen, sind bei der Einbeziehung von KFA einige v. a. lineare Merkmale besser oder überhaupt erst zu erkennen. Besonders Wasserflächen (Fluß, See; braun) treten gut hervor. Waldgebiete sowie Strukturen innerhalb dieser Gebiete sind besonders auffällig. Dabei bedeuten die bräunlichen Anteile Nadelwald, die

gelben und z.T. die grünen Anteile Laubwald, was allerdings nur durch eine Begehung zu verifizieren ist. Insgesamt wird das Integrationsbild doch relativ stark vom KFA-Bild dominiert.

Zusammenfassend zum Image Merging sollte unter der Aufgabenstellung der Einbeziehung beider Aufnahmen in ein GIS die parallele Entnahme von Informationen (getrennt aus beiden Systemen) vorherrschen; nur wenn durch die Kombination neue Informationen abgeleitet werden können, sollte eine solche auch durchgeführt werden.

5.4 Image Registration

Zur Kombination von FE-Daten mit großem unterschiedlichem Auflösungsvermögen sollten beide Datenmengen zuerst auf ungefähr dieselbe Pixelgröße gebracht werden, die Blocky-Strukturen des vergrößerten multispektralen Bildes durch Tiefpaßfilter geglättet werden und dann transformiert werden.

Die Registratur eines KFA- auf ein SPOT-Bild erbringt bei 20m- Auflösungs niveau eine Abweichung des KFA-Systems von der Orthogonalität des SPOT-Systems von $90,56^{\circ}$; die Maßstabsfaktoren betragen $S_x = 1,11$ und $S_y = 1,14$.

Die geometrische Übereinstimmung des KFA-Bildes mit dem SPOT-Bild ist sehr zufriedenstellend, allerdings hat diese Art der Transformation wenig praktische Relevanz: Das Auflösungsvermögen des KFA-Bildes wurde ja künstlich von 5 auf 20m verschlechtert und somit sind bei einer Kombination mit SPOT keine zusätzlichen Informationen zu erwarten. Ein Vergleich beider Systeme auf der Basis des 10m-AV, d.h. bei einer künstlichen Verschlechterung des Auflösungsvermögens von KFA und einer künstlichen Verbesserung des Auflösungsvermögens von SPOT jeweils auf 10m, erbringt bei Nutzung der oben gefundenen Transformationsparameter eine schlechte geometrische Übereinstimmung der Bildquadranten.

Eine (allerdings aufwendige) Methode zur Verbesserung besteht in einer mehrfachen Wiederholung der Transformation (Bestimmung neuer Paßpunkte im transformierten Bild!) durch iterative Annäherung an eine optimale Übereinstimmung. Eine derartige Iteration auf 10m-Auflösungsniveau zeigt eine hohe Übereinstimmung; bereits eine zusätzliche Transformation im Anschluß an die Transformation mit den Gesamtbildparametern ist für eine optimale Registratur des KFA-Quadranten auf den SPOT- Quadranten ausreichend: $\alpha = 90,066^{\circ}$; $S_x = 0,998$; $S_y = 0,984$

Eine Einzeltransformation der entstandenen 4 SPOT- und KFA- Quadranten bei 10m-Auflösungsniveau erbringt eine hohe Übereinstimmung der einzelnen zueinandergehörigen Quadranten; allerdings können so nur einzelne Quadranten (in diesem Falle ca. 5km x 5km) unabhängig voneinander betrachtet werden - ein Zusammensetzen zu einem Gesamtbild ist nicht mehr möglich aufgrund der unterschiedlichen Transformationen:

	1.Quadrant	2.Quadrant	3.Quadrant	4.Quadrant
alpha ($^{\circ}$)	89,730	89,684	90,094	90,217
S_x	1,105	1,122	1,113	1,106
S_y	1,095	1,101	1,119	1,108

Bei der Transformation auf 5m-Auflösungsniveau wird ein Ergebnis erreicht, bei dem die gute geometrische Auflösung der KFA optimal genutzt wird und bei dem die spektralen Informationen von SPOT in ihrer Aussage unverändert erhalten bleiben (allerdings separate Betrachtung von 16 einzelnen $2,5 \times 2,5 \text{ km}^2$ großen Teilgebieten).

Die Unmöglichkeit der Rückführung zu einem Gesamtbild ist aber nicht notwendigerweise ein Nachteil, insbesondere dann, wenn nur ein bestimmter Teil des Testgebietes von Interesse ist. Ansonsten ist die Transformation auf der Basis des interessierenden

Gesamtgebietes sowie des schlechteren Auflösungsvermögens (hier 20m) durchzuführen und anschließend durch Iterationen zu optimieren.

5.5 Beziehungen zwischen Transformation und Klassifikation

FE-Daten können nicht in Ihrer Rohform (Geodaten) in GIS eingebunden werden. Sie werden akzeptiert in entsprechend der topografischen Bezugsgrundlage des GIS transformierter Form und in weitestgehend interpretierter (z.B. klassifizierter) Form. Eine diesbezüglich relevante Fragestellung ist

A - Werden bereits klassifizierte Bilddaten durch nachfolgende geometrische Transformation in ihrer Aussage verfälscht? Welchen Einfluß haben dabei unterschiedliche Resamplingmethoden?

B - Führt eine geometrische Transformation nach der Klassifikation zum selben Ergebnis wie eine geometrische Transformation vor der Klassifikation? Welchen Einfluß haben dabei unterschiedliche Resamplingmethoden?

Untersuchungen anhand einer klassifizierten SPOT-Szene führten zu folgender Tabelle der prozentualen Anteile der 7 festgelegten Klassen am Gesamtbild bei zwei unterschiedlichen Resampling-Methoden:

Klasse	klassif.	erst klassif.		erst trans.	
	Szene nicht transf.	Res. Nä. Nachbar.	Res. Bip. Interp.	Res. Nä. Nachbar.	Res. Bip. Interp.
0	15,92	16,18	6,69	14,77	18,19
1	9,33	9,50	6,06	9,50	9,47
2	6,60	5,32	3,75	5,29	4,87
3	5,73	5,71	3,43	5,15	4,56
4	40,05	40,41	27,55	36,25	36,85
5	5,66	5,82	3,34	8,89	8,37
6	0,09	0,09	0,17	0,12	0,12
7	16,61	16,96	9,41	20,02	17,57

Um das Klassifikationsergebnis nach der Transformation mit dem Transformationsergebnis nach der Klassifikation vergleichen zu können, müssen

- dieselben 7 Klassen gebildet werden,
- dieselben Etalons genutzt werden (Transformation der 3 Bildkanäle und der Etalons),
- dieselbe Klassifikationsmethode (überwacht, Maximum-Likelihood-Klassifikation) verwendet werden.

Die Ergebnisse zeigen

- Die Transformation klassifizierter Bilder mit Resampling der Nächsten Nachbarschaft erbringt die beste Übereinstimmung mit dem Originalbild (sowohl visuell als auch nach den berechneten Werten).
- Die Transformation klassifizierter Bilder mit Resampling der Bipolaren Interpolation zerstört den Bildinhalt und ist deshalb abzulehnen.
- Die Klassifikation transformierter Bilder (beide Resampling-Arten) ist prinzipiell akzeptabel.

Erfahrungen bei der Herstellung von Satelliten-Bildkarten

JÖRG ALBERTZ und RÜDIGER TAUCH

Technische Universität Berlin
Fachgebiet Photogrammetrie und Kartographie

Zusammenfassung

An der Technischen Universität Berlin ist ein Verfahren zur Herstellung von *Satelliten-Bildkarten* entwickelt und erprobt worden. Zur Aufbereitung der Daten von Fernerkundungssatelliten wird ausschließlich die Digitale Bildverarbeitung eingesetzt. Das entwickelte Software-System umfaßt u.a. die Mosaikbildung aus einzelnen Szenen, die Kombination von Daten verschiedener Sensoren sowie spezielle Techniken zur Verbesserung der Bildwiedergaben. Es wird über einige Erfahrungen bei der Bearbeitung von Bildkarten aus Deutschland und Entwicklungsländern berichtet. Erstmals wurden jetzt photographische Bilder der Kamera KFA-1000 benutzt, um eine Satelliten-Bildkarte von Leipzig im Maßstab 1:50.000 zu erstellen.

Summary

At the Technical University of Berlin a system for the production of *Satellite Image Maps* has been developed and tested. Processing of the satellite image data is fully based on digital image processing. The software system comprises mosaicking of several scenes, merging of data from different sensor systems, special techniques for image enhancement etc. A number of satellite image maps from Germany and developing countries as well have been produced. The authors report on some practical results. Recently also digitized photographs of the KFA-1000 camera were used for the generation of a satellite image map from Leipzig in 1:50,000.

1. Einleitung

Für die Nutzung von Satellitenbildern in der Kartographie kommen grundsätzlich zwei verschiedene Wege in Frage: Einerseits können sie zur Herstellung oder Fortführung von *topographischen und thematischen Karten* dienen, wobei die Informationen ganz oder teilweise aus Satellitenbildern gewonnen und durch den Kartographen in diskreten graphischen Zeichen dargestellt werden. Andererseits ist es möglich, *Satelliten-Bildkarten* herzustellen, welche die Bildform beibehalten und deren Interpretation dem jeweiligen Nutzer überlassen.

Auf die zweite Art von Karten beziehen sich die nachfolgenden Betrachtungen. Selbstverständlich kommen auch alle möglichen Zwischenstufen in Frage, in denen bildhafte Informationen mit graphischen Zeichen kombiniert werden.

Von den vielen Satelliten-Sensorsystemen, die der Erdbeobachtung dienen, eignen sich nur wenige für kartographische Zwecke. In der vorliegenden Arbeit wird das System *Topographic Mapper* (TM) der amerikanischen

LANDSAT-Satelliten und die beiden Systeme *High Resolution Visible* (HRV) des französischen Satelliten SPOT (*Système Probatoire de l'Observation de la Terre*) sowie die photographischen Bilder der sowjetischen Kamera KFA-1000. Eine Übersicht über die wichtigsten Daten dieser Systeme gibt die Tabelle 1. Ausführliche Erläuterungen der Aufnahmetechniken enthalten die Lehrbücher der Fernerkundung (z.B. CURRAN 1985, KRONBERG 1985, KRAUS & SCHNEIDER 1988, ALBERTZ 1991).

Tabelle 1: Sensor-Parameter

	LANDSAT 5 Thematic Mapper	SPOT - HRV (multispektral)	SPOT - HRV (panchromatisch)	KFA-1000
Flughöhe	705 km	832 km	832 km	≈ 280 km
Scanner	optomechanisch	optoelektronisch	optoelektronisch	photographisch
Auflösung	30 × 30 m ²	20 × 20 m ²	10 × 10 m ²	≈ 5 × 5 m ²
Bildformat	185 × 185 km ²	60 × 60 km ²	60 × 60 km ²	≈ 80 × 80 km ²
Spektralkanäle	1 0,45-0,52 μm 2 0,52-0,60 μm 3 0,63-0,69 μm 4 0,76-0,90 μm 5 1,55-1,73 μm 6 10,4-12,5 μm* 7 2,08-2,35 μm	1 0,50-0,59 μm 2 0,61-0,68 μm 3 0,79-0,89 μm	0,51-0,73 μm	0,57-0,69 μm 0,68-0,81 μm
	* Die Pixelgröße im Spektralkanal 6 beträgt 120 × 120 m ²			

Beim *Multispectral Scanner* (MSS) der ersten LANDSAT-Satelliten betrug die Auflösung noch rund 80 m. Die so gewonnenen Bilddaten sind hervorragend dazu geeignet, flächenhafte Informationen zu vermitteln; linienhafte Objekte wie Eisenbahnen, Straßen u.ä. können aber in der groben Pixelstruktur praktisch nicht erfaßt werden. Der in den neueren LANDSAT-Satelliten betriebene *Thematic Mapper* (TM) mit 30 m Auflösung bietet schon wesentlich mehr Detailinformation. Die entscheidende Verbesserung bringt aber erst der panchromatische Kanal des SPOT-Satelliten, der bei 10 m Pixelgröße bereits ein detailliertes Bild von topographisch relevanten Objekten vermittelt. Deren Sichtbarkeit hängt jedoch auch von den gegebenen Objekt-contrasten ab und kann nicht allein aus der geometrischen Auflösung hergeleitet werden.

Die LANDSAT-Daten eignen sich nicht zur Bestimmung von Geländehöhen nach photogrammetrischen Methoden. Deshalb wurde im SPOT-Satelliten erstmals ein System-Konzept realisiert, das die Erfassung eines Geländestreifens aus verschiedenen Blickrichtungen und damit die Gewinnung von Stereobildern gestattet. Inzwischen wurde vielfach nachgewiesen, daß derartige Bildpaare zur Herleitung von Digitalen Geländemodellen mit der für mittlere Kartenmaßstäbe erforderlichen Genauigkeit dienen können (z.B. JACOBSEN 1990).

Die ersten Versuche, aus den neuartigen Bilddaten Satelliten-Bildkarten zu gewinnen, setzten schon sehr früh ein (z.B. US Geological Survey 1973). Dabei wurde zunächst nach Verfahren gearbeitet, wie sie aus der Herstellung von Luftbildplänen bekannt waren. Dies konnte aber nur ein erster Schritt sein. Die weitere Entwicklung ist durch die schrittweise Verbesserung der geometrischen Auflösung der Daten und den zunehmenden Einsatz der Digitalen Bildverarbeitung gekennzeichnet. Inzwischen wurde deutlich, daß das in Satelliten-Bilddaten enthaltene Informationspotential nur durch den konsequenten Einsatz der Digitalen Bildverarbeitung voll ausgeschöpft und ein optimales Ergebnis erzielt werden kann.

2. Ein Software-System zur Herstellung von Satelliten-Bildkarten

Aus diesem Grunde wurde im *Fachgebiet Photogrammetrie und Kartographie* der *Technischen Universität Berlin* ein umfassendes Software-System zur Herstellung von Satelliten-Bildkarten konzipiert, das es ermöglicht, die enorme Flexibilität der Digitalen Bildverarbeitung zu nutzen (ALBERTZ u.a. 1987, 1988). Dabei werden die Satelliten-Bilddaten bis zur Erstellung der Originale für den Kartendruck ausschließlich digital bearbeitet. Das Gesamt-System besteht aus einzelnen Komponenten (Abb.1), die ihrerseits wieder eine große Anzahl von Einzel-funktionen umfassen.

2.1 Vorverarbeitung

Zu Beginn sind die an einer Karte beteiligten Bilddaten nach Bedarf einer Reihe von Vorverarbeitungsschritten zu unterziehen. Beispielsweise müssen die Kontraste verstärkt und pixel- oder auch zeilenweise Störungen, welche in der Übertragungskette aufgetreten sind, durch abgeleitete Werte ersetzt werden. Große Bedeutung haben Verfahren zum Eliminieren von Streifenstrukturen, welche in den Bilddaten vor allem durch Restfehler der Sensorkalibrierung entstehen. Andere Vorverarbeitungsschritte können die Beseitigung von geometrischen Systemfehlern betreffen, sofern diese noch nicht von der Empfangsstation korrigiert worden sind.

2.2 Geometrische Mosaikbildung und Entzerrung

Zur Herstellung einer Satelliten-Bildkarte sind die Bilddaten geometrisch auf das Koordinatensystem der geplanten Karte zu entzerren. Da in der Regel mehrere Bilder an einem Kartenblatt beteiligt sind, ist auch eine *geometrische Mosaikbildung* erforderlich. Dazu kommen zwei methodische Ansätze in Frage, nämlich die Entzerrung der einzelnen Bilder aufgrund von Paßpunkten mit anschließender Mosaikbildung oder die gemeinsame Berechnung der Transformationsparameter für alle beteiligten Bildszenen in einer Gesamtausgleichung.

Der zweite Ansatz bietet große praktische Vorteile. Er benötigt weniger Paßpunkte und vermag die hohe geometrische Qualität des Ergebnisses durch die Verwendung der aus der Aero-triangulation bekannten Verknüpfungspunkte sicherzustellen.

Vielfach genügt es, die Entzerrung ohne Berücksichtigung der Geländehöhenunterschiede durchzuführen. In gebirgigen Regionen sind jedoch die Einflüsse des Geländereiefs zu groß. Deshalb wurde das Entzerrungsverfahren um eine Korrektur dieser Einflüsse erweitert. Dazu kann ein z.B. aus Stereo-SPOT-Daten abgeleitetes Digitales Geländemodell dienen.

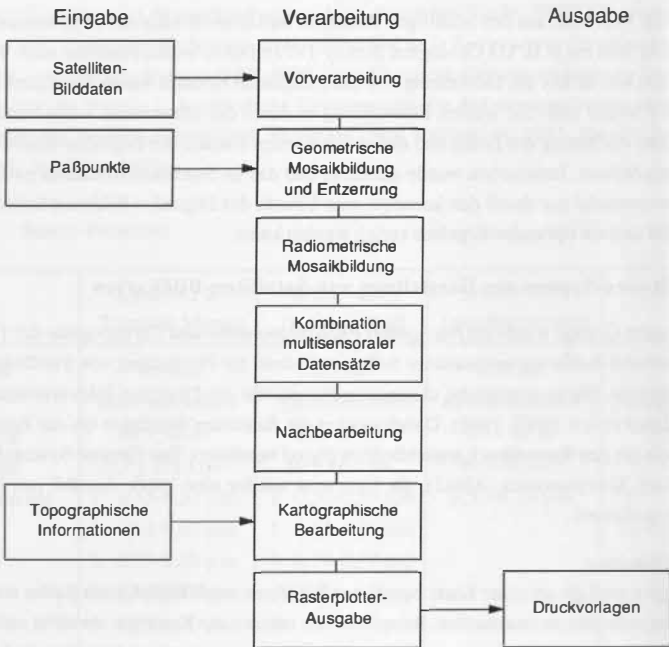


Abb.1: Übersicht über das System zur Herstellung von Satelliten-Bildkarten

Generell darf das Problem der *Paßpunktbestimmung* nicht unterschätzt werden. Als Paßpunkte können nur topographische Objekte dienen, die sich in den Bilddaten identifizieren lassen. In Kulturlandschaften gibt es solche Objekte meist in ausreichender Zahl (Kreuzungen von Verkehrswegen u.ä.) und ihre Koordinaten können z.B. aus topographischen Karten größerer Maßstäbe entnommen werden. Aber in Naturlandschaften (z.B. Wüstenzonen) ist es oft sehr schwierig, geeignete Punkte zu identifizieren und ihre Koordinaten zu bestimmen. Deshalb ist die Verwendung von Verknüpfungspunkten in den Überlappungsbereichen der Bilder und die Verringerung der Paßpunktanzahl besonders für Entwicklungsländer geeignet. Bestimmen kann man diese Punkte entweder manuell durch Identifizieren von Bilddetails am Monitor eines Bildverarbeitungssystems oder automatisch durch Digitale Bildkorrelation.

Jede geometrische Transformation von Bilddaten erfordert die Neuberechnung einer Grauwertmatrix, ein Vorgang, der allgemein als *Resampling* bezeichnet wird. Dabei wird jedem Pixel des Ergebnisbildes ein Grauwert zugeordnet, der aus den Grauwerten des Ausgangsbildes interpoliert werden muß. In der Bildverarbeitung sind hierfür verschiedene Ansätze bekannt, die jeweils gewisse Vor- und Nachteile haben. Für diesen Vorgang ist ein spezielles Verfahren entwickelt worden, das die Originalkontraste weitgehend erhält und eine zu starke Treppenbildung durchgängig von Kulturlandschaften vermeidet (TAUCH & KÄHLER 1988).



Gottscheina

Hohenheida

Merkwitz

Pönitz

Gordemitz

Seegeritz

TAUCHA

Sehlis

Panitzsch

Althen

2.3 Radiometrische Mosaikbildung und Nachbearbeitung

Zwischen den Reflexionseigenschaften der beobachteten Objekte und den Grauwerten in den einzelnen Spektralkanälen besteht kein einfacher Zusammenhang. Es gibt im Gegenteil eine Reihe von Faktoren, die den Aufnahmevorgang stören und dazu führen, daß sich diese Werte zwischen benachbarten Szenen oft stark unterscheiden. Deshalb müssen die Daten von mehreren Szenen durch *radiometrische Mosaikbildung* zu einem homogenen Bild vereinigt werden.

Das hierzu entwickelte Verfahren nutzt wiederum die Mehrfachinformationen, die in den Überlappungsbereichen benachbarter Bilder vorliegen. Es beruht auf den Summen-Histogrammen der Grauwerte identischer Ausschnitte aus benachbarten Bildern und ermittelt aus ihnen in einem Iterationsprozeß ein mittleres Summen-Histogramm der Grauwerte für das Mosaik. Daraus erhält man dann Korrekturtabellen, mit deren Hilfe die Grauwerte der einzelnen Szenen in das Ergebnisbild transformiert werden (KÄHLER 1989).

Nach dieser Transformation sind die redundanten Daten in den Überlappungsbereichen zu eliminieren und die einzelnen Szenen zu einem Gesamtbild zusammenzufügen. Bei der Nachbearbeitung können die Bilddaten für die optimale visuelle Interpretation aufbereitet werden. Besonders wichtig ist die Definition der Farbwiedergabe in der Bildkarte. Sie ist aufgrund von interaktiven Versuchen am Monitor des Bildverarbeitungssystems festzulegen, bleibt aber immer das Ergebnis einer subjektiven Entscheidung. Außerdem ist es zweckmäßig, die Detailwiedergabe in den Bilddaten durch die Anwendung von kantenverstärkenden Filtern zu verbessern.

2.4 Kombination multisensoraler Datensätze

Um den Informationsgehalt von Bildkarten zu steigern, kann es günstig sein, die Vorteile verschiedener Daten miteinander zu verbinden. Dazu bietet sich besonders die Kombination von *panchromatischen SPOT*-Daten, die über eine hohe geometrische Auflösung verfügen, mit den multispektralen Informationen von *Thematic Mapper*-Daten an. In umfangreichen Untersuchungen zeigte sich, daß für die Kombination dieser beiden Datentypen die IHS-Farbraum-Transformation am besten geeignet ist (TAUCH & KÄHLER 1988, ALBERTZ u.a. 1988). Das Prinzip dieser Transformation wird in Abb. 2 schematisch dargestellt.

Normalerweise liegt das ausgewählte TM-Bild in drei Spektralkanälen vor, die den Primärfarben *Rot*, *Grün* und *Blau* (RGB) zugeordnet sind. Diese Farbkomponenten können in den IHS-Farbraum transformiert werden, der durch die Komponenten *Intensität* (I), *Farbton* (H) und *Sättigung* (S) definiert ist. Nach dem Austausch der Intensitätskomponente durch SPOT-Daten mit höherer Auflösung und anschließender Rücktransformation in den RGB-Farbraum erhält man ein verbessertes Bild, das die Vorteile beider Sensorsysteme miteinander verbindet.

Die IHS-Transformation wurde erstmals von HAYDN u.a. 1982 vorgestellt, jedoch für eine andere Zielsetzung. Bei der Anwendung der Methode zur Kombination multisensoraler Datensätze hat sich gezeigt, daß an den im IHS-Farbraum vorliegenden Daten zusätzliche Verarbeitungsschritte durchzuführen sind, bevor eine Rücktransformation in den RGB-Farbraum erfolgen kann. Meist weisen die aus TM berechnete Intensität und das einzusetzende SPOT-Bild

sehr unterschiedliche Histogramme auf. Um die vorhandenen Multispektralinformationen von TM beizubehalten, sind die SPOT-Daten radiometrisch an die TM-Intensität anzugleichen.

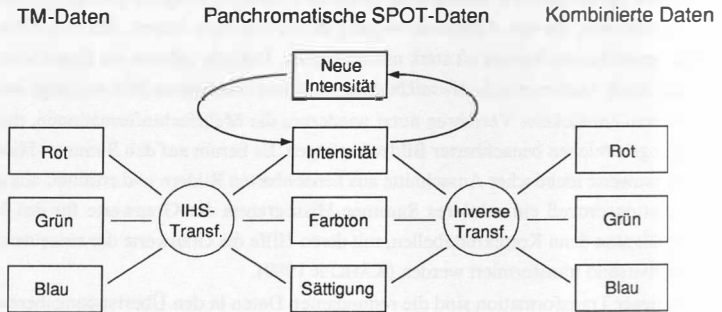


Abb. 2: Kombination multisensoraler Datensätze mittels der IHS-Transformation

Weitere Experimente ergaben, daß bestimmte Farbinformationen der *Thematic Mapper*-Daten nur dann erhalten bleiben, wenn die neue Intensität über eine gewichtete Mittelbildung der TM-Intensität und der radiometrisch angeglichenen SPOT-Daten berechnet wird. Die Auswahl geeigneter Parameter hängt dabei von der Qualität der verwendeten Bilddaten, dem gewünschten Ergebnis und nicht zuletzt von der Erfahrung des Bearbeiters ab. Erst nach der Durchführung dieser Verarbeitungsschritte erfolgt die Rücktransformation in den RGB-Farbraum mittels inverser IHS-Transformation.

Bei sorgfältiger Bearbeitung liefert diese Methode hervorragende Ergebnisse, wobei sowohl die geometrische Auflösung der SPOT-Daten als auch der Informationsgehalt der *Thematic Mapper*-Daten weitestgehend erhalten bleiben. Die Erfahrungen haben aber auch gezeigt, daß bei der Kombination multisensoraler Daten Probleme auftreten können, die die Bildqualität beeinträchtigen. Je nach Ursache können sich verschiedene Auswirkungen auf die Daten ergeben:

- *Unterschiedliche spektrale Auflösung in multisensoralen Daten*

Die multispektralen Eigenschaften von *Thematic Mapper*-Daten ermöglichen die Differenzierung von vielen Landnutzungsklassen. Im Gegensatz dazu bieten panchromatische Daten nur begrenzte Möglichkeiten zur Unterscheidung verschiedener Objektklassen. Ein typisches Beispiel sind Waldgebiete, wo sich Laub- und Nadelwald in TM-Daten deutlich unterscheiden. Um diese Differenzierung auch in der Kombination zu erhalten, müssen für solche Flächen zusätzliche Verarbeitungsschritte durchgeführt werden.

- *Unterschiedliche geometrische Auflösung in multisensoralen Datensätzen*

Die Paßpunktmessung ist aufgrund der unterschiedlichen Pixelgrößen in multisensoralen Daten schwieriger als üblich und verlangt besondere Sorgfalt. Aber auch bei hoher Entzerrungsgenauigkeit kann man nicht vermeiden, daß die unterschiedliche geometrische Auflösung der Daten zu Farbsäumen führt, besonders an kontrastreichen Kanten. Wenn

SPOT- und TM-Daten miteinander kombiniert werden, wirkt sich dieser Effekt bei höchster Entzerrungsgenauigkeit in 1 Pixel breiten Farbsäumen aus. In einer Karte im Maßstab 1:50.000 haben die Farbsäume also eine Breite von 0,2 mm. Diese Größenordnung hat jedoch noch keine nennenswerte Beeinträchtigung der Bildwirkung zur Folge.

– *Jahreszeitliche Unterschiede*

Negative Auswirkungen auf die Bildqualität sind zu erwarten, wenn die Aufnahmezeitpunkte der Datensätze stark variieren und deshalb z.B. phänologisch bedingte Differenzen auftreten. Durch Unterschiede in Bewuchszustand, Beleuchtung usw. kann es nach der Rücktransformation in den RGB-Farbraum zu unnatürlichen Farbwirkungen kommen. Das Ergebnis der Kombination muß deshalb an kritischen Stellen visuell überprüft und mit relativ aufwendigen interaktiven Methoden verbessert werden. Deshalb sollten für die Kombination multisensoraler Daten möglichst zeitgleich aufgenommene Daten verwendet werden.

– *Änderungen in der Landnutzung*

Häufig kann es – insbesondere bei großen Mosaiken – nicht vermieden werden, Daten miteinander zu kombinieren, die nicht in demselben Jahr akquiriert wurden. Die zwischen zwei Aufnahmezeitpunkten stattgefundenen Änderungen der Landnutzung führen nach der Kombination der Daten ebenfalls zu Farbabweichungen. Zum Glück treten diese Effekte nur sporadisch auf und bleiben auf wenige lokale Areale beschränkt.

Trotz dieser Einschränkungen kommt den Verfahren zur Kombination multisensoraler Daten in der absehbaren Zukunft große praktische Bedeutung zu. Sie können dazu beitragen, den in Satelliten-Bilddaten verfügbaren Informationsgehalt auszuschöpfen und insbesondere so aufzubereiten, daß er der visuellen Interpretation in optimaler Weise zugänglich wird.

2.5 Besondere Verarbeitungstechniken

Es hängt von der Zielsetzung der Kartenherstellung, der Art und Qualität der verfügbaren Bilddaten, dem Charakter der betreffenden Landschaft und anderen Faktoren ab, ob und in welchem Umfang besondere Verarbeitungstechniken einzusetzen sind, die eventuell auch nur Bildteile betreffen können. Die methodischen Möglichkeiten sind dank der Flexibilität der Digitalen Bildverarbeitung sehr groß und können nur an wenigen Beispielen skizziert werden.

Ein selbst in ariden Gebieten häufiges Problem ist die Elimination von *Wolken* und *Wolkenschatten* aus den Bilddaten. Sie ist nur dadurch möglich, daß man die betroffenen Bilddaten durch Ausschnitte anderer, in diesen Bereichen wolkenfreier Szenen ersetzt. Dies kann in ähnlicher Weise erfolgen wie die Mosaikbildung. Es setzt die geometrische Entzerrung der beteiligten Datensätze auf ein gemeinsames Bezugssystem voraus. Das Aufsuchen der Wolken, die Abgrenzung der betroffenen Bereiche und der Datenaustausch mit anschließender radio-metrischer Anpassung erfolgt in einem Wechsel von automatischen und interaktiven Prozessen.

Bei der Konzeption einer Satelliten-Bildkarte kann es erwünscht sein, bestimmte Bereiche nicht in der (durch physikalische Größen definierten) Bildwiedergabe, sondern in einem (durch

willkürliche Entscheidung festgelegten) einheitlichen Farbton zu drucken. Besonders oft wird dies bei *Gewässerflächen* der Fall sein, die in den Bilddaten sehr verschieden wiedergegeben werden, in der Karte aber einheitlich erscheinen sollen. In solchen Fällen kann man durch Multispektral-Klassifizierung eine digitale Maske generieren, die dazu dient, die Bilddaten der entsprechenden Flächen auszublenden und statt dessen den gewünschten Farbton einzufügen.

Ähnliche Verfahren kann man einsetzen, um bestimmte *Objektkategorien* hervorzuheben und in ihrer Bildwiedergabe zu verbessern. So kann es z.B. zweckmäßig sein, für die Waldflächen einer Bildkarte durch Multispektral-Klassifizierung eine digitale Waldmaske zu generieren und mit ihrer Hilfe Anteile aus einem infraroten TM-Kanal mit den vorliegenden Daten zu kombinieren, um eine differenzierte Wiedergabe der Waldgebiete zu erreichen.

3. Kartographische Verarbeitung

Als Ergebnis der geometrischen und radiometrischen Bildverarbeitung liegt schließlich ein Satz von Bilddaten vor, der das Kartenfeld abdeckt. Eine Bildkarte verlangt jedoch auch *topographische Informationen* in Form von Linien, Signaturen, Schriften usw. Diese Informationen müssen aus zusätzlichen Quellen beschafft und in kartographisch geeigneter Form dem Bild überlagert werden. Um die digitale Arbeitsweise beizubehalten und ihre Vorteile nutzen zu können, ist ein geeignetes kartographisches Software-Paket erforderlich. Mit dieser Software müssen die entsprechenden graphischen Elemente generiert, plziert und in die Bilddaten integriert werden. Dabei ist ein Großteil der Operationen interaktiv durchzuführen.

4. Herstellung von Druckvorlagen

Nach dem Abschluß dieser Bearbeitungsprozesse liegen die Bilddaten der zu erstellenden Karte in digital gespeicherter Form vor. Sie können am Monitor eines Bildverarbeitungssystems als ein aus den Grundfarben Rot, Grün und Blau aufgebautes Farbbild betrachtet werden. Der Vierfarbendruck verlangt jedoch, daß aus diesen Daten noch ein Grauwertbild für die schwarze Druckplatte abgeleitet wird. Für den Druckvorgang müssen dann die digitalen Grauwertbilder in analoge Druckvorlagen gewandelt werden. Dies geschieht durch *digitale Rasterung*, wobei die Grauwerte unter Berücksichtigung der Rasterwinkelung für den Mehrfarbendruck durch einen hochauflösenden, großformatigen Laser-Plotter auf Filme ausgegeben werden. Von diesen Filmen können dann direkt die Druckplatten für die Druckfarben Cyan, Magenta, Gelb und Schwarz kopiert werden.

5. Die Satelliten-Bildkarte Leipzig 1:50.000

Die Entwicklung des erläuterten Verfahrens war davon ausgegangen, daß es sich bei den Originaldaten stets um digitale Satelliten-Bilddaten handelt, wie sie mit optomechanischen oder optoelektronischen Sensoren akquiriert werden. Im Jahre 1990 wurde erstmals der Versuch unternommen, das Verfahren auf photographische Bilddaten anzuwenden. So entstand in Zu-

sammenarbeit mit der *KAZ Bildmess GmbH* in Leipzig und dem *Ingenieurbüro FPK* in Berlin die »*Satelliten-Bildkarte Leipzig 1:50.000*«, von der ein Ausschnitt als Farbtafel beigelegt ist.

Als Ausgangsmaterial diente ein mit der sowjetischen Kamera KFA-1000 auf Spektronzonalfilm aufgenommenes Bild im ungefähren Maßstab 1:275.000. Es wurde mit einem in der Reptrotechnik üblichen Scanner bei einer Auflösung von 12,5 µm abgetastet. Dadurch ergaben sich vier Datensätze, von denen jedoch wegen der Zweischichtigkeit des Films nur der grüne und der rote geeignete Bildinformationen enthielten. Um für die weitere RGB-Bildverarbeitung einen dritten Spektralkanal zu erhalten, wurde aus dem Cyan-Farbauszug mit einer empirisch ermittelten Lookup-Tabelle ein blauer Bildkanal abgeleitet. Bei der Bearbeitung wurden der Helligkeitsabfall in der Bildebene kompensiert, die Kontraste erhöht und Filter zur Verstärkung hoher Ortsfrequenzen angewandt. Die übrige Bearbeitung folgte dem oben erläuterten Ablauf.

Es hat sich gezeigt, daß mit den digitalisierten Photographien der KFA-1000 Bildkarten von vergleichbarer Qualität hergestellt werden können. Sie sind in manchen Einzelheiten, z.B. Baumkronen, den SPOT/TM-Kombinationen überlegen. Andererseits sind für photographische Schichten typische Komstrukturen zu erkennen und die farbliche Differenzierung ist geringer.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem an der *Technischen Universität Berlin* entwickelten Verfahren sind in den vergangenen Jahren viele Satelliten-Bildkarten hergestellt worden. Dabei wurde bestätigt, daß mit den derzeit verfügbaren Satellitendaten Karten von hoher Qualität bis zum Maßstab 1:50.000 erzeugt werden können. Um farbige Karten dieses Maßstabes zu erarbeiten, müssen panchromatische SPOT-Daten mit hoher geometrischer Auflösung und multispektrale TM-Daten miteinander kombiniert werden. Dazu ist die angewandte Methode der Farbtransformation in das IHS-System hervorragend geeignet. Es zeigte sich jedoch, daß die Verfahrensweise gegen jahreszeitlich bedingte Unterschiede in den Bilddaten empfindlich ist und deshalb vorsichtig gehandhabt werden muß. Auch kann es vorkommen, daß einzelne Gebiete, z.B. Wasserflächen oder Waldflächen, einer besonderen Bearbeitung bedürfen, um ein ausgewogenes Landschaftsbild zu erhalten. Durch Multispektral-Klassifizierung können dann Masken für diese Flächen gewonnen werden, mit deren Hilfe z.B. ein Wasserdecker generiert oder eine Verbesserung der Bildwiedergabe in den Waldflächen erzielt werden kann. Aus digitalisierten photographischen Bildern der KFA-1000 können etwa gleichwertige Bildkarten erstellt werden.

Trotz weltweiter Aktivitäten zur Herstellung von Satelliten-Bildkarten gibt es aber hinsichtlich der Kartengestaltung noch viel Unsicherheit und offene Fragen. Zu einem erheblichen Teil kann man dies auf die noch zu geringe Erfahrung der beteiligten Gruppen zurückführen (DAHLBERG & LUMAN 1988). Die Spezialisten der *Fernerkundung* haben vielfach keine fundierte kartographische Erfahrung. Die *Kartographen* ihrerseits standen der Entwicklung eher zurückhaltend gegenüber und tun dies teils auch noch heute, da Satelliten-Bildkarten nicht ihrem traditionellen Verständnis von einer Karte entsprechen. Sowohl der Entstehungsprozeß einer Bildkarte als auch die eingesetzten Hilfsmittel liegen weit außerhalb ihres Erfahrungsbereiches. Aber auch die ohnehin sehr heterogene Gruppe der *Nutzer* ist mit der Anwendung von Bild-

karten noch wenig vertraut. Während ihnen die graphischen Zeichen einer konventionellen Karte diskrete Informationen vermitteln, über die notfalls die Legende Auskunft gibt, müssen sie bei der Benutzung von Bildkarten die dargebotenen Objektinformationen selbst interpretieren. Die hierzu erforderlichen Lernprozesse dürfen nicht unterschätzt werden. Deshalb verlangt die weitere Entwicklung von Satelliten-Bildkarten einerseits die intensive Zusammenarbeit zwischen den Fachleuten der Fernerkundung und der Kartographie, andererseits müssen sich beide Gruppen gemeinsam darum bemühen, die potentiellen Nutzer an den Gebrauch von Satelliten-Bildkarten heranzuführen.

Der vielfältige Nutzen von Satelliten-Bildkarten, die Möglichkeit, sie mittels neuer Daten kurzfristig zu aktualisieren, und viele weitere Vorteile können heute nicht mehr in Frage gestellt werden. Ebenso unstrittig sollte sein, daß die Bildkarte Informationen zu vermitteln und anschaulich wiederzugeben vermag, denen die konventionelle Kartographie mehr oder weniger hilflos gegenübersteht (man denke nur an die morphologischen Formen einer Dünenlandschaft!). Aber es muß auch gesehen werden, daß die *reine* Bildkarte ihre Grenzen hat (sie enthält zum Beispiel keine Höhenlinien!) und der Ergänzung durch topographische Informationen bedarf.

Andererseits stellt die Integration graphischer Elemente in Bildkarten eine Aufgabe dar, die noch keineswegs befriedigend gelöst ist. Die Erfahrungen der konventionellen Kartographie, z. B. mit dem Freistellen von Schriften, lassen sich hierauf nicht einfach übertragen. Deshalb müssen ausgewogene Lösungen für dieses Problem erst noch erarbeitet werden.

Die Bedeutung von Satellitendaten für die Kartographie wird weiter wachsen. Die Auswertung der mit SPOT und künftigen Stereosystemen von Satelliten aus aufgenommenen Bilddaten macht auch die Höhenmessung nach photogrammetrischen Prinzipien möglich. Außerdem können für die nächsten Jahre Sensoren mit noch höherer geometrischer Auflösung erwartet werden. Dann werden Satellitenbilder in zunehmendem Maße auch zur Herstellung und Fortführung der uns vertrauten Formen topographischer Karten beitragen.

Literatur

- ALBERTZ, J.; KÄHLER, M.; KUGLER, B.; MEHLBREUER, A. (1987): A Digital Approach to Satellite Image Map Production. Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen, Reihe A, Band 75.3, S. 833-872, 1987.
- ALBERTZ, J.; LEHMANN, H.; MEHLBREUER, A.; SCHOLTEN, F.; TAUCH, R. (1988): Herstellung hochauflösender Satelliten-Bildkarten durch Kombination multisensoraler Datensätze. Internationales Jahrbuch für Kartographie, Band 28, 1988, S.11-27.
- ALBERTZ, J. (1991): Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern – Eine Einführung in die Fernerkundung. Wissenschaftl. Buchgesellschaft, Darmstadt 1991, 204 S.
- BUCHROITHNER, M.; KOSTKA, R. (Hrsg.) (1988): Remote Sensing – Towards Operational Cartographic Application. Proceedings Willi Nordberg Symposium 1987, Graz (Österreich) 1988.
- CURRAN, P.J. (1985): Principles of Remote Sensing. Longman, London u. New York, 1985.
- DAHLBERG, R.E.; LUMAN, D.E. (1988): Towards Further Development of the Satellite Image Map Genre. In: BUCHROITHNER & KOSTKA 1988, S. 51-56.

- HAYDN, R; DALKE, G.W.; HENKEL, J.; BARE, J.E. (1982): Application of the IHS Color Transform to the Processing of Multisensor Data and Image Enhancement. Internat. Symposium on Remote Sensing of Arid and Semi-Arid Lands, Cairo (Egypt) 1982, S. 599-616.
- JACOBSEN, K. (1990): Cartographic Potential of Space Images. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 28, Part 2, Dresden 1990, S. 127-134.
- KÄHLER, M. (1989): Radiometrische Bildverarbeitung bei der Herstellung von Satelliten-Bildkarten. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft 348, München 1989, 101 S.
- KRAUS, K.; SCHNEIDER, W.: Fernerkundung. Band 1 (Physikalische Grundlagen und Aufnahmetechniken). Dümmler, Bonn 1988, 291 S.
- KRONBERG, P. (1985): Fernerkundung der Erde. Grundlagen und Methoden des Remote Sensing in der Geologie. Enke, Stuttgart 1985, 394 S.
- TAUCH, R.; KÄHLER, M. (1988): Improving the Quality of Satellite Image Maps by Various Processing Techniques. Internat. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 27, Part B9, Kyoto (Japan) 1988, S. IV-238 - IV-247.
- US Geological Survey (1973): Satellite Image Mosaic New Jersey 1:500 000. Reston/Virginia (USA) 1973.

Die Entwicklung des Systems zur Herstellung von Satelliten-Bildkarten wurde durch die *Deutsche Forschungsgemeinschaft* im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 69 (Geowissenschaftliche Probleme in ariden Gebieten) und durch den *Bundesminister für Forschung und Technologie* gefördert.

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr.-Ing. JÖRG ALBERTZ, Dipl.-Ing. RÜDIGER TAUCH
 Fachgebiet Photogrammetrie und Kartographie, Technische Universität Berlin, EB 9
 Straße des 17. Juni 135, 1000 Berlin 12

Farbtafel: Satelliten-Bildkarte Leipzig 1:50 000 (Ausschnitt)

Die »*Satelliten-Bildkarte Leipzig 1:50.000*« wurde aus einem photographischen Satellitenbild erstellt. Die geometrische und radiometrische Aufbereitung erfolgte durch Digitale Bildverarbeitung, nachdem das Bild digitalisiert worden war.

Technische Daten:

Satellit:	Kosmos	Vertrieb:	Sojuskarta
Aufnahmekamera:	KFA-1000	Kammerbrennweite:	1000 mm
Aufnahmefilm:	Spektrazonal SN 10	Spektralbereiche:	0,57 - 0,69 µm
Aufnahmedatum:	4.8.1986		0,68 - 0,81 µm
Aufnahmehöhe:	275 km	Originalbildmaßstab:	1 : 275 000

Die Karte wurde vom *Ingenieurbüro FPK* in Berlin und der *KAZ Bildmess GmbH* in Leipzig in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Berlin bearbeitet und 1990 gemeinsam herausgegeben. Die Erstellung der Druckvorlagen erfolgte durch *kartoplan-pce GmbH* in Berlin, der Druck durch *Druckhaus Hentrich* in Berlin.

Untersuchungen zur geometrischen Auflösung mittels Flugzeugscannersimulation

Dipl.-Ing. Uwe Prantz, Dr. sc. silv. Eberhart Pelz
 Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung
 Technische Universität Dresden

Zusammenfassung

Die geometrische Korrektur von Daten flugzeuggetragener Zeilenabtaster erweist sich nach wie vor als ein nicht vollständig gelöstes Problem bei der Anwendung von Flugzeugaufnahmesystemen. Infolge der deutlich besseren radiometrischen Abbildungseigenschaften elektronischer Sensoren gegenüber fotografischen Materialien wird auch eine genaue geometrische Bearbeitung notwendig.

Zur Untersuchung der Einflüsse angularer Flugbewegungen auf die Abbildungsqualität der aufgezeichneten Daten wurde an der Technischen Universität Dresden ein Modell zur Simulation optoelektronischer Zeilenscannerdaten geschaffen. Das Prinzip der Simulation beruht dabei auf der pixelweisen Abtastung einer fotografisch vorhandenen Szene mittels des Trommelscannersystems FEAG 200, wobei die Berechnung der Abbildungsgeometrie auf photogrammetrischer Grundlage erfolgt. Ergebnis dieser Computersimulation ist die Erzeugung von Flugzeugscannerbildern beliebiger geometrischer Auflösungen und beliebiger Objekte, die zur Untersuchung von Abbildungsgeometrie und -radiometrie und zur Erprobung ausgewählter Korrekturalgorithmen herangezogen werden.

Summary

Geometric correction of airborne scanner data has not been solved completely yet in present time. Due to clearly better radiometric properties of new scanner systems compared to photographs an exact geometric processing becomes necessary.

In order to investigate influences of angular movements of an airplane scanner system on the quality of recorded data a model to simulate the geometric properties of a pushbroom airborne scanner was developed at Technical University of Dresden. This simulation is based on a scanning process of photographs with the image digitizer system FEAG 200 of Carl Zeiss Jena GmbH. During the scanning process of FEAG 200 the photogrammetric calculation of the internal geometry of the simulated image is carried out. Result of this computer aided simulation is a digital image of any required geometric resolution of any objects. The simulated data are useful for all investigations connected to geometric and radiometric accuracies and also helpful to test new programs for geometric and radiometric correction.

1. Modellsysteme

Beim Einsatz der Scannertechnik als Datenlieferant der Fernerkundung vollzieht sich derzeit der Übergang von optomechanischen Aufnahmeverfahren zu optoelektronischen Systemen. Damit verbunden sind wesentliche Verbesserungen der radiometrischen und vor allem der geometrischen Abbildungsqualität. Die Möglichkeit und Notwendigkeit, Scannersysteme konkret auf die zu bearbeitenden Aufgaben, d.h. auf die Untersuchungsobjekte, auszurichten, rückt immer mehr in den Mittelpunkt der Betrachtungen.

Die Simulation optoelektronischer Flugzeugscannerdaten stellt dabei einen wesentlichen Bestandteil der Modelluntersuchungen dar. Unter "Simulation von Flugzeugscannerdaten" soll die Simulation eines Prozesses zur Scannerdatengewinnung verstanden werden. Dieser Prozeß basiert auf der Verarbeitung von Meßdaten, die zur Beschreibung des Abbildungsverhaltens eines Flugzeugscannersystems notwendig sind. Entstehende Bilddaten sind Resultat dieses Prozesses.

2 Modellbeschreibung

Das konzipierte Modell zur Simulation optoelektronischer Flugzeugscannerdaten basiert auf der Abtastung fotografischer Bildmaterialien mittels eines mikrorechnergesteuerten Trommelscanners, dem FEAG 200. Die Abtastung über FEAG 200 verkörpert die eigentliche Simulation des geometrischen Abbildungsverhaltens und wird mittels eines mathematischen Modells zielgerichtet gesteuert.

Das Hauptaugenmerk der Simulation und späterer Untersuchungen an den simulierten Daten liegt auf der Analyse der angularen Bewegungen des Aufnahmesystems sowie den daraus resultierenden geometrischen und radiometrischen Wirkungen auf die konkreten Objektabbildungen.

Die genannten verschiedenartigen, modularen Bestandteile des Modells lassen sich in Schema 1 zusammenfassen.

3. Grundlagen des Modells

Rollbewegung (↻)

Als Rollbewegung ist die Bewegung um die Längsachse des Flugzeuges definiert. Bei der Bilderzeugung mittels Zeilenscanner führt sie dazu, daß die Zeilen senkrecht zur Flugrichtung gegeneinander versetzt werden.

Gierbewegung (↻)

Als Gierbewegung bezeichnet man die Bewegung des Flugzeuges um seine vertikale Achse. Diese führt zur Nichtparallelität benachbarter Zeilen.

Nickbewegung (↻)

Die Nickbewegung ist die Bewegung um die horizontale Achse des Flugzeuges senkrecht zur Flugrichtung. Diese führt dazu, daß der Abstand der benachbarten Zeilen bei der Bilderzeugung nicht konstant bleibt.

Schema 1: Modellbeschreibung

Inhalt: Modell zur Simulation optoelektronischer Flugzeugscannerdaten



Das Zusammenwirken der genannten Komponenten der Winkelbewegungen wird durch folgendes mathematisches Modell beschrieben. Dabei wird zur allgemeingültigen Beschreibung der Geometrie optoelektronischer Zeilenscannerdaten folgende Grundgleichung verwendet, wobei die j-Indizes die Zeitabhängigkeit der Orientierungsparameter (X_0 , Y_0 , Z_0 , φ , ω , α) des Sensors innerhalb eines Objektkoordinatensystems verdeutlichen.

$$\begin{bmatrix} 0 \\ y_i' \\ -cK \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda} \Delta_j(\varphi, \omega, \alpha) \begin{bmatrix} X_i - X_{0j} \\ Y_i - Y_{0j} \\ Z_i - Z_{0j} \end{bmatrix}$$

Die Beschreibung der Änderung der Orientierungsparameter während der Aufnahme erweist sich als Grundproblem der Simulation von Zeilenscannerdaten. Die zeitabhängige Überlagerung der drei Drehungen je Zeile zu einer Gesamtbewegung der Plattform führt bei der Datenaufzeichnung zu einer Verfälschung der Objektgeometrie. Durch die "Fehlpositionierungen" der einzelnen Bodenpixel werden radiometrische Werte registriert, die einer realistischen Objektdarstellung widersprechen. Die geometrische und radiometrische Auflösung des Systems verschlechtert sich demzufolge in Abhängigkeit der turbulenzbedingten, angularen Bewegungen des Flugzeuges, und der Informationsgehalt des Scannerbildes sinkt.

Bei einer Flughöhe von 3000m, einer Fluggeschwindigkeit von 200km/h, einer Bodenpixelgröße von 1 m x 1 m und einer verwendeten CCD-Zeile mit 2048 Sensorelementen treten beispielsweise am Schwadrand folgende (siehe Tab. 1) maximale Lagedifferenzen zwischen Pixeln benachbarter Zeilen in Abhängigkeit der Luftturbulenzen auf.

Tab. 1: maximale Differenzen der Pixellagen benachbarter Zeilen

	ruhige Luftturbulenzen 1m x 1m 2,5m x 2,5m		mittlere Luftturbulenzen 1m x 1m 2,5m x 2,5m	
x-Richtung (Flugrichtung)	0,3 PE	0,5 PE	1,3 PE	1,7 PE
y-Richtung (Zeilenrichtung)	1,0 PE	1,6 PE	3,4 PE	5,2 PE

PE ...Pixeleinheiten

4. Geometrische und radiometrische Datenaufbereitung

Durch die geometrische Datenaufbereitung werden die durch die Winkelbewegung verursachten unregelmäßigen Zeilenlagen korrigiert. Die Objektgeometrien im gesamten Datenfile werden innerhalb dieses Prozesses regeneriert. Unter radiometrischer Datenaufbereitung wird nur diejenige Korrektur verstanden, die sich infolge geometrischer Bearbeitung als notwendig erweist.

In Abhängigkeit von der späteren Nutzung der Scannerdaten sind folgende Entzerrungsverfahren anwendbar:

1.) Verfahren unter Benutzung eines nicht-parametrischen Ansatzes:

-Beseitigung der Effekte der Rollbewegung über Zeilenverschiebung mit bzw. ohne Zeilenpaßpunkte

> *Zeilenkorrelationsverfahren*

> *empirisches Verfahren nach linearen Bildelementen*

- Einpassung des gesamten Bildinhaltes in ein Referenzsystem mittels in zwei Ebenen vorliegender Paßpunkte

> *Affintransformation*

> *Polynomverzerrung*

2.) Verfahren unter Benutzung eines parametrischen Ansatzes:

- Korrektur der Lage der Bildzeilen unter Verwendung der Lage- und Positionsdaten des Sensors

> *Kollinearitätsbeziehung*

-Entzerrung nach Paßpunkten unter Einbeziehung eines Digitalen Höhenmodells analog der Luftbildentzerrung

> *direktes oder indirektes Entzerrungsverfahren*

Zeilenkorrelationsverfahren

Das Verfahren beruht auf dem Vergleich der Pixelgrauwerte aller benachbarten Bildzeilen ohne Verwendung spezieller Paßpunkte. Sind keine Verzerrungen vorhanden, so ist die Annahme wahrscheinlich, daß die in Flugrichtung benachbarten Grauwerte der Pixel stark korrelieren, d.h. daß der Grauwertabstand gering ist. Beim Vorhandensein von Rollverzerrungen werden die Grauwerte aller Pixel innerhalb einer definierten Umgebung auf ihr Korrelationsverhalten untersucht und ein Zeilenversatz für jede Bildzeile berechnet. Die Zeilenverschiebung stellt dann die eigentliche geometrische Korrektur dar.

Die Genauigkeit des Zeilenkorrelationsverfahrens ist stark vom Bildinhalt abhängig. Homogene Objekte mit scharfen Begrenzungen werden mit Pixelgenauigkeit korrigiert. Die Genauigkeit der geometrischen Korrektur verringert sich bei Anwendung dieses Verfahrens mit zunehmendem Turbulenzgrad der Atmosphäre bei der Aufnahme, da stärker werdende Einflüsse von Nick- und

Gierkomponenten unberücksichtigt bleiben.

Empirisches Verfahren nach linearen Bildobjekten

Ebenso wie das Zeilenkorrelationsverfahren trägt die geometrische Bildaufbereitung unter Verwendung von linearen Bildelementen lediglich zur Korrektur der Rollbewegungsverzerrungen bei und ist demzufolge nur auf die unter ruhigen Flugbedingungen gewonnenen Daten anwendbar. Das Verfahren beruht auf der Kenntnis der realen Geometrie ausgewählter Bildobjekte. Dabei übernehmen Objektbegrenzungen, die einen guten Kontrast zur angrenzenden Umgebung aufweisen, die Rolle von Zeilenpaßpunkten. Der reale Verlauf einer Objektkante ergibt sich durch die Markierung von Anfangs-, Zwischen- und Endpunkten als Polygon. Liegen Bildverzerrungen vor, so weicht die abgebildete Objektkante von der durch das Polygon definierten Kante ab. Eine zeilenweise interaktive Markierung dieser abgebildeten Objektkante dient zur Berechnung des Zeilenverschiebungsvektors, nach welchem die Bildkorrektur durchgeführt wird.

Korrektur nach Lage- und Positionsdaten

Nach Messung der Lage- und Positionsparameter des Sensors während der Datengewinnung oder abgeleiteter Größen, die die zuverlässige Berechnung dieser Parameter erlauben, ist eine Korrektur der Zeilenlagen des Bildes unter Verwendung der Kollinearitätsbeziehung möglich. Neben der bereits gebräuchlichen Datenkorrektur über digital registrierte Rollwinkelgrößen ist eine Datenaufbereitung bezüglich Kantungs- (yaw-) und Längsneigungs- (pitch-)einflüssen unumgänglich. Insbesondere bei hohen Luftturbulenzen während der Datengewinnung oder bei der Nutzung leichter Flugzeuge wird eine wesentlich bessere Datenqualität erzielt.

Das Verfahren nutzt Lage- und Positionsdaten zur Berechnung der realen Lage der Pixel im Gelände. Für jedes Bildelement wird ein zweidimensionaler Verschiebungsvektor berechnet. Ebenso wie bei der Datengewinnung treten hier Lücken und Überlappungen von Pixeln benachbarter Zeilen auf, deren Größe vom Turbulenzgrad der Atmosphäre abhängig ist.

Die Effizienz der notwendig werdenden Interpolationsalgorithmen richtet sich nach dem Bildinhalt und der turbulenzbedingten Größe der auftretenden Lücken zwischen den Zeilen.

Die Korrektur der radiometrischen Werte wird parallel zur geometrischen Datenaufbereitung durchgeführt. Folgende zwei Interpolationsmethoden erweisen sich dabei als sinnvoll:

- *Verfahren der nächsten Nachbarschaft,*
- *Verfahren der Rasterverdopplung.*

Bei zeilenweise bekannten Fluglagedaten gelingt im einfachen Bildraster eine 1/2-Pixel-genaue Korrektur. Führt man die Berechnungen im doppelten Rasterformat durch, so wird die Positioniergenauigkeit bei der Lagekorrektur und damit die Genauigkeit bei der Interpolation der radiometrischen Werte gesteigert.

Treten Zeilendefekte auf, so dienen Interpolationsverfahren der Beseitigung von

Informationsverlusten, wobei die Grauwerte der anliegenden Zeilen zur Korrektur genutzt werden. Die Genauigkeit dieser Interpolation ist vor allem von der Differenziertheit der betreffenden Objekte abhängig. Für eine Bildkorrektur ist die Anwendung folgender Verfahren günstig:

- *lineare Interpolation mit oder ohne Rasterverdopplung,*
- *Interpolation mittels kubischer Spline-Funktionen mit oder ohne Rasterverdopplung.*

Während bei Abbildungen relativ homogener Objekte (z.B. landwirtschaftliche Nutzflächen, Wasser u.ä.) die Nutzung einer linearen Interpolationsfunktion ausreichend ist, werden bei texturierten Objekten (z.B. Wald u.ä.) durch die Anwendung von kubischen Spline-Funktionen Resultate erzielt, die mit der Realität besser übereinstimmen.

Geht man bei der Datengewinnung von ruhigen und mittleren Turbulenzbedingungen aus, so existieren erhebliche Unterschiede in der Korrekturgenauigkeit der radiometrischen Werte. Bei mittleren Luftturbulenzen können besonders am Schwadrand z.T. mehrzeilige Abtastlücken (maximal 3 Pixeleinheiten bei ungünstigster Überlagerung von Nick- und Gierbewegung und hoher Bodenauflösung) auftreten, die eine vollständige Rekonstruktion der Bilddaten selbst bei exakter geometrischer Korrektur unmöglich machen. Bei Daten, die unter ruhigen Flugbedingungen (auftretende Abtastlücken betragen maximal 1 Pixeleinheit) gewonnen wurden, ist eine sinnvolle radiometrische Korrektur für alle Bildobjekte jederzeit möglich.

Zeilenscannerbefliegungen sind deshalb (ohne Einsatz von Stabilisierungsplattformen) unbedingt unter ruhigen Turbulenzbedingungen durchzuführen. Das bedeutet, daß folgende maximale Winkelgeschwindigkeiten für die angularen Bewegungen des Aufnahmesystems nicht überschritten werden dürfen:

Rollbewegung:	1.0 °/s
Gierbewegung:	0.25 ... 0,3 °/s
Nickbewegung:	0,25 ... 0,3 °/s

Die dabei auftretenden Abtastlücken betragen in Flugrichtung maximal 1/3 der vorgegebenen Pixelgröße, quer zur Flugrichtung ca. eine Pixelgröße.

5. Literaturverzeichnis

- /1/ Klose, H.: Die neue kreiselstabilisierte Aufhängung für Luftbildmeßkammern LMK.- In: Vermessungstechnik.- Berlin, Verlag für Bauwesen, 38(1990)1.- S. 13-15.
- /2/ Konecny, G.: Mathematische Modelle und Verfahren zur geometrischen Auswertung von Zeilenabtasteraufnahmen.- In: BuL.- Karlsruhe: Wichmann Verlag, 44(1976)5.- S.188- 196.
- /3/ Kretzschmar, R.: Die Bedeutung der geometrischen Auflösung von DFE für Waldschadensuntersuchungen.- 1991.- 81 S.- Dresden, Techn. Univ. Dresden.- Dipl.-Arbeit.

- 4/ Plischke, F.: Qualitätsoptimierung der Prozesse und Gerätesysteme zur Gewinnung von Primärdaten der Geofernerkundung aus Luftfahrzeugen.- 1990.- 177 S.- Berlin, Akad. der Wiss. der DDR.- Diss. A.
- 5/ Prantz, U.: Modelluntersuchungen zur Simulierung multispektraler Scannerdaten für Erkundung von Struktur und Zustand von Waldökosystemen.- 1988.- 61 S.- Dresden, Techn. Univ. Dresden.- Dipl.-Arbeit.
- 6/ Studie über Erfordernisse und Möglichkeiten zur Schaffung eines thematisch programmierbaren optoelektronischen multispektralen Aufnahme-Systems - THOMAS - zur Fernerkundung der Erde / Autorenkollektiv.- Berlin: IKF, 1986.- 86 S.
- 7/ Schmelovsky, K.-H.; Irmischer, S.; Winkler, J.: Studies on the automatic controll of an arial camera.- In: Jena - Journal of photogrammetrists and surveyors.-Halle, Druckhaus Freiheit, 1988.- Heft 2.- S. 4-6.
(Übers. des Sacht.: Untersuchungen zur automatischen Überwachung einer Luftkamera.)

Rückstreuung der elektromagnetischen Wellen durch große und weiche
Teilchen in der Atmosphäre

A. Maślowska

Zentrum für Raumfahrtforschung
Polnische Akademie der Wissenschaften
Ordona 21, 01-237 Warschau, Polen

Zusammenfassung

Betrachtet wird das Problem der Lichtstreuung durch atmosphärische Teilchen. Es wird eine Formel des elektrischen Feldes im Inneren der elektromagnetischen Welle hinsichtlich eines großen und weichen sphärischen Teilchens vom Radius a auf der Basis der genauen Lösung der Mie-Gleichung abgeleitet. Man hat die Phase der Welle als Funktion eines Punktes im Inneren des Teilchens determiniert und dazu ein "verbessertes" inneres elektrisches Feld evaluiert. Mit Hilfe dieser Formel für das verbesserte Feld hat man den Gewinn der Rückstreuung berechnet.

Summary

The problem of the scattering of light by the particles in the atmosphere has been considered. The formula for the electric field of electromagnetic wave interior to the large and soft spherical particle of radius a has been estimated from the exact Mie solution. Determining the phase of the wave as a function of the point inside the particle the "improved" interior electric field has been evaluated. Using the formula for the "improved" field the backscatter gain has been calculated.

In diesem Bericht wird das Problem der Rückstreuung des Lichtes durch Teilchen der Atmosphäre betrachtet. Für die Bestimmung von Streuungsparametern (d. h. Phasenfunktion, Wirkungsquerschnitte) muß das elektrische Feld der elektromagnetischen Welle im Inneren des Teilchens bekannt sein [1]. Die Streuung einer elektromagnetischen Welle auf einer Kugel von beliebiger Größe wird genau von der Mie-Theorie beschrieben [2]. Da die Mie-Lösungen ziemlich schwer zu berechnen sind, werden im allgemeinen gewisse zu dem Problem angepaßte Approximationsmethoden verwendet.

Beginnend von der genauen Mie-Lösung, determinierte man die angenäherte Formel für das elektrische Feld der elektromagnetischen Welle im Inneren des sphärischen Teilchens. Man nahm an, daß das Teilchen weich ist ($|n-1| \ll 1$, wo $n = m + i\alpha$ der Brechungsindex des Teilchens, im allgemeinen eine komplexe Zahl) und weitgehend mit der Wellenlänge λ vergleichbar ($\alpha = ka \gg 1$, wo \vec{k} der Wellenvektor von der Größe $\vec{k} = |\vec{k}| = 2\pi/\lambda$) ist und daß das fallende Licht sich in der Richtung z verschiebt.

Vorausgesetzt, daß die Wellenphase vom Punkt des Teilchens abhängt (das-selbe Argument wie in der anormalen Beugungsapproximation [3]), erhalten wir das "verbesserte" innere Feld in der Form:

$$(1) \quad \vec{E}_{\text{imp}} \approx \hat{e}_{\text{inc}} \frac{2}{n+1} e^{i(n-1)kd} [e^{inkz} - \frac{n-1}{n+1} e^{2inkd} e^{-inkz}],$$

wo $2d(x,y)$ die vom (x,y) abhängige Dicke des Teilchens gemessen in der Richtung \vec{k} ist. Dieser Ausdruck hat die Form einer Superposition mit gewissen Koeffizienten der parallelen und antiparallelen Welle gegenüber der fallenden Strahlung.

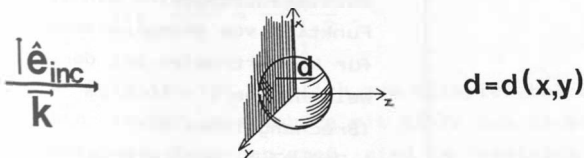


Abb. 1 Streuungsgeometrie. \vec{k} bezeichnet die Richtung fallender Flachwellen, polarisiert in der Richtung \hat{e}_{inc} , und $2d(x,y)$ bedeutet die von (x,y) -abhängige Teilchendicke.

Man merkt, die Formel (1) kann bis auf den anormalen Approximationsausdruck der Beugung des elektrischen Feldes reduziert werden, vorausgesetzt, daß das zu $(n-1)/(n+1)$ proportionale Glied vernachlässigt werden kann.

Mit Verwendung des Ausdrucks für das "verbesserte" innere elektrische Feld berechnete man den als 4π mal Verhältnis des differentialen Wirkungsquerschnittes für Rückstreuung zur geometrischen Fläche definierten Rückstreuungsgewinn $G(n, \alpha)$ [4].

Die erhaltene Formel hat die Form:

$$(2) \quad G(n, \alpha) = 4\alpha^2 \left| \frac{n-1}{n+1} \left\{ 2 \left(\frac{e^{2i\alpha}}{2i\alpha} + \frac{1-e^{2i\alpha}}{(2i\alpha)^2} \right) - \frac{e^{2i(2n-1)\alpha}}{2i(2n-1)\alpha} - \frac{1-e^{2i(2n-1)\alpha}}{(2i(2n-1)\alpha)^2} + \frac{e^{-2i\alpha}}{2i\alpha} - \frac{1-e^{-2i\alpha}}{(2i\alpha)^2} \right\} \right|^2.$$

Es ist leicht zu sehen, daß, wenn $\alpha \rightarrow \infty$, die Grenze des Rückstreuungsgewinnes im Falle des realen Brechungsindex nicht existiert. Für die absorbierenden Teilchen ($\kappa > 0$) ist der asymptotische Wert des Rückstreuungsgewinnes

$$(3) \quad \lim_{\alpha \rightarrow \infty} G(n, \alpha) = \left| \frac{n-1}{n+1} \right|^2.$$

Der Rückstreuungsgewinn bekommt einen Wert, der sehr nahe zu seinem asymptotischen Wert liegt, zwar bei einem Wert von α bei welchem $e^{-\kappa\alpha}$ im Vergleich zu 1 vernachlässigt werden kann (bei großen Teilchen, wo $\kappa\alpha \gg 1$).

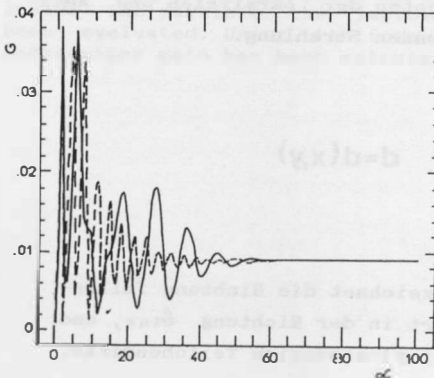


Abb. 2

Rückstreuungsgewinn $G(n, \alpha)$ in Funktion vom Ausmaßparameter α für Wassertropfen bei der Wellenlänge $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$ (Brechungsindex $n = 1.2 + 0.07i$). Ununterbrochene Linie - genaue Mie-Berechnungen, unterbrochene Linie - approximierte Berechnungen, (Gl. 2).

Es scheint, daß der Wirkungsquerschnitt der Extinktion σ_{ext} nach der Formel (1) für das elektrische Feld ausreichend den doppelten Wert des geometrischen Wirkungsquerschnitts approximiert, und die Effektivität der Extinktion, definiert als

$$(4) \quad Q_{\text{ext}} = \frac{\sigma_{\text{ext}}}{\pi a^2}$$

wird ausreichend durch die Zahl 2 approximiert, wenn der Parameter α der Größe bis zur Unendlichkeit strebt.

Die Einfachheit der erhaltenen Formel ist nützlich und wichtig zum Beispiel bei der Bestimmung von Mittelwerten von Streuungsparametern in Bezug auf die Dimensionsverteilung der Teilchen. Es scheint, daß nach einigen Modifikationen das "verbesserte" innere elektrische Feld für die Berechnungen der Lichtstreuung auf nichtkugelförmigen Teilchen verwendet werden kann.

Die Koeffizienten k_{ext} und k_b der volumetrischen Extinktion und der Rückstreuung bei der Polydispersion von sphärischen Teilchen, die durch Verteilung der Größe $N(r)$ und Brechungsindex n charakterisiert, sind von folgender Form:

$$(5) \quad k_{\text{ext}}(n, \lambda) = \int \pi r^2 Q_{\text{ext}} N(r) dr,$$

$$k_b(n, \lambda) = \frac{1}{4\pi} \int \pi r^2 G N(r) dr.$$

Die asymptotischen Werte von Q_{ext} und G haben eine einfache von der Verteilung der Größe unabhängige Form

$$(6) \quad \lim_{\alpha \rightarrow \infty} \frac{k_{\text{ext}}}{k_b} = \frac{8\pi}{|n-1|^2}.$$

Solche Relation ist nützlich zum Beispiel bei den Vermessungen der Teilchen in der Atmosphäre mit Hilfe des Lichtradars. Wenn die zu beobachtenden Teilchen groß sind im Vergleich zur Wellenlänge und wenn eine lineare Relation zwischen k_{ext} und k_b besteht, dann kann der Extinktionskoeffizient (Sichtbarkeit) mit Hilfe von Rückstreuungssignal vom Lichtradar ohne Kenntnis der Ausmaßverteilung der Teilchen ermittelt werden [5].

Literatur

- [1] Saxon, D.S.: Lectures on Scattering of Light", University of California, Los Angeles, Dept. of Meteorology, Scientific Report No. 9, (1955).
- [2] Mie, G.: "Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen", Ann. Phys. 25 (1908), 377-445.
- [3] van de Hulst, H.C.: "Light Scattering by Small Particles", Dover, New York (1957).
- [4] Deirmendjian, D.: "Electromagnetic Scattering on Spherical Polydispersions", New York (1969).
- [5] Jennings, S.G.: "Backscatter and Extinction Measurements in Cloud and Drizzle at CO₂ Laser Wavelengths", Appl. Opt. 25 (1986), 2499-2505.

Messung und Deutung der von Wolken rückgestreuten Sonnenstrahlung im Bereich der Sauerstoff-A-Absorptionsbande

M. Kollewe, W. Cordes, J. Fischer

GKSS - Forschungszentrum, W-2054 Geesthacht

Zusammenfassung

Für die Entwicklung eines Algorithmus zur Bestimmung der Wolkenhöhe aus der rückgestreuten Sonnenstrahlung in der A-Absorptionsbande des Sauerstoffs bei der Wellenlänge $\lambda=760\text{nm}$ wurden Spektrometermessungen von einem hochfliegenden Flugzeug aus über verschiedenartige Wolkentypen unternommen. Der Spektralbereich von 750 bis 782nm wurde dabei in 320 Kanäle aufgelöst. Eine Hauptachsenanalyse aller gemessenen Spektren ergibt eine Anzahl von drei voneinander unabhängigen Parametern. Neben den unabhängigen Größen Wolkenhöhe und optische Wolkendicke, wird als dritte die Temperaturschichtung der Atmosphäre als relevant vermutet.

Abstract

For the development of a passive remote sensing method to retrieve the altitude of clouds from satellite, airborne measurements of the backscattered sunlight from clouds within the A-absorption band of oxygen at 760nm were made for various types of clouds. The spectral range from 750 to 782nm was divided into 320 channels. A principal component analysis of the recorded spectra results in three independent parameters. Two of these principal components are related to, among others, the absorber mass (i.e. the cloud-height and -optical thickness), and an interpretation of the third component suggests an effect of atmospheric stratification of the temperature on the spectral signature.

1. Einleitung

Wolken spielen durch ihren großen Einfluß auf den Strahlungshaushalt der Erde eine bedeutende Rolle unter den das Klima bestimmenden Vorgängen. Insbesondere die Höhe der Wolkenoberkante und die geometrische und optische Dicke der Wolken erweisen sich als wichtige Eigenschaften.

Die Wolkenoberkantenhöhe bestimmt z.B. die Temperatur des in den Weltraum strahlenden Teiles der Wolke und damit das Ausmaß an langwelliger Abstrahlung. Aus diesem Grund ist sie auch eine wesentliche Eingangsgröße von Klimamodellen.

Roeckner u.a. (1987) ermittelten aus Modellrechnungen eine Erhöhung der Flüssigwassergehalte und der optischen Dicken der Wolken bei Zunahme der Bodentemperatur und damit eine Rückkopplung auf den Temperaturanstieg durch eine erhöhte Albedo der Wolken.

Die hier vorgestellte Untersuchung wird in Fortführung erster, erfolgversprechender Versuche unternommen, einen Wolkenhöhenalgorithmus zu erstellen (Wu,1985). Modellrechnungen führten auf eine empirische Gleichung, mit der für einfache Fälle die Wolkenhöhe z^{top} aus Strahllichtwerten bei den Wellenlängen 755 und 761nm berechnet werden kann (Fischer u. Grassl, 1991):

$$(1) \quad z_{\bullet}^{top} = \frac{D}{R_{Sat}} + A * R_{Sat} * (B * \frac{L_{max}}{L_{Sat}} + e^{C * \frac{L_{max}}{L_{Sat}}})$$

R_{sat} stellt das Verhältnis der Strahllichten bei 761 und 755nm dar, L_{sat} steht für die gemessene Strahllichte bei 755nm und L_{max} für die maximal mögliche Strahllichte (optische Dicke unendlich) bei 755nm. A,B,C und D sind empirische Konstanten, die aus Modellrechnungen bestimmt wurden.

Abb. 1 zeigt einen Vergleich der Ergebnisse einer Wolkenhöhenmessung mit einem LIDAR-System mit aus passiven Messungen der Strahllichte abgeleiteten Wolkenhöhen, wobei für

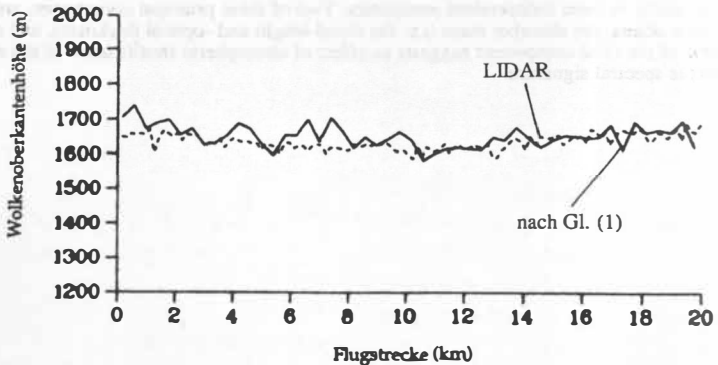


Abb. 1: Beispiel der Ergebnisse eines vorläufigen Wolkenhöhenalgorithmus der sich Gl. (1) bedient, im Vergleich mit LIDAR-Messungen. Nach Fischer u.a. (1991)

DOI: <https://doi.org/10.2312/zipe.1991.118.02>

letzere Messungen Gleichung (1) angewendet wurde (Fischer u.a., 1991).

Es ergibt sich ein mittlerer Fehler von ca. 30m. Allerdings ist dieses Verfahren auf einfache Wolkentypen (Stratus) beschränkt.

2. Meßapparatur

Die im Rahmen dieser Untersuchung vorgestellten Messungen wurden wie bei Fischer u.a. (1991) mit einem spektral auflösenden Radiometer durchgeführt, das den Handelsnamen Optical Multichannel Analyser (OMA) trägt und von der Firma EG&G vertrieben wird. Einen wichtigen Bestandteil dieser Apparatur stellt ein Gitterspektralapparat dar. Er ist in dieser Anwendung mit einem Spiegelgitter (Echelette) der Gitterkonstanten 1200/mm und einer Blazewellenlänge von 600nm als dispergierendes Bauelement bestückt. Das in der Brennebene des fokussierenden Spiegels entstehende Spektrum hat eine lineare Dispersion von 4,5nm/mm, und der Meßbereich erstreckt sich von 750 bis 782nm. Mittels einer Detektorzeile, bestehend aus 1024 Fotodioden, wird das erzeugte Spektrum aufgezeichnet, wobei für die Detektion des o.g. Wellenlängenbereiches eine Auswahl von 320 Dioden ausreicht. Der Fotodiodenzeile ist eine signalverstärkende Anordnung vorgelagert, die nach dem Prinzip eines Sekundär-Elektronen-Vervielfachers arbeitet (Mirco-Channel-Plate, MCP). Die Belichtungszeit variiert während der hier vorgestellten Messungen von 100 bis 300ms, und das Signal eines jeden Kanals wird mit 14bit Auflösung digitalisiert und auf magnetische Platte aufgezeichnet. Ein handelsübliches Foto-Teleobjektiv der Brennweite 300mm ist dem 25µm weiten Eintrittspalt so vorgeschraubt, daß die Brennebene mit der Ebene des Spaltes zusammenfällt. Zur Unterdrückung der Strahlung aus dem zweiten Beugungsmaximum des Gitters ist vor dem Eintrittspalt ein fluoreszenzarmes Kantenfilter KV 550 (Schott, Absorption für Wellenlängen kleiner 550nm) angebracht.

Während der Meßflüge wurde das Radiometer in Nadir-Blickrichtung betrieben. Aus der Abbildungsgeometrie ergibt sich eine Meßpixelgröße von etwa $10 \times 20 \text{m}^2$, wenn die Distanz der Wolke vom Flugzeug 5km und die Belichtungszeit 100ms beträgt.

Als Meßflugzeug stand ein zweistrahliges Düsenflugzeug (Falcon) der Deutschen Forschungsanstalt für Luft und Raumfahrt (DLR) zur Verfügung, das neben dem beschriebenen OMA mit einem die Wolkenhöhe mittels eines Laserstrahls messenden Lasersystem (LIDAR) ausgerüstet war. Diese LIDAR-Messungen können zu einem Vergleich mit den durch das hier vorgestellte Verfahren gewonnenen Wolkenoberkantenhöhen genutzt werden.

3. Meßkampagne

Die Meßkampagne ELAC '90 (European Lidar Airborne Campaign, Okt. 1990) wurde von der ESA (European Space Agency) finanziert und zu dem Zweck durchgeführt, für verschiedene Wolkentypen exemplarisch auf einem Gebiet von etwa $100 \times 100 \text{km}^2$ mit dem erwähnten LIDAR die Wolkenoberkantenhöhe und, wo möglich, die optische Dicke der Wolken zu ermitteln. Mit diesen Daten sollen z.B. verschiedene Fernerkundungsverfahren verbessert werden (Temperaturschichtung aus Daten des Tiros Operational Vertikal Sounder (TOVS) - Instrumentenpakets auf dem NOAA-11-Satelliten (National Ocean Atmospheric Administration), wozu die Kenntnis der Wolkenhöhe maßgebend beitragen kann, u.a.).

Während der sechs Meßflüge am 9., 10., 17., 18., 19., 25. Okt. 1990 maß das Wolkenhöhen-LIDAR den Abstand der Wolkenoberkante zum Flugzeug. Zugleich wurden von dem OMA die Spektren der aufwärtsgerichteten, rückgestreuten Strahlung gemessen, die Gegenstand unserer derzeitigen Untersuchungen sind. Eine Mission bestand dabei im zei-

lenweisen Überfliegen eines Meßfeldes der genannten Größe (fünf bis zehn Zeilen). Die Meßflüge wurden derart eingerichtet, daß zeitgleich Überfliegungen des Meßgebietes durch den Satelliten NOAA-11 stattfanden.

Die überflogenen Wolken waren des Typs Stratus, Stratocumulus, Altostratus, Altocumulus und Cirrus.

4. Auswertungsverfahren

Die Kalibrierung bzgl. der Wellenlänge erwies sich als etwas problematisch. Hier wurde vorerst auf eine Cäsium-Spektrallampe (CS/10, Osram) zurückgegriffen. Deren Licht enthält neben den Spektrallinien des Cäsiums auch solche des Argons, Kaliums und Rubidiums. Diese Elemente sind offensichtlich ebenfalls Bestandteile der Lampenfüllung. So konnten acht Linien gefunden werden, die sich für eine Kalibrierung innerhalb der Sauerstoff-A-Absorptionsbande eignen (siehe Abb. 2). Eine Anpassung einer quadratischen Funktion an die Beziehung der Spektralkanäle lokaler Strahldichtemaxima zu den Wellenlängen der korrespondierenden Spektrallinien ermöglicht so eine Kalibrierung. Zudem gibt die Gestalt einer Spektrallinie im Spektrum des OMA Auskunft über die Apparatefunktion dieses Gerätes. Die Gaussfunktion eignet sich danach besonders gut zu ihrer Beschreibung. Als Maß für das Auflösungsvermögen des Spektrometers kann außerdem die Halbwertsbreite dieser Funktion angesehen werden. Sie liegt bei 0,42nm für die weit geöffnete Objektivblende (Blendenzahl vier) und bei 0,26nm für eine Blendenzahl von elf.

Während der Auswertung der Messdaten ergab sich allerdings, daß die so erhaltene Zuordnung der Kanäle zu der Wellenlänge als über die Meßzeit nicht konstant angesehen werden kann. Dieser Effekt schlug sich in einer Verschiebung des Spektrums von bis zu 0,09nm auf der Detektorzeile (entsprechend etwa 0,4nm auf der Wellenlängenskala) nieder. Zur Korrektur dieses Meßfehlers wurde der Durchschnitt aller Spektren zum Bezugsspektrum erklärt und jedes einzelne Spektrum derart verschoben, daß sich maximale Korrelation zu dem Bezugsspektrum ergab. Die Kalibrierung des Bezugsspektrums bzgl. der absoluten Wellenlänge gelang dann mittels Spektrallinien des Sonnenspektrums (Fraunhoferlinien) von denen elf innerhalb des Meßbereiches genutzt werden konnten und die oben erwähnte Rolle der Linien der Spektrallampe übernehmen mußten. Sie sind ebenfalls in Abb. 2 gekennzeichnet und stammen vom Nickel und Eisen.

Durch einen angenommenen sich verändernden Temperaturgradienten von etwa 10K innerhalb des Spektralapparates kann der Effekt der Verschiebung des Spektrums erklärt werden, wobei diese Vermutung noch zu erhärten ist.

Zur Kalibrierung der Messung der absoluten Strahldichte dient ein geeichtes Strahldichtenormale der Firma Lichttechnik Berlin. Die leuchtende Fläche dieses Gerätes wird dicht vor das Objektiv des OMA plaziert. Der Eichkoeffizient für jeden Kanal ergibt sich dann einfach aus dem Quotienten aus der Strahldichte des Normals bei der dem Kanal zugeordneten Wellenlänge und dem Signal in dem Kanal in Counts.

Zur Auswertung einer Messung wurde nach der Wellenlängenkorrektur für jeden Kanal des betreffenden Spektrums die absolute Strahldichte berechnet und das Spektrum durch Division durch die mittlere Strahldichte in Intervallen außerhalb der Absorptionsbande (750 bis 758 nm und 774 bis 782nm) auf einen Mittelwert von 1 an diesen Randbereichen normiert. Alle so errechneten etwa 164000 Spektren aller Meßflüge wurden dann einer anschließenden Hauptachsenanalyse PCA (Principal Component Analysis) unterzogen.

5. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Hauptachsensanalyse der normierten Spektren (die Eigenvektoren und das für jeden Kanal über alle Messungen gemittelte Signal) zeigen die Abb. 2 und 3. Tabelle 1 gibt die größten sechs Eigenwerte wieder.

Nr.	1	2	3	4	5	6
Eigenwert	0,275	$0,673 \times 10^{-2}$	$0,234 \times 10^{-3}$	$0,232 \times 10^{-3}$	$0,229 \times 10^{-3}$	$0,228 \times 10^{-3}$

Tab. 1: Die größten sechs Eigenwerte der Hauptachsensanalyse der ELAC 90 Messungen

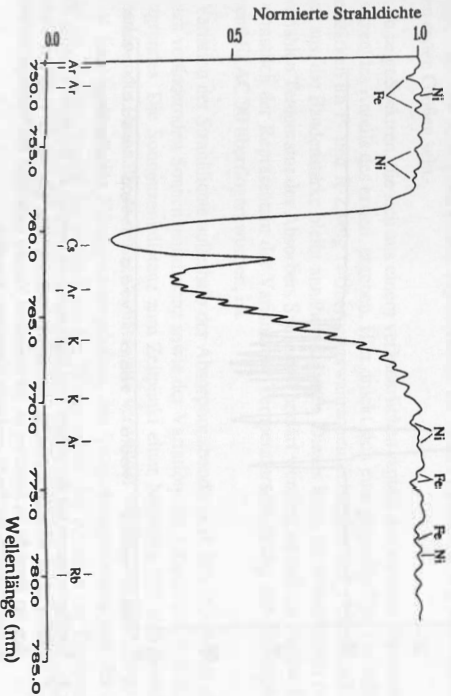


Abb. 2: Mittel aller während ELAC 90 gemessenen, normierten Spektren. Markiert sind die Lagen der Spektrallinien einer Calcium-Spektrallampe (untere Reihe) sowie Fraunhoferlinien, die zur Wellenlängenkalibrierung verwendet wurden (obere Angaben).

Offensichtlich drücken sich die Prozesse bei der Absorption und Streuung des Lichtes innerhalb der Sauerstoff-A-Bande in zwei voneinander unabhängigen Variablen aus; nur die größten zwei Eigenwerte beschreiben Varianzen, die sich signifikant von den restlichen, das Rauschen beschreibenden, unterscheiden. Bei Hinzunahme der Strahl-dichte außerhalb der Absorptionsbande, wie sie bei der Normierung der Spektren als Nebenergebnis anfällt, ergibt sich somit eine sichere Anzahl freier Parameter von drei.

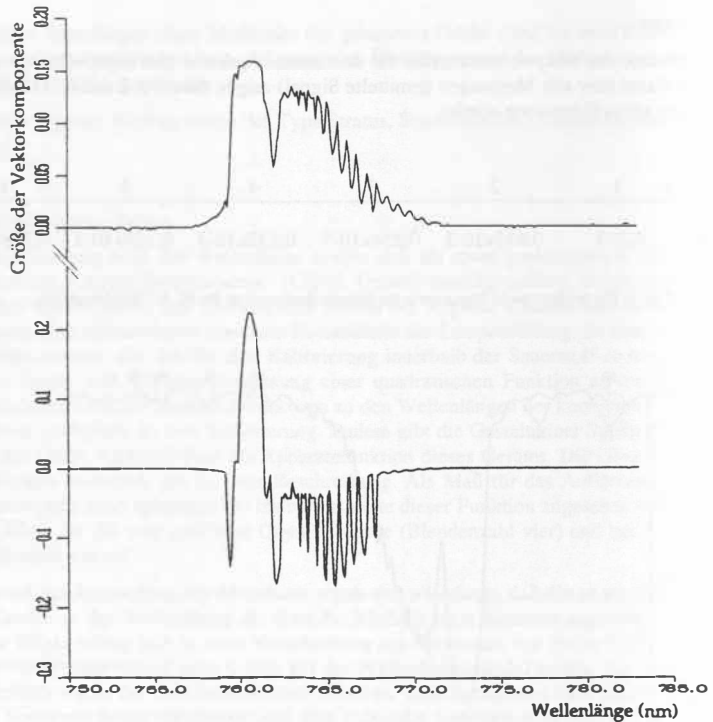


Abb. 3: Die Eigenvektoren mit den größten zwei Eigenwerten als Ergebnis der Hauptachsenanalyse aller während 'ELAC '90' aufgezeichneten, normierten Spektren. Jeder gibt das Gewicht und Vorzeichen der Bereiche im Spektrum an, die korrelierte Varianz vorweisen. Die Vorgänge, die jeder der Eigenvektoren beschreibt, sind nicht miteinander korreliert.

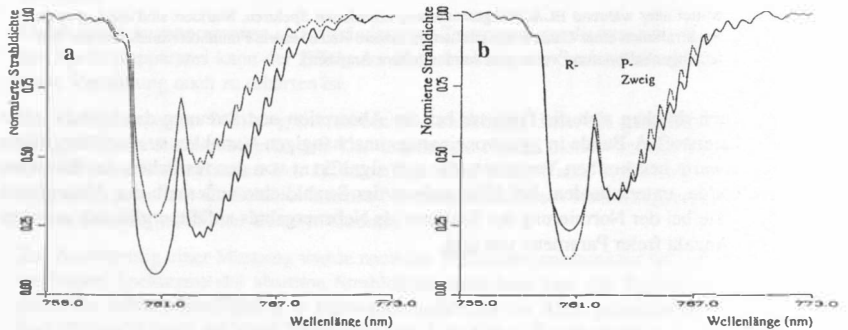


Abb. 4: Aus dem Mittel aller Messungen und den zwei Eigenvektoren zusammengesetzte Spektren (Linearkombination) mit verschiedenen Anteilen der Eigenvektoren. a) Anteil des zweiten Eigenvektors gleich Null, Anteil des ersten variiert, b) wie a), nur mit vertauschten Rollen der Eigenvektoren.

Die Zuordnung dieser drei voneinander unabhängigen Parameter zu voneinander unabhängigen physikalischen Größen ist noch nicht gesichert.

In Abb. 4a und 4b sind Spektren dargestellt, wie sie sich aus Linearkombinationen der Eigenvektoren und des Schwerpunktes (Mittel aller Spektren) ergeben. Die Anteile der Eigenvektoren wurden dabei von Fall zu Fall variiert, der Anteil des Schwerpunktes ist jedenfalls gleich 1. In Abb. 4a ist der Anteil des zweiten Eigenvektors auf Null gesetzt, und es sind zwei extreme, aber während ELAC'90 beobachtete Werte für den Anteil des ersten Eigenvektors gewählt worden. In Anbetracht dieser Abbildung liegt die Vermutung nahe, daß die physikalischen Größen, die diese Varianz begründen, die veränderliche Absorbermasse und der veränderliche Druck darstellen. Beide verändern die Linienstärke und -breite für alle Linien in gleichem Maße und sind damit die Einflußgrößen für die veränderliche Bandenstärke, die in der Abbildung zum Ausdruck kommt. Da die vom Licht durchstrahlte Absorbermasse von der Wolkenhöhe, der optischen Wolkendicke und von der Sonnenzenitdistanz, die jedoch einfach zu ermitteln ist, abhängt, muß der Anteil des ersten Eigenvektors an einem Spektrum eng verknüpft mit den beiden ersten Größen sein.

Abb. 4b zeigt Spektren, die sich aus einem veränderlichen Anteil des zweiten Eigenvektors bei Nullsetzen des Anteils des ersten ergeben. Hier drückt sich eine gegenläufige Veränderung der Linienstärken im P- und R-Zweig (=Übergangswahrscheinlichkeiten der elektronischen Übergänge) aus, die Bandenstärke bleibt annähernd gleich. Dieses kann im wesentlichen nur mit einer variablen Temperatur des Absorbers Sauerstoff erklärt werden, so daß der zweite Eigenvektor vermutlich der Repräsentant der Varianz der Temperaturschichtung der Atmosphären, die während ELAC'90 überflogen wurden, ist.

Die Variation der Strahldichte außerhalb der Absorptionsbande (z.B. bei 755nm) ist eine Folge der sich verändernden Sonnenzenitdistanz sowie der Variation der Albedo der Wolken und des Untergrundes. Die Sonnenzenitdistanz zum Zeitpunkt einer Messung läßt sich berechnen, für die Boden- oder Ozeanalbedo müssen Schätzwerte verwendet werden, und die Albedo der Wolken ist eine Funktion des Flüssigwassergehaltes, des Tröpfchenspektrums und der optischen Dicke der Wolken, so daß die Strahldichte bei 755nm neben den Anteilen der Eigenvektoren an einer Messung ebenfalls gut zu einem Algorithmus zur Bestimmung von Wolkeneigenschaften hinzugezogen werden kann.

6. Ausblick

Um das Verständnis der Beziehungen der im vorigen Kapitel genannten drei freien Parameter zu den physikalischen Prozessen zu vertiefen, ist es notwendig, den Strahlungstransport innerhalb und außerhalb der Wolken zu modellieren. Es ist geplant, mit einem vorliegenden Strahlungstransportmodell, das auf der Matrix-Operator-Methode (MOM) beruht (Grassl, 1978) und noch den gegebenen Erfordernissen anzupassen ist, den Strahlungstransport für eine große Anzahl verschiedener Wolkenkonfigurationen bei den Wellenlängen, die für die OMA-Messungen gewählt wurden, zu simulieren. Auch für die so erhaltenen Spektren sollen dann die Hauptachsen (= Richtungen der Eigenvektoren) bestimmt werden und die Ergebnisse mit denen verglichen werden, die zu den Messungen vorliegen. Das erlaubt gesichertere Rückschlüsse auf die Vorgänge, die in den Eigenvektoren (speziell im zweiten) zum Ausdruck kommen und es können Empfindlichkeitsexperimente angestellt werden, um die Bedeutung der einzelnen Prozesse bei der Lichtstreuung innerhalb der Absorptionsbande abzuschätzen.

Danach soll ein Verfahren nach dem Prinzip der 'Inversen Modellierung' aufgebaut werden, in dem Eingangsparameter des Modells (MOM) variiert werden, bis die Ergebnisse (Strahldichte

Inverse Modellierung

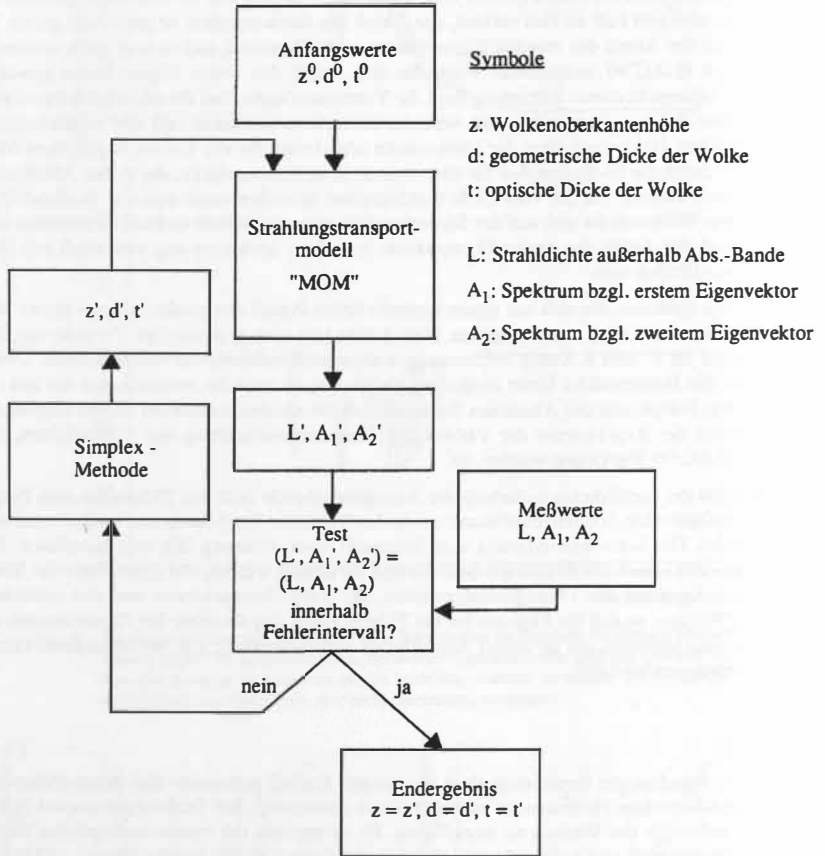


Abb. 5: Flußdiagramm der "Inversen Modellierung"

außerhalb der Absorptionsbande, Projektionen der Spektren auf die ersten zwei Eigenvektoren) mit denen der Messung innerhalb vorgegebener Grenzen übereinstimmen. Die Werte der Eingangsvariablen für diesen Fall werden dann als Messwert angenommen. Eine Übersicht dieses Verfahrens, das schon bei der Fernerkundung von Schwebstoffen erfolgreich eingesetzt worden ist (Fischer, 1983), zeigt Abb.5.

Danksagung

Wir danken Herrn Prof. Dr. Schiller für die Unterstützung und die Anregungen bei der statischen Analyse der Messdaten.

Literatur

FISCHER, J.:

Remote Sensing of Suspended Matter, Phytoplankton and Yellow Substances over Coastal Waters. - Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg, Heft 55, 85 - 95 (1983)

FISCHER, J., GRASSL, H.:

Detection of Cloud - Top Height from Backscattered Radiances within the Oxygen A Band - Part 1: Theoretical Study. - J. Appl. Met. 30, 1245-1259 (1991)

FISCHER, J., CORDES, W., MÖRL, P., RENGER, W., SCHMITZ-PFEIFFER, A.:

Detection of Cloud - Top Height from Backscattered Radiances within the Oxygen A Band - Part 2: Measurements. - J. Appl. Met. 30, 1260-1267 (1991)

GRASSL, H.:

Strahlung in getriebenen Atmosphären und in Wolken. - Hamburger geophysikalische Einzelschriften (1978)

ROECKNER, E., SCHLESE, U., BIERCAMP, J., LOEWE, P.:

Cloud optical depth feedbacks and climate modelling. - Nature 329, 138-140 (1987)

WU, M.L.:

Remote sensing of cloud-top pressure using reflected solar radiation in the oxygen A-Band. - J. Clim. Appl. Meteor 24, 539-546 (1985)

Formalisierung kartographisch-geometrischer Strukturen
für Teilprozesse der kartographischen Generalisierung

(Formal Representation of Cartographic-Geometric Structures
for Subprocesses of the Cartographic Generalization)

H. Wirth, K. Oppitz

Zentralinstitut für Physik der Erde, Potsdam

Zusammenfassung:

Die Automatisierung kartographischer Prozesse, insbesondere die Schaffung von Algorithmen für komplexe (komplizierte) Generalisierungsmaßnahmen, erfordert eine Abbildung des wesentlichen Inhalts kartographischer Begriffe und Verfahrensweisen in mathematisch formal behandelbare Modelle. Abzubilden sind inhaltlich-logische und geometrische Informationen, wobei letztere metrische und topologische Anteile enthalten. Für die Behandlung metrischer Anteile gibt es bereits verschiedene Arbeiten. Dagegen sind Modelle für eine automatische Generalisierung der inhaltlich-logischen und topologischen Anteile von Strukturen in Karten bisher wenig bekannt. Ein aussichtsreicher Modellansatz für die formale Beschreibung solcher Strukturen läßt sich mit Hilfe bewerteter Graphen formulieren.

Summary:

The automatic of cartographic processes, especially creating algorithms of complicated generalizing procedures, needs the mathematical modeling of essential features of the cartographic elements and methods. The representation in the model includes nongeometrical and geometrical information, where the last consists of metrical and topological ones. The Handling of the metrical part is discussed in various publications, but little attention has been paid to automatical generalization models of the nongeometrical and topological parts of cartographic structures. A suitable model for formal representation of such structures is yielding by the theory of weighted graphs.

1. Einleitung

Bei der Automatisierung des kartographischen Gesamtprozesses mit den Abschnitten Datenerfassung und Entsymbolisierung, Maßstabs- transformation, zweck-, maßstabs- und darstellungsabhängige Generalisierung, Symbolisierung und Kartendruck birgt die Generalisierung eine Vielzahl komplizierter, zum Teil ungelöster algorithmischer Probleme.

Die Aktualität der Forderungen nach praktikablen Lösungen folgt u.a. aus der Situation, wenn in einem Geoinformationssystem Karteninhaltsdaten in einem Basismaßstab bereitstehen und Karten kleineren Maßstabs abzuleiten sind. Eine Erfassung und Haltung kartographischer Daten in nur einem Grundmaßstab erscheint u.E. nach sinnvoll, da Erfassung und Laufendhaltung noch auf absehbare Zeit mit sehr hohem interaktivem Aufwand verbunden sein werden. Der Generalisierungsprozeß selbst muß in diesem Falle einer Vielzahl inhaltlicher, technologischer und ggf. administrativer Rahmenbedingungen hinsichtlich qualitativer und quantitativer Faktoren genügen und kann als gezielte, nichttriviale Informationsverringering der Basisdaten betrachtet werden (vgl. z.B. [1], [2]). Eine algorithmische Durchdringung und letztendliche Implementation dieses komplizierten Vorgangs verlangt

- eine weitgehende Untergliederung in überschaubare, handhabbare Teilprozesse,
- eine formale mathematische Beschreibung und darauf fußende Algorithmierung und
- eine sehr leistungsfähige objektorientierte Datenverwaltung,

wobei letzteres durch die Algorithmen und Ressourcen spezifiziert wird. Ein an diesen Anforderungen orientiertes Datenverwaltungssystem für ein Automatisches Kartographisches System wurde am Zentralinstitut für Physik der Erde entwickelt und implementiert. Darauf aufbauend entstand dann das Integrierte Raumbezogene Informationssystem IRIS ([3], [4]). Aus der Phase der Begründung und Zusammenstellung der Anforderungen stammen die Anregungen für den vorliegenden Artikel.

2. Graphentheoretischer Ansatz

Die Suche nach Lösungen komplexer (komplizierter) Generalisierungssituationen führt schnell zu der Erkenntnis, daß eine isolierte Behandlung einzelner, elementarer Karteninhaltelemente, wofür viele Verfahren entwickelt wurden (vgl. etwa [5], [6], [7], [8], [9]), insgesamt unbefriedigende Ergebnisse liefert. Die Ursache liegt in der mangelnden Einbeziehung topologischer und inhaltlicher Relationen der Karte. Besserung kann nur die Beachtung einer jeweiligen, zumeist problemabhängigen inhalt-

lichen oder geometrischen "Umgebung" solcher Objekte bringen. Als aufwendig, aber nützlich erweist sich die Einbeziehung struktureller (topologischer) Gegebenheiten. Insbesondere sind die Verbundenheit netzartiger Inhaltselemente, die Existenz spezieller benachbarter Objekte oder ein bestimmter "Mischungsgrad" verschiedener Strukturformen charakteristisch und somit bestimmend für Methodenwahl und Ergebnis eines Generalisierungsvorgangs.

Eine formale Beschreibung des Karteninhalts bedeutet eine Abbildung der Inhaltselemente auf ein entsprechendes mathematisches Modell. Eine Algorithmierung (und spätere Implementierung) zwingt zugleich zu Endlichkeitskonditionen - u.a. endlichen Elementmengen - und Charakterisierung durch möglichst wenige, aber aussagekräftige und handhabbare Parameter.

Für strukturelle Gegebenheiten liefert ein graphentheoretischer Ansatz geeignete Beschreibungsmittel. Zur Verständigung werden einige im folgenden verwendete Begriffe kurz zusammengestellt:

- Ein Graph $G = (V, E)$ besteht aus einer endlichen Menge V , $V = \{V_1, \dots, V_n\}$ (den Knoten von G), und einer Menge E , $E = \{E_1, \dots, E_m\} \subseteq V \times V$ (den Kanten von G).
- Es heißt die Anzahl n der Knoten *Ordnung* und die Anzahl m der Kanten *Größe* von G .
- Die Anzahl d_i der im Knoten V_i zusammentreffenden Kanten heißt *Grad* des Knotens V_i .
- Eine *Kantenfolge* in G ist eine Teilmenge KF von E ,
 $KF = \{E_1' = (V_1', V_1''), \dots, E_l' = (V_l', V_l'')\} \subseteq E$, (1)
wenn $V_i' = V_{i-1}''$ für alle $2 < i < l+1$ gilt.
- G ist *zusammenhängend*, wenn jeder Knoten V_j von jedem Knoten V_i über eine Kantenfolge erreichbar ist.
- Ist G zusammenhängend, so heißt eine Kante E_1 *Brücke* von G , wenn $G' = G \setminus \{E_1\}$ nicht zusammenhängend ist.
- G heißt *Baum*, wenn alle Kanten von G Brücken sind.
- Ein *Zyklus* in G ist eine geschlossene Kantenfolge in G , d.h., es gilt in (1) $V_l' = V_1''$.
- Eine *Masche*^{*)} f in einem *planaren*^{*)} (d.h. ebenen) Graphen G ist ein Zyklus Z in G , für den gilt:
 1. Z berandet eine zusammenhängende, beschränkte Fläche F ,
 2. es gibt keinen von Z verschiedenen Zyklus in G , der eine echte Teilmenge von F berandet.
- Eine Abbildung der Knoten bzw. Kanten in die natürlichen (ganzen, reellen etc.) Zahlen wird *Bewertung* (Wichtung) des Graphen genannt.

^{*)} Diese Begriffe werden hier aus Anschaulichkeits- und Platzgründen nur lax gefaßt; Definitionen sind in der Standardliteratur, z.B. in [10], zu finden.

Durch die naheliegende Zuordnung der punkt-, linien- und flächenförmigen Kartenelemente zu den Knoten, Kanten und Maschen eines entsprechenden Graphen G läßt sich strukturerhaltend die Topologie einer Karte abbilden. Eine modellmäßige Erfassung metrischer (z.B. Größe, Form, Abstand) und inhaltlich-logischer (etwa Bedeutung, Einwohnerzahl usw.) Eigenschaften kann durch eine Zuordnung von Attributen zu den Elementen von G erreicht werden.

Die algorithmische Bearbeitung eines solchen Strukturgraphen ist nur unter Einbeziehung der Attributinformation sinnvoll. Für den jeweiligen Bearbeitungsschritt werden die Attribute nach den spezifischen Gegebenheiten beurteilt und in einer Bewertung der Knoten oder Kanten ausgedrückt. (Die aus kartographischer Sicht sehr interessante und ggf. schwierige Bewertung und deren Einflußgrößen sollte nicht Gegenstand dieses Artikels sein.) Der so bewertete Graph enthält schließlich sowohl die nicht- als auch die strukturelle Information in einer Form, die für eine Algorithmerstellung vorteilhaft ist. Davon ausgehend können spezielle Forderungen der Strukturgeneralisierung wie

- Erkennung und Klassifikation von Strukturen,
- gezielte Strukturveränderungen oder
- Kontrolle von Ergebnissen bezüglich eines Strukturtyps

bewältigt werden. Die eingangs zusammengestellten Begriffe erlauben zunächst eine Typisierung kartographisch-geometrischer Strukturen durch wenige Parameter:

Sei $d_{\min} = \min(d_i, i=1, \dots, n)$ das Minimum der Grade aller Knoten V_1, \dots, V_n eines zusammenhängenden, planaren Graphen G . Dann ist

- G ein Baum $\iff m = n-1$,
- G ein Netz $\iff d_{\min} > 1$,
- G eine Mischstruktur (aus Baum und Netz)
 $\iff m > n-1$ und $d_{\min} = 1$.

Aus kartographischer Sicht ist oft eine Charakterisierung des Mischungsverhältnisses zwischen Baum- und Netzstruktur von Bedeutung, da reine Baum- oder Netzstrukturen praktisch selten sind. Sei g_i die Anzahl der Kanten des Zyklus Z_i des Graphen G , dann ist

$$g_{\min} = \min(g_i, i=1, \dots)$$

die Kantenzahl des kleinsten Zyklus von G . Weiterhin sei f die Anzahl der Maschen und m die Anzahl der Kanten von G , dann läßt sich ein Mischungsgrad

$$k(G) = \frac{f * g_{\min}}{2m - g_{\min}}$$

als Verhältnis der minimal an der Maschenbildung beteiligten Kanten zur Gesamtzahl der Kanten definieren. Man kann zeigen, daß für den Mischungsgrad von G folgendes gilt:

- $0 \leq k(G) \leq 1$
- $k(G) = 0 \iff G$ ist ein Baum
- $k(G) = 1 \iff G$ ist ein *vollständiges Netz* (d.h., jeder Knoten von G ist mit jedem anderen über genau eine Kante verbunden)
- $k(G)$ wächst monoton mit zunehmender Vernetzung.

Diese Eigenschaften von $k(G)$ ermöglichen, eine automatische Typisierung (Klassifizierung) von Mischstrukturen vornehmen zu können, indem eine den Klassen entsprechende Einteilung des Wertebereiches von $k(G)$ in Intervalle vorgenommen wird. Beispielsweise könnte man einfach folgende zwei Klassen von Mischstrukturen bilden:

- $0 < k(G) = 0.5$: überwiegende Baumstruktur,
- $0.5 < k(G) < 1$: überwiegende Netzstruktur.

In Abhängigkeit von den praktischen Erfordernissen sind jedoch auch andere und verfeinerte Einteilungen möglich.

Von entscheidender Bedeutung ist, daß eine automatische Erkennung von Strukturtypen an Hand verhältnismäßig weniger Parameter (n , m , f , d_{\min} , g_{\min} , $k(G)$) algorithmisch möglich wird. Zugleich sind damit auch Mittel gegeben, automatisch zu prüfen, ob nach Generalisierungsmaßnahmen der Strukturtyp erhalten geblieben ist oder ob eine gewollte bzw. ungewollte Veränderung des Strukturtyps eingetreten ist. Abb. 1 zeigt einfache Beispiele für Graphen unterschiedlicher Typen.

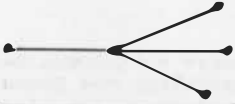
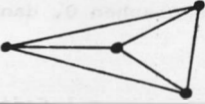

Beispiel	graphentheoretische Charakteristik			
	Baum	$n = 5$ $m = 4$ $f = 0$	$d_{\min} = 1$ $g_{\min} = 0$ $k(G) = 0$	
	(vollständiges) Netzwerk	$n = 4$ $m = 6$ $f = 3$	$d_{\min} = 3$ $g_{\min} = 3$ $k(G) = 1$	
	Mischstruktur	$n = 4$ $m = 5$ $f = 2$	$d_{\min} = 1$ $g_{\min} = 2$ $k(G) = 0.5$	

Abb. 1: Beispiele einfacher Graphen

Das dargelegte Konzept der Typisierung geometrischer Strukturen in Karten ist erweiterbar und verfeinerbar z.B. dadurch, daß nicht nur die genannten Parameter, sondern erforderlichenfalls noch Merkmale der statistischen Verteilungen der Grade der zur Struktur gehörenden Knoten oder der Anzahlen der die Maschen bildenden Kanten herangezogen werden.

3. Anwendung in der Strukturgeneralisierung

Auf der Grundlage der voranstehenden Betrachtungen lassen sich nun Strategien und Algorithmen für eine strukturerhaltende Generalisierung von hauptsächlich topologisch geprägten Strukturen entwickeln:

Mit der Ausgangssituation beginnend wird zunächst ein entsprechender Strukturgraph aufgestellt und bewertet, so daß alle Randbedingungen erfaßt sind. Unter Zugrundelegung der Generalisierungsaufgabe lassen sich nun die Schritte entsprechender Algorithmen ableiten. Nachfolgend wird dies für die (einfachen) Fälle einer baum- und netzstrukturerhaltenden Vereinfachung exemplarisch ausgeführt. Schließlich werden den im Ergebnis entstehenden Strukturgraphen wieder kartographische Elemente zugeordnet.

Die Erhaltung einer reinen Baumstruktur ist nur möglich, wenn bei der Generalisierung nur Knoten 1. Grades und die ankommende bzw. abgehende Kante gemeinsam getilgt werden. Alle Knoten V_i mit $d_i > 1$ sind nicht zu berücksichtigen. Bei einem Teil der V_i wird nach diesem ersten Schritt der Generalisierung der Grad um eine Stufe verringert, so daß Knoten 2. Grades zu Knoten 1. Grades werden und ein weiterer Generalisierungsschritt ermöglicht wird. Auf keinen Fall darf eine Kante allein getilgt werden, da alle Kanten Brücken sind. Die Entscheidung darüber, ob ein Knoten 1. Grades mit der zugehörigen Kante gelöscht werden darf, wird mit Hilfe eines Gewichtes, das dem Knoten oder der Kante zugeordnet ist, gefällt. Als Gewichte werden bei der kartographischen Generalisierung gewisse Mindestlängen der Kanten bzw. die "Bedeutung" des Knotens oder der Kante sowie auch Kantendichten pro Flächeneinheit verwendet. Mit Hilfe solcher Gewichte wird eine Auswahl der abzuschneidenden "Blätter mit Stiel" gewährleistet, die z.B. bei der Generalisierung von Flußsystemen zur Erhaltung der Längen der Hauptzweige notwendig ist.

Der Algorithmus ist in Abb. 2 schematisch dargestellt. Seine Funktionsweise wird an der Generalisierung eines fiktiven Flußsystems in Abb. 2a bis 2d demonstriert.

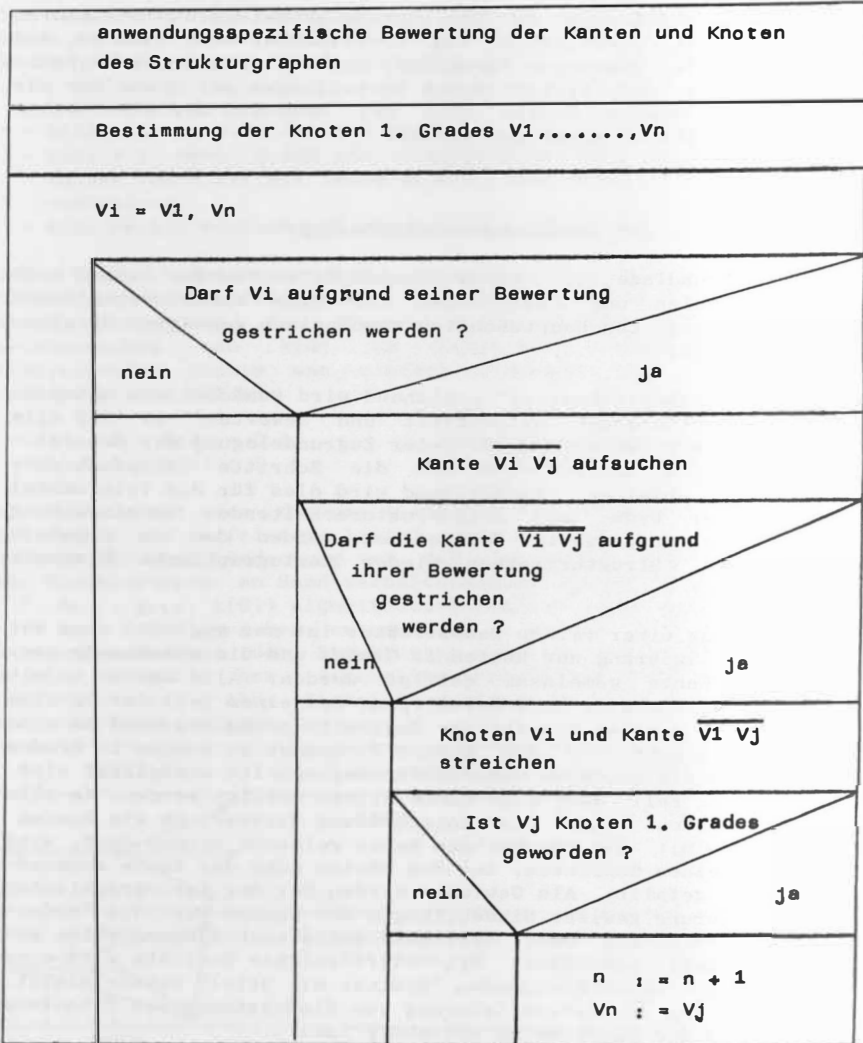


Abb. 2: Baumstrukturerhaltender Generalisierungsalgorithmus

Beispiel für eine Anwendung des baumstrukturerhaltenden Generalisierungsalgorithmus:

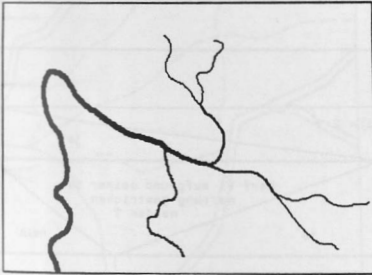


Abb. 2a: Flußsystem

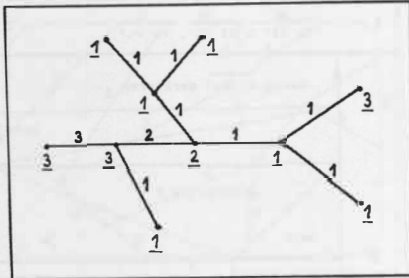


Abb. 2b: Zugeordneter bewerteter Strukturgraph

1, 2, 3 -- Knotengewichte
1, 2, 3 -- Kantengewichte

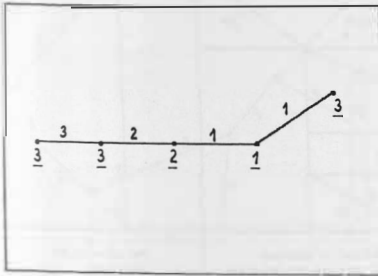


Abb. 2c: Generalisierter Strukturgraph (Auswahlsschranke 1.5 für Knoten, 1.5 für Kanten)

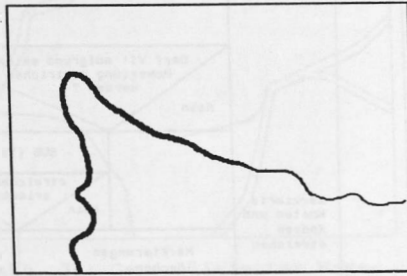


Abb. 2d: Generalisiertes Flußsystem

Zur Erhaltung einer reinen Netzstruktur sind im Prinzip Maschen zu vereinigen, was gleichbedeutend damit ist, daß Kanten unter der Bedingung, daß $d_{min} > 1$ erhalten bleibt, für die Struktur getilgt werden. Auch in diesem Fall können den Knoten, Kanten oder Maschen bestimmte thematisch inhaltsbezogene Gewichte zugewiesen werden, um eine Auswahl der zu entfernenden Kanten vornehmen zu können. Als Gewichte werden Bedeutungswerte von Knoten oder Kanten, die Kantenlänge sowie die inhaltliche Unterschiedlichkeit bzw. Gleichheit der "links" und "rechts" liegenden Maschen, der Flächeninhalt und die inhaltliche Bedeutung einer Masche verwendet.

Nach der Tilgung von Kanten ist eine Tilgung von Knoten 2. Grades möglich, sofern ihre Gewichte unterhalb eines vorgegebenen

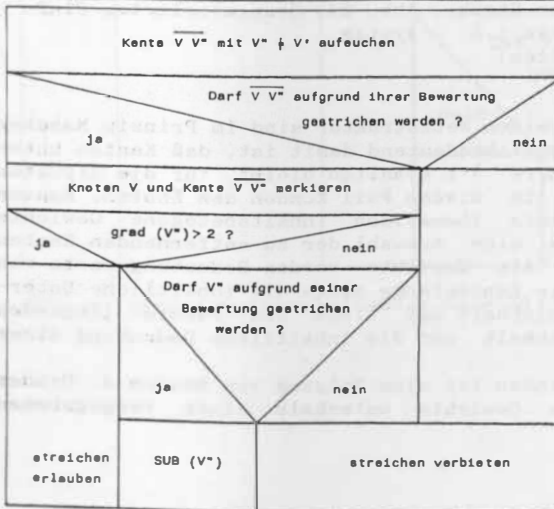
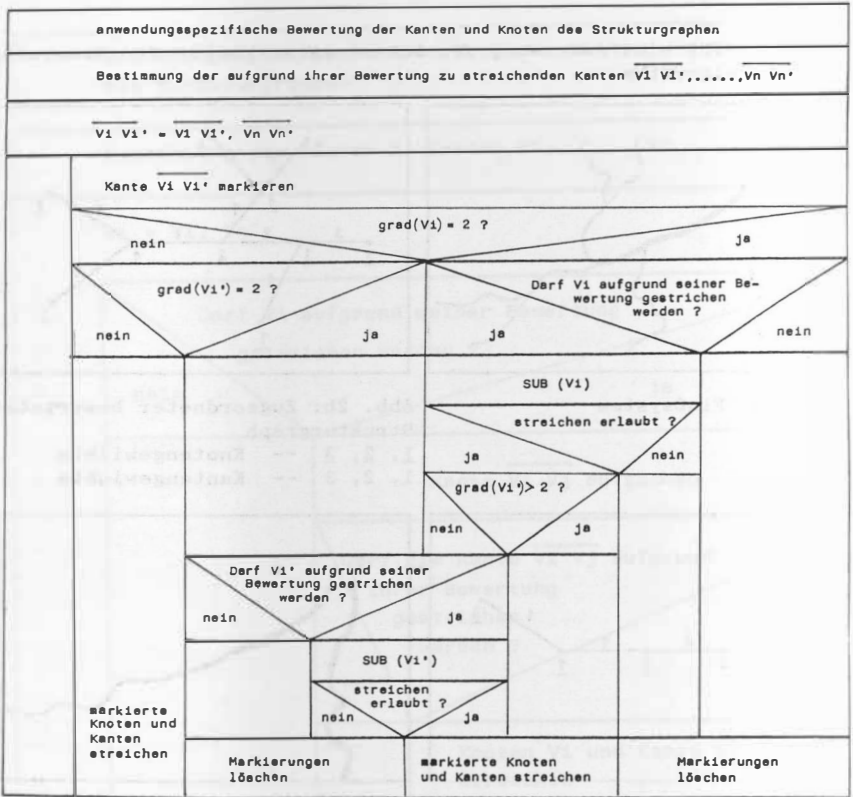


Abb. 3: Netzstruktur-erhaltender Generalisierungsalgorithmus

SUB (V): Behandlung des Knotens V einer Kante $\overline{V V'}$ mit grad(V) = 2

Beispiel für eine Anwendung des netzstrukturerhaltenden Generalisierungsalgorithmus:

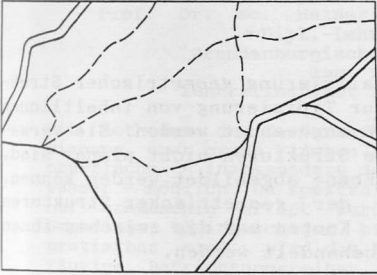


Abb. 3a: Wegenetz

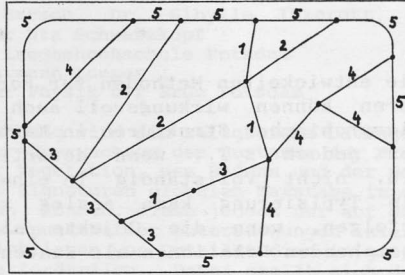


Abb. 3b: Zugeordneter bewerteter Strukturgraph
1, ..., 5 -- Kantengewichte

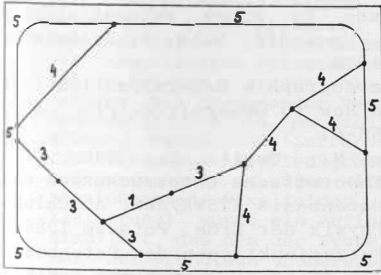


Abb. 3c: Generalisierter Strukturgraph (Auswahlschranke 2.5 für Kanten)

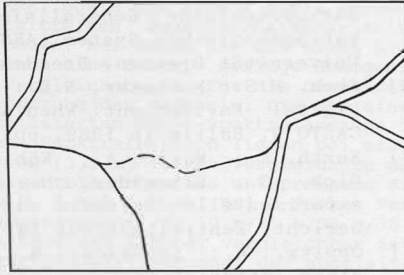


Abb. 3d: Generalisiertes Wegenetz

Sollwertes liegen. Nach jedem Generalisierungsschritt ist die Einhaltung der Bedingung $d_{min} > 1$ zu überprüfen. Besondere Aufmerksamkeit ist den Kanten in einem Netz zu widmen, die "Brücken" sind, da ihre Tilgung den Zerfall des Netzes in getrennte Teilnetze und damit eine Änderung des Strukturtyps zur Folge hätte.

Abb. 3 enthält das Schema dieses netzstrukturerhaltenden Algorithmus. Am Beispiel der Generalisierung eines fiktiven Verkehrsnetzes (Abb. 3a bis 3d) wird die Leistungsfähigkeit des erläuterten Algorithmus deutlich.

Für die strukturerhaltende Generalisierung von Mischstrukturen können aus dem voranstehenden ebenfalls günstige Strategien und Algorithmen abgeleitet werden, die jedoch meist weitaus umfang-

reicher sind. Bestimmend für die Erhaltung des Mischstrukturtyps sind Prüfungen von $d_{min} = 1$ und des für das Mischungsverhältnis charakteristischen Parameters $k(G)$.

* * *

Die entwickelten Methoden zur Formalisierung geometrischer Strukturen können wirkungsvoll auch zur Typisierung von inhaltlichen hierarchischen Strukturen in Karten angewendet werden. Sie versagen jedoch z.T., wenn derartige Strukturen nicht planar sind, d.h. nicht vollständig in eine Ebene abgebildet werden können. Die Typisierung kann analog zu der geometrischer Strukturen erfolgen, wenn die Objekte als Knoten und die zwischen ihnen bestehenden Relationen als Kanten behandelt werden.

Literatur:

- [1] Grieß, H.: Konzeption zur Entwicklung der Grundlagen für die kartographische Generalisierung in einem automatisierten kartographischen System (AKS). Unveröff. Diss. B, Technische Universität Dresden, Dresden 1988
- [2] Shea, K.S.; McMaster, R.B.: Cartographic Generalization in a Digital Environment: When and How to Generalize. Proc. AUTO CARTO 9, Baltimore 1989, pp. 56-67
- [3] Kurth, K.; Wirth, A.; Köhler, M.; Oppitz, K.; Kühn, A.; Dick, G.; Schneider, M.: Theoretische Untersuchungen und experimentelle Software zur Datenbasis KTSWK/AKS. Abschlußbericht, Zentralinstitut für Physik der Erde, Potsdam 1988
- [4] Oppitz, K.; Schneider, M.: Nutzerfunktionen der Datenbasis eines Integrierten Raumbezogenen Informationssystems (IRIS). Abschlußbericht, Zentralinstitut für Physik der Erde, Potsdam 1989
- [5] Töpfer, F.: Mathematische Grundlagen der kartographischen Generalisierung. Verlag VEB Hermann Haak, Gotha 1974
- [6] Franke, U.: Untersuchungen zur Anwendung der Graphentheorie für die automatisierte kartographische Bearbeitung linearer Elemente. Vermessungstechnik, Berlin 25(1977)6, S. 205-208
- [7] Frank, A.: Datenstrukturen für Landinformationssysteme - semantische, topologische und räumliche Beziehungen in Daten der Geowissenschaften. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Mitteilung Nr. 34, Zürich 1983
- [8] Meyer, U.: Generalisierung der Siedlungsdarstellung in digitalen Situationsmodellen. Diss., in: Wiss. Arb. d. Univ. Hannover, Nr. 159, Hannover 1989
- [9] Mark, D.M.: Conceptual Basis for Geographic Line Generalization. Proc. AUTO CARTO 9, Baltimore 1989, pp.68-77
- [10] Bollobás, B.: Graph Theory, An Introductory Course. Springer Verlag, New York-Heidelberg-Berlin 1979

Charakteristik der Spektralsignatur von Steppenlandschaften und deren Stabilität beim Wechsel der Betrachtungsebenen - Ergebnisse des Interkosmos-Experiments GEOMON-89/90

Prof. Dr. sc. Heiner Barsch, Dr. Sibylle Itzerott,
Dipl.-Lehrer Uta Schwarzkopf
Brandenburgische Landeshochschule Potsdam
Ing. Hermann Loeper
Zentralinstitut für Physik der Erde Potsdam

Mit Methoden der Geofernerkundung wird die zeitgleiche Datengewinnung über große Flächen zur Überwachung des Zustands der Erdoberfläche - insbesondere der Vegetation, des Bodens und der Gewässer - möglich. Da spektrale Signaturen globalen Maßstabs immer nur grobmaschig erfaßt werden können, diese jedoch nur auf der Grundlage kleinmaschiger bzw. punkthafter Untersuchungen interpretierbar sind, wird das Einbringen von Detailstudien in großräumige Betrachtungsreihen erforderlich. Dabei stellt sich das Problem der Beherrschung des Aufstiegs in der Betrachtungshierarchie, das mit Methoden der Maßstabsverkleinerung zu lösen ist. Am Beispiel einer mongolischen Steppenlandschaft wurde die Spektralcharakteristik der Vegetation und deren Stabilität beim Maßstabswechsel untersucht. Als Aufnahmesysteme fanden das modulare Multibandradiometer BARNES (MMR) sowie die Kamera MSK-4 Verwendung. Die spektrometrisch ermittelten Spektralcharakteristika repräsentativer Standorte am Boden, bei denen die mit einem Signal abgebildeten Pflanzenbestände eine relativ geringe Homogenität aufwiesen, dienen als Vergleichsbasis für die Signalverfolgung bei zunehmender Vergrößerung der Meßbasis. Die mit einer Scanweite von 80 µm digitalisierten MSK-4-Spektralauszüge im grünen, roten und infraroten Spektralbereich ließen bei einer resultierenden Meßfleckgröße von (3,5 m)² einen Vergleich zu den Bodenmessungen zu. Über Mittelwertbildung eines entsprechend dimensionierten Pixelfeldes (z.B. 3 mal 3 Pixel bei 3-facher Verkleinerung) wurde ein Auflösungsvermögen von 10 m/21 m/35 m/70 m simuliert, das dem der Systeme SPOT und LANDSAT vergleichbar ist. Auf der Grundlage unüberwachter Klassifizierungen der abgeleiteten Merkmale NDVI und VM (Vegetationsmerkmal) mit einer Differenzierung in sechs Vitalitätsklassen ließ sich ein Vergleich zur Aussagefähigkeit der unterschiedlichen Datenebenen führen. Über den Anteil der jeweiligen Vitalitätsklassen an der Gesamtfläche konnten Aussagen zu eventuellen Verschiebungen in der Verteilung der spektralen Merkmale beim Maßstabswechsel abgeleitet werden. Im Ergebnis wurde deutlich, daß sich Vegetationsunterschiede auf allen Betrachtungsebenen abzeichneten, jedoch geht eine Maßstabsverkleinerung immer mit einer Verlagerung der Häufigkeitsbelegung der einzelnen Klassen zugunsten der dominierenden Vitalitätsklasse einher, d.h., auch bei wachsender Pixelgröße bleibt eine generelle Differenzierung hinsichtlich bestehender Vitalitätsunterschiede möglich, wobei allerdings Extrema (Klassen maximaler und minimaler Vitalität) zunehmend verschwinden - die Szene unterliegt einer Generalisierung. Von dem Bedeutungsverlust der Extremklassen 1 und 6 werden demzufolge sehr hoch bzw. sehr gering vitale Areale stärker beeinflußt als solche mit mittlerer Vitalität. Dieser Effekt konnte sowohl auf anthropogen geprägten landwirtschaftlichen Nutzflächen als auch auf naturnahen Beständen unterschiedlicher Heterogenität beobachtet werden und sollte bei der Anbindung von Hoch- /Niedrigbefliegungsdaten unterschiedlicher Heterogenität an Satellitendaten Berücksichtigung finden.

Die Auswertarbeiten der Spektralmessungen zu diesem Vorhaben wurden mit Mitteln der Deutschen Agentur für Raumfahrtangelegenheiten (DARA) GmbH (Förderkennzeichen 50 D03190) gefördert.

Preprocessing of Multitemporal and Multisource Digital Images in Remote Sensing

Jan Flusser

Institute of Information Theory and Automation
Czechoslovak Academy of Sciences
Pod vodárenskou věží 4, 182 08 Prague 8, Czechoslovakia

Analysis of two or more digital images of the same scene taken from different places or at different times often requires registration of the images.

Image registration is a process of overlaying two images of the same scene. This process is one of the most important parts of the preprocessing of multitemporal image sequences. Any multitemporal classification, monitoring or change detection are not possible without accurate registration.

Image registration consists of three main steps:

- 1) Selection of control points in the both images and determination of the correspondence between them.
- 2) Determination of the type and parameters of mapping function using known coordinates of control points.
- 3) Geometric transformation of the first image into the second one by means of the mapping function.

In this paper, new approach to steps 1) and 2) is presented.

Control point selection is done via feature-based object matching. Closed boundary regions (fields, forests, lakes) are segmented in the both images. Of course, in the first image can be extracted regions which are not extracted in the second one and vice versa. The shape of the region is taken as a feature. A space- and scale-invariant shape description via coding into a binary *shape matrix* is given. Properties of the shape matrix are discussed and the similarity relation between two shapes is defined. The presented matching algorithm consists on solving of a min-max problem in the feature metric space. In order to minimize the possibility of the false match, we define the *matching likelihood coefficient* that expresses the degree of reliability, with which two regions correspond each other. After the correspondence between the regions has been established, the centers of gravity of the corresponding regions are taken as the control points.

The determination of the mapping function (step 2) is very important for the accuracy of registration. It has two parts – selection of the appropriate type of function and determination of its parameters from given control point coordinates. In this paper, a new adaptive method for determination of the mapping function is presented. The *Adaptive Mapping algorithm* (AM) consists in dividing the image into smaller subregions of a simple shape (squares, triangles, etc.). In each of these subregions, the local approximation of the surface spline mapping function by a more simple mapping function is performed. The size of each subregion is adaptively determined by the algorithm depending on the character of geometric distortion between the images. In such a way, the error of the approximation on each subregion is smaller than the parameter ϵ given in advance by the user.

In order to show the performance of the proposed registration techniques, several experiments were carried out and their results are exhibited on slides. The most interesting results are the registration of satellites images from SPOT and Landsat TM and registration of multitemporal aerial images, obtained by a videocamera.

Die Verknüpfung von Satellitendaten mit digitaler Geoinformation für wirtschaftliche Planungszwecke

Dr. Michael Heiss
Spacemap Gesellschaft für Fernerkundung
und Bilddatenverarbeitung mbH

Am Einzugsgebiet des Niedersächsischen Flusses Hunte soll die Aufbereitung von Satellitendaten und ihre Verknüpfung mit digitaler Geoinformation für wasserwirtschaftliche Planungszwecke demonstriert werden. Die in Form von Landsat-TM-Daten vorliegenden Satellitendaten (Aufnahmedatum 5/89) wurden in 10 Landnutzungstypen klassifiziert. Anschließend wurden die Bilddaten vektorisiert und zusammen mit dem bereits digital erfassten Gewässernetz (topographische Karte 1987) in einem Geoinformationssystem gespeichert.

Die Integration von Bilddaten (TM-Landnutzung) und Geoinformation (Gewässernetz) in einem System erlaubt vor allem zwei Operationen:

Visualisierung von Bilddaten und Geoinformation auf demselben Ausgabemedium (Terminal, Plotter, usw.).

Überprüfung und Korrektur (update) der Geoinformation durch Interpretation der Bilddaten in einem Arbeitsschritt (interaktiv).

Im Einzugsgebiet der Hunte wurden auf diese Weise alle stehenden Gewässer bearbeitet. Künstliche Seen neueren Datums (z.B. Kiesbaggerseen) wurden interaktiv am Bildschirm aufgespürt und nachkartiert (on screen digitizing).

Waldüberwachung und Waldschadensüberwachung
durch Fernerkundung: Ansätze und Probleme

von

H. Kenneweg

Technische Universität Berlin
Institut für Landschafts- und
Freiraumplanung - Sekr. FR 2 - 6
Landschaftsplanung/Landschafts-
pflege und Naturschutz
Franklinstr. 28 - 29, 1000 Berlin 10

Fernerkundungsanwendung in der ökologischen Forschung muß anwendungsbezogen geplant und organisiert werden. Das bedeutet die Auswahl oder Modifizierung komplizierter technologischer Bausteine und Methoden für die komplex-spezifischen Anforderungen der jeweiligen Fragestellung.

Am Beispiel des Harzprojekts, wo es um die Nutzung schädigungsbedingter Änderungen der Spektralsignaturen für die prinzipiell großräumige Überwachung der Waldschadensentwicklung geht, werden charakteristische Probleme und Lösungsansätze diskutiert, insbesondere

- Informations- und Planungsebenen, Befundeinheiten;
- Optimierung des Inventurverfahrens durch Kombination von Fernerkundungskomponenten mit Zusatzdaten;
- Das Problem der Vergleichbarkeit von Inventurbefunden:
 - "herkömmliche" und auf Fernerkundung beruhende Verfahren
 - Die Verifizierung von Ergebnissen (Genauigkeitsnachweis)
 - Zeitvergleiche und Änderungsnachweise
 - unterschiedliche Befundeinheiten und Fernerkundungsansätze (z.B. Satellitenfernerkundung gegenüber der Interpretation großmaßstäbiger Luftbilder).

Bisherige Erfahrungen werden dargestellt, auf die noch ungeklärten Probleme und den resultierenden Forschungsbedarf wird verwiesen.

KLASSIFIZIERUNG UND FLÄCHENBILANZ DER HAUPTFRUCHTARTEN IM LANDKREIS LUDWIGSBURG FÜR DAS JAHR 1990

H.-G. Klaedtke, Institut für Navigation,
M. Kleyer, Institut für Landschaftsplanung,
Universität Stuttgart, Keplerstr. 11,
7000 Stuttgart - 1

Operationell arbeitende optische Sensoren auf Satelliten liefern seit Anfang der siebziger Jahre flächendeckende Abbildungen von der Erdoberfläche. Durch diese laufenden Raumbesichtigungen können aktuelle Land- bzw. Bodennutzungen ermittelt und für landespolitische Planungen und Verwendungen in einem Landschaftsinformationssystem bereitgestellt werden.

Unser Auswertemodell zur Klassifizierung von Satellitenbildern folgt einem multitemporalen und multisensoralen Ansatz, um die Landnutzung optimal zu differenzieren. Somit wurde die Bestimmung der Land-/Bodennutzung unterschieden in Flächen, die keiner jährlichen Nutzungsänderung (z. B. Wasserflächen, aufgesiedelte Gebiete und Flächen mit dichtem und lockerem Baumbestand) unterliegen und in Flächen, die einer jährlichen Nutzungsänderung (hauptsächlich ackerbaulich genutzte Flächen) unterliegen.

In diesem Beitrag werden Ergebnisse einer multitemporalen Auswertung von Landsat-5-TM-Bilddaten für ein ganzes Kreisgebiet, dem Landkreis Ludwigsburg, vorgestellt. Auswertungen ohne und mit Sonnenstands- und Atmosphärenkorrektur werden gegenübergestellt und mit den amtlichen Flächenanteilen der Hauptfeldfruchtarten (Getreide und Hackfrüchte) verglichen. Diese wurden vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg im Rahmen der "Besonderen Erntetermineitlung (BEE)" über ein terrestrisches Stichprobenverfahren ermittelt. Neben eigens erhobenen Felddaten wurden auch die Stichprobenfelder vom Statistischen Landesamt für die Klassifizierung und die Validierung verwendet.

Die Erhebung der Felddaten erfolgte parzellenscharf mittels eines Geographischen Informationssystems entsprechend der in Zukunft zur Verfügung stehenden Automatischen Liegenschaftskarte (ALK). Die Übertragung der Vektordaten und deren Überlagerung im Satellitenbild wurden weitgehend operationalisiert.

Verwendung von digitalisierten KFA-1000-Aufnahmen in Kombination mit Landsat-TM- und SPOT-HRV-Aufnahmen

H.-G. Klaedtke
 Institut für Navigation
 Universität Stuttgart
 D-7000 Stuttgart 10

Hartmut Ziemann
 Fotografi och Sensorfysik
 Königlich Technische Hochschule
 S-100 44 Stockholm

Eine nahezu wolkenfreie KFA-1000-Aufnahme des Stuttgarter Raumes vom Mai 1985 wurde 1989 erworben und digitalisiert, um rechnergestützte Auswertungen zu ermöglichen. Die Aufnahme wurde an einem Gerät der Firma Dr. Hell mit einer Bildelementgröße von $12,5 \mu\text{m}$ digitalisiert. Die so gewonnenen Daten wurden für folgende Aufgabenstellungen untersucht: (1) flächendeckende Bestimmung des Versiegelungsgrades im Stadtkreis Stuttgart, (2) Klassifizierung zur Bestimmung von Flächen dichten und lockeren Baubestandes, Wasserflächen und Weinanbaugebieten, (3) Erzeugung eines Satellitenbildplanes für den Großraum Stuttgart.

Für das von der KFA-1000-Aufnahme erfaßte Gebiet liegen auch Daten von Landsat-TM- und SPOT-HRV-Aufnahmesystemen für verschiedene Sommer-Aufnahmezeitpunkte vor. Damit war es zum Beispiel möglich, eine Verschneidung der KFA-1000-Aufnahme mit einer Landsat-TM-Aufnahme vom Sommer 1987 für die Herstellung des Satellitenbildplanes durchzuführen.

Die Arbeit berichtet zusammenfassend über diese Projekte.

Im ersten Projekt standen als Ausgangs- und Vergleichsdaten für den Versiegelungsgrad der bebauten Gebiete digitalisierte Daten im Vektorformat zur Verfügung. Diese Daten waren weitgehend durch Luftbildinterpretation bestimmt worden und wurden für das beschriebene Projekt in Rasterdaten überführt. Damit wurde ein direkter Vergleich dieser Daten mit denen der Satellitenbildauswertung auf der Grundlage von Rasterdaten ermöglicht.

Im Rahmen des zweiten Projektes waren zunächst Auswertungen unter gleichzeitiger Verwendung von Landsat-TM- und SPOT-HRV-Daten durchgeführt worden. Das Vorliegen der KFA-1000-Daten veranlaßte eine erneute Auswertung. Die verwendeten Landsat-TM- und SPOT-HRV-Aufnahmen waren sämtlich aus den Monaten Juli bis September. Eine erneute Auswertung auch unter Heranziehung einer Mai-Aufnahme verspricht eine wesentlich bessere Bestimmung zum Beispiel der Weinanbaugebiete.

Das dritte Projekt zielte auf eine Kombination der Auflösung der KFA-1000-Aufnahme mit den spektralen Eigenschaften der Landsat-TM-Kanäle 1, 2, 3 und 5 (zur Bildkontraststeigerung) hin. Verwendet wurde hier eine Aufnahme vom Sommer 1987. Die Kombination der beiden Aufnahmen erfolgte mit einer Bildelementgröße von $5 \times 5 \text{ m}^2$.

Untersuchungen zu Eigendimensionalität und Informationsgehalt multispektraler Fernerkundungsdaten mittels Hauptkomponentenanalyse

Dipl.-Phys. Harald Krawczyk
 Institut für Kosmosforschung Berlin

Bei der Interpretation von Remote-Daten besteht das Endziel für einen Nutzer darin, das gemessene multispektrale Signal physikalischen Parametern zuzuordnen. Im Falle des Systems Atmosphäre/Ozean sind das z.B. Konzentrationen von Wasserinhaltsstoffen oder die optische Dicke der Atmosphäre. Die Interpretationsmöglichkeiten werden dabei von einer Reihe von Faktoren beeinflusst, wie den Geräteparametern (Kanalzahl, Kanallage, Bandbreite, Meßfehler...), Eigenschaften des physikalischen Systems (welche Parameter variieren wie stark und mit welcher Korrelation untereinander). Im Falle der Untersuchung des Ozeans resultiert daraus, daß für unterschiedliche Gebiete oder unterschiedliche Wassertypen verschiedene Interpretationsalgorithmen herangezogen werden müssen. Für den Nutzer, der die Daten erhält, stellen sich u.a. folgende Fragen:

- Wieviele Parameter sind aus der Messung ableitbar?
- Welcher Art sind diese Parameter (im physikalischen Sinne)?
- Mit welcher Genauigkeit sind sie bestimmbar?

Gleichzeitig möchte der Nutzer über Möglichkeiten verfügen, das auf Grund der Vielzahl der Spektralkanäle immens große Datenvolumen möglichst effizient in kompakter Form darzustellen (z.B. unter Benutzung einfacher einparametriger Auswerteverfahren), ohne einen für seine Probleme relevanten Verlust von Information in Kauf nehmen zu müssen.

Die Frage nach der Anzahl und Art der interpretierbaren Parameter ist eng mit den in der Literatur zu findenden Begriffen der inneren Dimensionalität und dem Informationsgehalt verbunden. Die Hauptkomponentenanalyse stellt eine effektive Methode zur Untersuchung dieser Fragestellung dar.

An Hand von Untersuchungen multispektraler Daten über Wasser im sichtbaren sowie nahen Infrarotbereich soll ein Herangehen an diese Problematik über die Maximierung des Signal-Rausch-Verhältnisses von abzuleitenden Parametern erläutert und an Beispielen demonstriert werden. Die Forderung nach dem Extremum des SNR führt zu der Schlußfolgerung, daß die Hauptkomponenten der fehlernormierten Daten die 'informativsten' Parameter sind.

Die so erhaltenen Ergebnisse werden mit einigen ausgewählten Auswerteverfahren verglichen, um Aussagen zu deren Interpretationsgehalt zu gewinnen und umgekehrt einen Zugang zur physikalischen Interpretation der Hauptkomponenten zu gewinnen.

Nutzung von Fernerkundungsmethoden zum Strahlungs- und
ökologischen Monitoring in Weißrußland

I.I. Lischtvan, L.I. Kiselevski, A.A. Kovaljov,
S.B. Kostjuevitsch, A.F. Fedotkin
Belorussisches Zentrum für Ökologie, Minsk

Es werden ein System der Organisation und experimentelle Ergebnisse der Arbeiten vorgestellt, die zur komplexen ökologischen und Strahlungsüberwachung in Weißrußland durchgeführt wurden. Dabei kamen technische Mittel aus dem Weltraum und aus Flugzeugen, mobile automatisierte ökologische und Strahlungslabors sowie traditionelle Methoden zum Einsatz.

Die Ergebnisse von Untersuchungen der γ -Strahlen-Belastung im Minsker Gebiet werden mitgeteilt. Die Messungen erfolgten vom Hubschrauber Mi-8 aus einer Höhe von 150 m mit einem γ -Spektrometer Macfor-P. Die Genauigkeit des topographischen Anschlusses dieser Messungen beträgt etwa 40 m, die Fehler in den Messungen von Cs-137, Cs-134, K-40 sind geringer als \pm 30%. Aus den Flug- γ -Messungen wurden drei Typen von Strahlungskarten (Verteilung von Cs-137, K-40 in Prozent, Stärke der Strahlungsdosis in μ R) für das Minsker Gebiet und die Kreise Soligorsk und Woloshinsk in den Maßstäben 1 : 10 000, 1 : 100 000 und 1 : 200 000 erstellt.

Die Flugmessungen wurden mit Bodenmessungen verifiziert. Die Strahlenbelastung der Böden wurde mit einem hochempfindlichen 32-Kristall- γ -Spektrometer bestimmt.

Im Vortrag werden weitere Ergebnisse von ökologischen Untersuchungen des Industriegebiets Soligorsk, abgeleitet aus flugspektrometrischen und multispektralen Aufnahmen sowie aus Bodenbeprobungen mitgeteilt. Dazu gehören Gelände-Absenkungen infolge des unterirdischen Kaliabbaus. Für diese technogenen Absenkungen wurde eine Entwicklungsprognose bis zum Jahre 1995 abgeleitet. Aus den spektralen Messungen konnten der Grad der Mineralisierung von Torf-Sumpf-Böden sowie der Einfluß technogener Belastungen auf Wald-Ökosysteme ermittelt werden.

DIE ROLLE DER FERNERKUNDUNG BEI DER ERHEBUNG VON PFLANZENPARAMETERN UND BEI DER ERTRAGSBESTIMMUNG

Wolfram Mauser, Institut für Physische Geographie,
Universität Freiburg, Werderring 4,
7800 Freiburg

Fernerkundungsdaten, die von den Sensoren auf SPOT und LANDSAT aufgenommen werden, sind in der Lage, neben einem genauen Bild über die Landnutzung detaillierte Informationen über Pflanzenparameter, wie Biomasse, Blattflächenindex und Wuchshöhe zu liefern. Diese Informationen können über die reine Anbaustatistik hinaus Aufschluß über den Verlauf der Vegetationsentwicklung und der räumlichen Differenzierung des Wachstums der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen geben.

Am Beispiel einer multitemporalen Untersuchung von LANDSAT- und SPOT-Daten der Rheinebene bei Freiburg wird gezeigt, daß die vom Satelliten gemessenen Grauwerte hohe Korrelationen zur Biomasse, zur Blattfläche und zur Wuchshöhe verschiedener Nutzpflanzen zeigen und es erlauben, Biomassenzuwachs räumlich zu quantifizieren. Für die Bestimmung der aktuellen Ertragsersparung sind über die Informationen zur Landnutzung und zum aktuellen Wachstumszustand weitere, vor allem meteorologische Daten erforderlich. Ein Konzept zur Benutzung von Fernerkundungsdaten für die Abschätzung des Ernteertrages auf der Basis der von der FAO benutzten Schätzmethoden wird vorgestellt. Da im operationellen Schätzverfahren der FAO das Verhältnis von aktueller zu maximaler Verdunstung der Pflanzen eine zentrale Rolle spielt, wird ein Modell zur Berechnung der aktuellen Verdunstung von Kulturpflanzen aus meteorologischen Informationen, Reichsbodenschätzungsdaten und Pflanzenparametern vorgestellt. Es basiert auf der Integration der unterschiedlichen Informationsebenen zur Landnutzung, zu den Bodeneigenschaften und zur Meteorologie in einem Geographischen Informationssystem (GIS) und stellt innerhalb dieses Systems die Datenstrukturen für eine räumliche Modellierung der Verdunstung bereit.

Das Modell wurde erfolgreich dazu benutzt, um in einem landwirtschaftlichen Gebiet die räumliche Verteilung der aktuellen Verdunstung von Kulturpflanzen auf der Basis der aus der Fernerkundung gewonnenen Daten zu berechnen. Die Berechnungsergebnisse werden dargestellt.

**Entwicklung eines spezifischen Landinformationssystems (LIS) für
Feuchtgebiete mit Hilfe von FE-Daten,
Fallstudie Donaudelta**

Prof. Dr.-Ing. Nicolaie OPRESCU, Dipl.-Ing. E. MANDESCU
Hochschule für Bauwesen Bukarest, Rumänien

Zuerst werden einige Erläuterungen über Situationsbestimmung, Dynamik und Prognostizierung der ökologischen Bedingungen gegeben, ausgehend von dem site-ecotope bis zur Landschaft, in direktem Zusammenhang mit den Prinzipien und der Technologie der Fernerkundung sowie auch mit den Fernerkundungsmöglichkeiten, die Strukturen der Ökosysteme und ihre Komponenten zu trennen.

Vorgestellt werden die hierarchisch gruppierten Anwendererfordernisse im Zusammenhang mit diesen Problemen in Bezug auf Prioritäten, Detaillierungsgrad, Verfolgung der geometrisch-morphologischen und qualitativen Veränderungen für Grund-Vegetation, Hydrologie und verschiedene Mediumfaktoren nach dem Prinzip: Identifizieren und Etikettieren der ansteigenden, absteigenden oder ganz gestörten Faktoren als Antwort auf die Störung des jeweiligen Situs, Leistungsbewertung sehr gut, gut, mäßig oder schwach für Objekte und Phänomene, die schnell, mittelmäßig und langsam zeitveränderlich sind.

Es werden die Komplexität und Schwierigkeiten des Problems dargestellt, das einen pluralistischen, inter- und insbesondere transdisziplinären Charakter aufweist. Parametrisierung der Luft-Satelliten-Information und ihre Korrelierung mit den Feldbestimmungen erfordern in diesem spezifischen Fall eine integrierte Behandlung.

Es wird auf die Feldproben (Sampling, Sondage echantillonnage) eingegangen als das Glied des technologischen Prozesses, das uns zur Verfügung steht, vergleichbare Bestimmungen durchzuführen.

Es werden die spezifischen Verarbeitungen vorgestellt, ausgehend von einfachen Operationen analogen Typs, weiterführend zu den hybriden und digitalen Verarbeitungen. Eine besondere Technik wird durch Korrelierung OIF (Optimum Index Factor) mit Verstärkung (Enhancement-Accentuation) des Kontrastes für verschiedene Thematiken sowohl in Schwarz/Weiss, aber insbesondere in Farbe angewandt.

Beim Studium des Donaudeltas, Lagunenkomplex Razelm-Sinoe und Gebiet der Schwarz-Meerküste, wird folgendes verfolgt:

- Merkmalserfassung dieses Gebietes, welches das größte kompakte Schilfgebiet der Welt darstellt und jüngst als biosphärisches Naturschutzgebiet erklärt wurde;
- Geeignete Behandlung der eigenartigen Problematik durch Fernerkundung mit Einführung eines geeigneten Landinformationssystems (LIS). Dieses LIS wurde nicht nur als ein Speicher von kartographischen oder anderen Daten, sondern als ein realitätsbeschreibendes Modell konzipiert. Seine wesentliche Qualität besteht in der Möglichkeit, neue interne Informationen zu ergründen, die sich aus den Korrelationen der gespeicherten Daten ergeben;
- Mitwirkung in allen ökologischen Programmen, welche in Verbindung mit dem Donau-Einzugsgebiet stehen.

Deponie Schöneiche und Umgebung

I. Fernerkundungsrecherche - Geologie

J. Pilarski, G. Marek, J. Fritz, A. Weigelt, E. Wetzel

- 1.-3.: Zentralinstitut für Physik der Erde
- 4.: Freie Universität Berlin
- 5.: Provisorisches Geologisches Landesamt
Brandenburg

Für das Umfeld der Deponie Schöneiche (südlich von Mittenwalde) wurde eine Fernerkundungsrecherche unter Einbeziehung topographischer Karten durchgeführt.

Das Ziel ist ein Beitrag zur Standortbewertung aus geologischer Sicht mittels Fernerkundung.

Der methodische Multisystem- und -informationsebenen-Ansatz ist erforderlich, um den naturräumlichen Eigenschaften und ihren Zusammenhängen zu entsprechen.

KFA-1000-Kosmosaufnahmen wurden zur visuellen Interpretation verwendet. Eine digitale Aufbereitung mit dem System ERDAS stützt sich auf die große Bodenauflösung dieser Aufnahmen. Die visuell interpretierten Strukturindikationen bilden ein Muster, das in Beziehung zu geologischen Kartierungsergebnissen gesetzt wird. Dieses kann als ein Ansatz zur Bewertung des Deponiegebietes dienen.

Deponie Schöneiche und Umgebung
II. Spektrale Signaturen - Geologie

J. Pilarski, H. Weichert

Zentralinstitut für Physik der Erde

In Weiterführung der Untersuchungen zum Deponieraum Schöneiche wurde die Differenziertheit spektraler Signaturen einer LANDSAT-TM-Szene analysiert.

Die Daten werden bezogen auf deponierelevante Objekteigenschaften diskutiert.

Die spektralen Signaturen erlauben nur den indirekten Bezug zu geoökologischen Objekteigenschaften. Diese sind trotz der starken anthropogenen Überprägung durch Analyse von Vegetation, Relief und Drainage erschließbar.

Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Universität Karlsruhe
Dipl.-Geogr. Sigrid Rößner

Poster

Automatische Landnutzungskartierung der Region "Mittlerer Oberrhein" auf der Basis von LANDSAT-TM-Bilddaten

Projekt: Auftrag des Ministeriums für Umwelt der Landesregierung Baden-Württemberg
Bearbeitung: Dipl.-Geogr. Christiane Schullius (März 1987 - Februar 1988)

Im Rahmen des Projektes zur „Untersuchung über grundsätzliche Möglichkeiten zur Nutzung von Fernerkundungsdaten im Umweltbereich sowie in der Land- und Forstwirtschaft“ stand die Aufgabe, eine Landnutzungserfassung mit Hilfe von Satellitendaten durchzuführen. Ergebnis sollte eine digital erzeugte Karte der Landnutzung im Maßstab 1:200000 sein.

Die aktuelle Landnutzung ist für viele Planungsbelange von großer Bedeutung. Ihre Erhebung ist auf herkömmlichem Wege (Geländebegehungen, Aktualisierung von Karten) sehr aufwendig und für größere Gebiete nur in längeren Abständen (oft mehr als 10 Jahre) durchführbar. Deshalb war zu untersuchen, welche der amtlich benötigten Landnutzungsinformationen aus den multitemporal verfügbaren Satellitendaten gewonnen werden können. Das zu bearbeitende Gebiet umfaßte die reichlich 2000 km² große Region „Mittlerer Oberrhein“ (Landkreise Karlsruhe, Rastatt, Baden-Baden).

Zur Zielsbestimmung der Satellitenbilddauswertung dienten die Ergebnisse umfangreicher Behördenbefragungen. Dabei erwies sich ein mit Landsat-TM-Aufnahmen zu erzielender Kartenmaßstab von 1:50000 für viele Belange als ausreichend.

Schwerpunkt der Arbeit lag in der rechnergestützten Klassifikation der multispektralen Bilddaten. Untersuchungen zur visuellen Interpretation der Satellitenbilder wurden nicht durchgeführt, jedoch ausdrücklich auf die sehr gute Eignung von Farbkompositen der TM-Kanäle im Maßstab 1:25000 und kleiner als Planungsgrundlage für Kartierungen hingewiesen.

Die rechnergestützte Erzeugung der Landnutzungskarte erfolgte mit Hilfe des DIDAK (Digitales Datenauswertesystem Karlsruhe) in folgenden Schritten:

- Überwachte Multispektralklassifikation (Maximum-Likelihood)
- Geometrische Entzerrung (auf Gauß-Krüger-Koordinatensystem)
- Digitale Erzeugung des Kartenbildes

Im Ergebnis der Multispektralklassifizierung konnten 16 Klassen (spätere Zusammenfassung zu 12) unterschieden werden. Diese Reflexionsklassen stimmen jedoch nicht mit den amtlich-statistisch erfaßten Landnutzungskategorien überein, so daß eine flächenstatistische Auswertung (Vergleich) nicht möglich ist. Der entscheidende Vorzug liegt jedoch in der großflächigen Gewinnung aktueller Landnutzungsinformationen aus Satellitenaufnahmen in digitaler Form, womit diese Daten im Rahmen von Geoinformationssystemen nutzbar sind.

Probleme treten bei der Differenzierbarkeit der Nutzungsarten sowie der Klassifikationsgenauigkeit auf.

Literatur: Schullius, C. Klassifizierung einer Region mit LANDSAT-TM-Daten für Planung und Statistik. In: Untersuchung über grundsätzliche Möglichkeiten zur Nutzung von Fernerkundungsdaten im Umweltbereich sowie in der Land- und Forstwirtschaft. Schlußbericht Stuttgart 1988

**The exodynamic analysis of tectonic relief along the Levant
fault system in northern Syria**

ŠEBESTA J.

Geological Survey of Prague, Czechoslovakia

A very interesting exo-endogenic phenomenon has been observed during an exodynamic analysis of the broader vicinity of the Levant fault system on the territory of Syria. It is linked up with the development of a tectonic relief along a complex structural zone. The phenomenon in question is represented by diastrophic blocks which appear to be of gravitational-tectonic origin.

The Levant fault system is manifested in the above mentioned area by a number of pull aparts which dissected the original brachyanticlinal structure in several parts. The western part has been preserved as monoclinal Coastal Mts. whereas the eastern part mostly sunk into just released pull aparts to form depressions of Al Ghab and Balaua together with tectonic valley of river Nahr Al Assi(Orontes). Full aparts in the Turkish part cut across the Maastrichtian thrust sheets of ophiolite series to form the Amuk depression and tectonic valley of the river Kara(su). The sunken areas along pull aparts are linked up with the formations of gigantic diastrophic blocks which chaotically submerged in vacated space.

The blocks are sometimes a few kilometers large exceptionally even more than 10 kilometers in diameter. These blocks can be observed presently along both sides of pull aparts and they are likely to occur underneath the sedimentary fill of the depressions. The blocks consist of Jurassic dolomitic and Cretaceous detrital limestones. The diastrophic blocks were difficult to be recognized. The block surface is strongly karstified moreover covered with macchia shrub which actually wiped off the original texture of the rocks. Occasional outcrops show strong desintegration of limestones whose surface is hardified with karstified calcrete. The recognition of blocks was made possible by studying of satellite images and particularly of aerial photographs. They showed system of sinkholes occuring on the boundary of individual blocks, chaotic drainage patterns and unbalanced profiles of fault slopes and erosion curves of streams.

The zone of diastrophic blocks extending into margins of pull aparts in locally up to 15 km wide. It exhibits a special karst hydrogeological regime. Blocks located on steeper slopes are destroyed by landslide movements, erosion and farther mass wasting processes.

The location of diastrophic blocks consisting of Helvetian rocks enabled the stratification of major tectonic movements along the Levant fault system. Consequently this movements appear to be post-Helvetian. Assuming from the preserved balanced levels of Pliocene filling of the Al Chab depression, the tectonic movements were already terminated in the above mentioned period.

Tectonic movements are expected to be accompanied by volcanic activity. Volcanic series constitute both the diastrophic blocks as well as they bury there. The extent of zone with

diastrophic blocks outlined by the exodynamic analysis has been also proved by geophysical measurements of the density rocks. The rock density sharply drops in the zone of diastrophic blocks.

The investigation of diastrophic blocks brings both the scientific and practical informations which are good for understanding of the relief origin on the pull aparts. It also enables to outline areas of earthquake risk (continuing contraction), reservoirs of underground water and to solve problems of engineering geology etc.

Attached is a synoptical cross-section of the Al Ghab depression.

It would be worth to apply the same type of investigation in the southern part of the Levant fault system (i.e. Akaba- Sea of Tiberias) to bring similar useful information.

Spreewald -
Untersuchungen zu Landschaftsstruktur und Neotektonik

R.-U. Syrbe , J. Pilarski

Brandenburgische Landeshochschule
Zentralinstitut für Physik der Erde

Untersuchungen zur Gliederung der Landschaft im Spreewald und zur neotektonischen Strukturiertheit werden zueinander in Beziehung gesetzt.

Übersichten zum Spreewald (als Naturreservat) und zur Wasserbilanz (August 1989) werden untersetzt mit Ergebnissen von visuellen Luftbildinterpretationen im lokalen Bereich. Die bergbaubedingte Zuflußverringereung gefährdet die Funktion des Spreewaldes als Reservoir und natürliche Kläranlage.

Zur Interpretation des Ist-Zustandes wird eine mittelmaßstäbige Typisierung der Flächennutzung vorgestellt.

Für die visuelle, auf Neotektonik ausgerichtete Interpretation, wurden verschiedenmaßstäbige Kosmosaufnahmen, einschließlich KFA-1000 und LANDSAT-TM verwendet.

Beiträge der Fernerkundung zur Klärung von Problemen der Bergbausicherheit im Sangerhäuser Bergbaurevier

Dipl. Berging.-Geologe G. Trembich
Gesellschaft für Umwelt- und Wirtschaftsgeologie mbH Berlin

Auslöser für ein komplexes Untersuchungsprogramm im Sangerhäuser Revier waren die exponentielle Zunahme von untertägigen Salzwasserzuflüssen im Westfeld der Schachtanlage "Thomas Münzer" Sangerhausen sowie Oberflächenveränderungen im Umfeld des Rückhaltebeckens Kelbra. Die Fernerkundung hatte im Rahmen der vom ehemaligen Kombinat GFE Halle von 1987 bis 1989 durchgeführten Komplexuntersuchungen folgende Aufgaben:

- durch eine flächendeckende Auswertung von Luftbildern und Satellitenaufnahmen einen Beitrag zur Einschätzung der Deformationsintensität im suprasalinen Tafeldeckgebirge zu leisten;
- durch die Auswertung multitemporärer Luftbilder die Entwicklung subrogener Prozesse im und um das Rückhaltebecken Kelbra zu verfolgen.

Die fototektonische Analyse des Schadensgebietes und seiner Umgebung erfolgte in mehreren Schritten:

- Durch Auswertung des verfügbaren kosmischen Bildmaterials wurde eine Lineationskarte im Maßstab 1:100 000 erarbeitet. Sie stellt die vorherrschenden Richtungen der rupturrellen Zerteilung des Untersuchungsgebietes (ca 4000 km²) dar.
- Die Faktenkarte der Luftbilddauswertung (1:25 000) beinhaltet vorwiegend Indikationen, die auf gestörte Lagerungsverhältnisse tektonischer und atektonischer Genese hinweisen können.
- Mit der "Karte der Lineationszonen nach Luftbildern und Satellitenaufnahmen" 1:50 000 wird eine zusammenfassende Darstellung von Fotolineationen aus unterschiedlichen Aufnahmehöhen vorgelegt. Die ausgehaltenen Lineationszonen bildeten das "Stützgerüst" für das durch ein Autorenkollektiv erarbeitete strukturell-tektonische Modell, welches als Grundlage für eine hydrogeologische Rayonierung des Gebietes diente.

Für den Raum um das Rückhaltebecken Kelbra konnte durch die Aufnahmen der Hochbefliegung ein fototektonisches Modell für das Schadensgebiet entwickelt werden. Danach liegen die Schwerpunkte der Erdfallgefährdung in Kreuzungsbereichen von Deformationszonen, die sich als Lineationszonen von Süden kommend bis an bzw. in das RHB verfolgen lassen, mit der etwa E-W-streichenden Kelbraer Störungszone.

Nach den Bildern der Tiefbefliegung konnten innerhalb des RHB große Erdfälle kartiert werden, kleinere wurden zusammengefaßt dargestellt und Flächen mit subrogener Verformung ausgehalten.

Fraktale in den räumlichen Strukturen von Geosystemen

L.N. Vasiljev
 Institut für Geographie Moskau

Die räumliche Struktur von Geosystemen ist bisher nicht eindeutig und vollständig definiert. Am bedeutendsten sind hierbei die Strukturen der Landnutzung und die durch das Erosions- und Flußnetz gebildeten Strukturen. Diese können als geordnete chaotische Systeme angesehen werden.

Solche Strukturtypen lassen sich durch digitale Bearbeitung kosmischer Multispektralaufnahmen, z.B. mit dem System Pericolor, darstellen. Die Bearbeitung von Aufnahmen mit MKF-6, Kosmos-1939 und Landsat - TM zeigte, daß diese Strukturen fraktale Eigenschaften besitzen. Allerdings unterscheidet sich das Wesen der Fraktale für die Strukturen der Landnutzung und der sich verzweigenden Prozesse in den Erosions- und Flußnetzen grundlegend.

Für jeden Strukturtyp werden Algorithmen für die Ableitung der fraktalen Dimension und entsprechende Modelle (binäre Felder, mehrdimensionale Vektorfelder, sich verzweigende Prozesse vom Typ der Laplace-Fraktale) angegeben. Mit den verschiedenen fraktalen Dimensionen (Volumen und Informationsgehalt) läßt sich die Homogenität der räumlichen Strukturen der Landnutzung abschätzen. Die fraktale Dimension von sich verzweigenden Strukturen des Erosions- und Flußnetzes wird auf der Basis eines Wachstumsmodells errechnet, das in der Lage ist, in komplizierter Weise die spezifischen Formen zu bewerten.

Aus für einige Gebiete in der UdSSR, in Polen und den USA (Kansas) durchgeführten Experimenten wurden erstmalig verschiedenartige qualitative Bewertungen der Strukturen erhalten. Die Bedeutung dieser Experimente wird gesehen

- im Beweis des fraktalen Charakters von räumlichen Strukturen in Geosystemen,
- in der Entwicklung eines Modells zur Interpretation der fraktalen Dimension,
- im Erhalt einer komprimierten Beschreibung für die Eigenschaften geordneter chaotischer Strukturen.

Fernerkundungseinsatz für akute Gefährdungsabschätzung im Umfeld einer Deponie

T. Wegner u. a.

Gesellschaft für Umwelt- und Wirtschaftsgeologie mbH, Berlin

Es werden die Möglichkeiten des umweltrelevanten Einsatzes der Fernerkundung für die akute Gefährdungsabschätzung im Umfeld einer Deponie demonstriert.

Basierend auf einer historischen Kartenanalyse werden durch eine multitemporale Luftbildauswertung und der Auswertung von Farb-Infrarot- Luftaufnahmen Aussagen zur Entwicklung des Deponiestandortes, zur flächenhaften Erfassung von potentiellen Boden- und Grundwasserkontaminationen sowie zur Belastung angrenzender Gewässer gemacht.

Digitale Auswertung von Fernerkundungsdaten von SPOT 1X und Flugzeugmultispektralkamera MSK 4 zur Informationsgewinnung über Waldzustandsmerkmale im Thüringer Holzland

Gotthard Weißflog
Jenoptik Carl Zeiss Jena GmbH,
Geschäftsbereich Photogrammetrie

1. Auswertung SPOT-1x-Bilddaten

Für die Klassifizierung des Waldbestandes hinsichtlich verschiedener Altersstufen in einem 10 km x 10 km großen Untersuchungsgebiet (UG) des Thüringer Holzlandes wurden die radiometrischen, spektralen und geometrischen Grenzen der multispektralen SPOT-Bilddaten einer Szene vom Mai 1986 untersucht. Es erwies sich als zweckmäßig, die Originalbilddaten mit Hilfe einer Hauptkomponententransformation und der Bildung von abgeleiteten Merkmalen (Vegetationsindex) vorzuverarbeiten. Als Klassifizierungsverfahren wurde ein parameterfreies Manuelles Clusterverfahren (Softwarepaket InterClass - ZIPE Potsdam) ausgewählt. Praktisch erreicht man damit eine hohe Güte des Klassifizierungsergebnisses und ermittelt gleichzeitig interaktiv die Grenzen der thematischen Gliederungstiefe.

Um Fehlklassifizierungen, bedingt durch die unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnisse im hügeligen UG, zu korrigieren, wurden die SPOT-Bilddaten topographisch normalisiert. Basierend auf dem digitalen Geländemodell des UG konnte mit Hilfe des Lambertischen Strahlungsgesetzes (modelliert nach dem Seitenkosinussatz der sphärischen Geometrie) hierzu ein Inklinationsmodell erstellt werden.

Resultate der Klassifizierung:

- * Der Nadelwald konnte nach 4 Altersstufen klassifiziert werden. Die radiometrische Auflösung für Altbestände ist dabei geringer als die der Jungbestände.
- * Da die spektrale Auflösung auf das nahe Infrarot beschränkt ist, kann alter Laubwald nicht von Nadeljungbeständen getrennt werden.
- * Auf Grund der guten geometrischen Auflösung ist eine mittelmaßstäbige thematische Kartierung (Maßstab 1 : 50 000) des Klassifizierungsergebnisses möglich.

2. Auswertung MSK-4-Bilddaten

Für eine Analyse von mittel- und großmaßstäbigen Bilddaten wurden die Bilder eines Multispektralsatzen (Teilgebiet Trockenborn des UG - Befliegung September 1988) digitalisiert.

1. Mittelmaßstäbige Bilddaten (Pixelgröße 2,5 m x 2,5 m)

- * Durchführung einer Hauptkomponententransformation und Untersuchung der Datenstörungen
- * Vergleich der Bilddaten mit SPOT-Daten bzw. Klassifizierungsergebnis

2. Großmaßstäbige Bilddaten (Pixelgröße 0,3 m x 0,3 m)

- * Untersuchung anhand eines Buchenalt- sowie Nadeljung- und altbestandes, inwieweit mittelmaßstäbige MSK-4-Bilder für großmaßstäbige Auswertungen geeignet sind.

Satellitengestützte Überwachung des Zustands von Oberflächen-
gewässern

H. Wirth, G. Schilbach, K. Oppitz
Zentralinstitut für Physik der Erde Potsdam

Die Wasserqualität wird neben den bakteriologischen Eigenschaften wesentlich durch den Gehalt an Phytoplankton, Gelbstoffen und Schwebstoffen im Wasserkörper bestimmt, die insbesondere auf die Transparenz- und Remissionseigenschaften wirken. Für die Überwachung der Gewässereigenschaften im Rahmen eines Monitoring-Systems auf der Basis von Satellitenfernerkundungsdaten ist die Ableitung von quantitativ reproduzierbaren charakteristischen Meßgrößen eine notwendige Voraussetzung.

Ausgegangen wird von der Abbildung der Gewässerparameter in Fernerkundungsdaten auf der Grundlage des bekannten Zweistrommodells nach J. JOSEF. Betrachtet wird der Fall, daß die Wasserinhaltsstoffe relativ hohe Konzentrationen aufweisen, d. h., daß die Sichttiefe gering ist und vom Gewässerboden keine Anteile in den Fernerkundungsdaten enthalten sind. Als reproduzierbar abzuleitender charakteristischer Gewässerparameter ergibt sich der Remissionskoeffizient des Wasserkörpers, der bekannterweise mit der Phytoplankton-Pigment-Konzentration sowie mit dem Seston Gehalt sicher korreliert ist und in diese umgerechnet werden kann. Dazu ist jedoch eine radiometrische Normierung der spektralen Fernerkundungsdaten erforderlich, die für Aufnahmen des LANDSAT-TM mit dem Bodenmeßkomplex des ZIPE bei der Auswertung der Potsdamer Havelseen durch Vermessung von Referenzobjekten vorgenommen werden konnte.

Die erzielten Ergebnisse werden an einem Ausschnitt aus einer TM-Szene vom 07.07.1989 diskutiert. Für Binnenseen scheint eine Routineanwendung mit TM-Daten (Pixel 30 m * 30 m) möglich. Für Fließgewässer ist jedoch die geometrische Auflösung von TM nicht ausreichend, und SPOT bietet keine geeigneten Spektralkanäle an. Eine routinemäßige Überwachung von Fließgewässern mit einer Breite größer als 50 m wurde erst durch den Einsatz von MOMS-2 (Pixel 15 m * 15 m) als operatives System ermöglicht.

6. FERNERKUNDUNGSKONFERENZ

Fernerkundung für die Umweltüberwachung

28.5. bis 31.5.1991, Potsdam

T E I L N E H M E R

- | | |
|----------------|--|
| Albertz, J. | TU Berlin
Institut f. Photogrammetrie
und Kartographie, EB 9
Str. d. 17. Juni 135
W-1000 Berlin 12 |
| Allner, Th. | DLR Köln
Linder Mauspfad 187a
W-502200 Köln 90 |
| Armand, N. | Acad. of Sciences
Inst. of Radioengineering
and Electronics
Marx ave. 18
103901 - MOSCOW K-9
USSR |
| Bach, E. | DARA
Deutsche Agentur für
Raumfahrtangelegenheiten GmbH
Königswinterer Str. 550-554
W-5300 Bonn 3 |
| Bähr, H.-P. | Universität Karlsruhe
Institut für Photogrammetrie
Englerstr. 7
W-7500 Karlsruhe |
| Baranovska, T. | Institut Geodezji i Kartografii
ul. Jasna 2/4
00-950 WARSZAWA
POLAND |
| Barsch, H. | Brandenburgische Landeshochschule
Am Neuen Palais 10
O-1590 Potsdam |
| Bartsch, B. | WIB
Weltrauminstitut Berlin GmbH
Lassenstr. 11-15
W-1000 Berlin 33 |
| Berggötzt, G. | Universität Hannover
Dorotheenstr. 7, Z1. 503
W-3000 Hannover 21 |

- Böker, F. Bundesanstalt für Geowissen-
schaften u. Rohstoffe
Stilleweg 2
W-3000 Hannover 51
- Bonau, U. Universität Rostock
FB Landeskultur und Umweltschutz
Justus-von-Liebig-Weg 6
O-2500 Rostock
- Borries, H.-W. uve
Gesellschaft für Ver- und Entsorgung
in der Umwelttechnik mbH
Mozartstr. 4
W-4690 Herne 2
- Bräumer, B. Ing.-Büro
Buchendorfer Str. 74
W-8027 Neuried
- Brandt, St. Universität Hannover
Teichstr. 1
W-3000 Hannover 91
- Braun, H.-M. Elektronik System GmbH (ESG)
Vogelweideplatz 9
W-8000 München 80
- Brosin, H.-J. Institut für Meereskunde
Seestraße 15
O-2530 Warnemünde
- Brülke, B. ZIPE Potsdam *)
- Desinov, L. Acad. of Sciences
Geographical Institute
MOSCOW
USSR
- Dreiser, U. TU Berlin
Institut für Geographie
Budapester Str. 44-46
W-1000 Berlin 30
- Ernst, H. Universität München
Inst. f. Allgemeine u.
Angewandte Geologie
Luisenstr. 37
W-8000 München 2
- Farkas, B. Politechnical University
BUDAPEST
HUNGARIA
- Fischer, D. Ministerium f. Umwelt, Natur-
schutz und Raumordnung
Albert-Einstein-Str. 42-46
O-1561 Potsdam

- Flusser, J. ČSAV
 UTIA
 Bellusova 1861
 PRAGUE 8
 ČSFR
- Fritz, J. ZIPE Potsdam *)
- Frotscher, W. Martin-Luther-Universität
 Geographisches Institut
 Domstraße 5
 O-4020 Halle
- Furrer, R. WIB
 Weltrauminstitut Berlin GmbH
 Lassenstr. 11-15
 W-1000 Berlin 33
- Gebhardt, A. FZ Bodenfruchtbarkeit
 FB Bodenkunde und Bodenschutz
 Schicklerstraße 3
 O-1300 Eberswalde-Finow
- Gohs, L. Institut f. Meereskunde
 Seestr. 15
 O-2530 Warnemünde
- Goßmann, H. Universität Freiburg
 Institut f. Phys. Geographie
 Werderring 4
 W-7800 Freiburg
- Grundmann, H.-J. Satellitenbodenstation Neustrelitz
 Kalkhorstweg
 O-2080 Neustrelitz
- Hellmuth, O. Satellitenbodenstation Neustrelitz
 Kalkhorstweg
 O-2080 Neustrelitz
- Hering, A. WIB
 Weltrauminstitut Berlin GmbH
 Lassenstr. 11-15
 W-1000 Berlin 33
- Hetebrüg, H. Landesanstalt f. Forstplanung
 Brandenburg
 Pappelallee 2
 O-1576 Potsdam
- Höpfner, J. ZIPE Potsdam *)
- Hofmann, K. Brandenburgische Landeshochschule
 Inst. f. Phys. Geographie u.
 Landschaftsökologie
 Am Neuen Palais 10
 O-1571 Potsdam

- Hung, N. T. Centre of Geography and Natural Resources (NCSR)
Nghiado-Tuliem
HANOI
VIETNAM
- Ijjas, G. Technical University of Budapest
Space Research Group
Goldmann Gy. 3
H-BUDAPEST
- Itzerott, S. Brandenburgische Landeshochschule
Fachbereich Geographie
Am Neuen Palais 10
O-1590 Potsdam
- Jaensch, H.-J. KAZ Bildmess GmbH
Karl-Rother-Str. 10-14
O-7022 Leipzig
- John, K.-H. ZIPE Potsdam *)
- Jung, E. Lange Straße 86
O-1017 Berlin
- Kenneweg, H. TU Berlin
Inst. f. Landschafts-
u. Freiraumplanung
Franklinstr. 28/29
W-1000 Berlin 10
- Klaedtke, H.-G. Universität Stuttgart
Institut für Navigation
Keplerstr. 11
W-7000 Stuttgart
- Kleeberg, U. GKSS
Forschungszentrum Geesthacht GmbH
Max-Planck-Str.
W-2054 Geesthacht
- Klimešová, D. ČSAV
DTIA
Pod vodarenskou 4
182 00 PRAGUE 8
ČSFR
- Kolejka, J. ČSAV
Institut f. Geographie
Mendlovo namesti 1
662 82 BRNO
ČSFR
- Kollewe, M. GKSS
Forschungszentrum Geesthacht GmbH
Max-Planck-Str.
W-2054 Geesthacht

- Kovalyov, A. Byelorussian centre "Ecology"
Leninski pr. 66
220 072 MINSK
USSR
- Krawczyk, H. Institut für Kosmosforschung
Rudower Chaussee 5
O-1199 Berlin
- Krönert, R. Institut für Geographie und
Geökologie
G.-Dimitroff-Platz 1
O-7020 Leipzig
- Kühn, Fr. Bundesanstalt f. Geowissen-
schaften und Rohstoffe
Außenstelle Berlin
Invalidenstr. 44
O-1040 Berlin
- Kühn, H.-J. ZIPE Potsdam *)
- Kurth, K. ZIPE Potsdam *)
- Lanzl, F. DLR
Institut f. Optoelektronik
Münchener Str. 20
W-B031 Oberpfaffenhofen
- Laymann, H.-J. TÜV Bayern
Westendstr. 199
W-8000 München 21
- Leon, L.R.B. TU Berlin
Lea-Grundig-Str. 72 (11-1)
O-1142 Berlin
- Lommatzsch, D. Institut für Kosmosforschung
Rudower Chaussee 5
O-1199 Berlin
- Lyalko, V.I. Ukrainian Academy of Sciences
Institute of Geological Sciences
Tchkalov Str. N55
252054 KIEV
USSR
- Maetzel, R. GEOSPACE GmbH
Siemensstr. 8
W-5300 Bonn
- Marek, G. ZIPE Potsdam *)
- Marek, K.-H. ZIPE Potsdam *)

- Masłowska, A. Polish Academy of Sciences
Space Research Centre
Ordona 21
01-237 WARSZAWA
POLAND
- Mendel, H. Bundesanstalt für Gewässerkunde
Kaiserin-Augusta-Anlage 15-17
W-5400 Koblenz
- Mishev, D. Bulgarian Academy of Sciences
Parensov Str. 31
1000 SOFIA
BULGARIA
- Mortell, H. Umweltplan Potsdam
W.-Pieck-Str. 65
0-1560 Potsdam
- Munier, C. FU Berlin
Luftbild & Vegetation
Schlieperstr. 63
W-1000 Berlin 27
- Münzer, U. Universität München
Institut f. Allg. u. Angew. Geologie
Arbeitsgruppe Fernerkundung
Luisenstr. 37
W-8000 München 2
- Neumann, A. Institut für Kosmosforschung
Rudower Chaussee 5
0-1199 Berlin
- Ołędzki, J. Uniwersytet Warszawski
Krakowskie Przedmieście 30
00-927 WARSZAWA
POLAND
- Oppitz, K. ZIPE Potsdam *)
- Oppitz, S. ZIPE Potsdam *)
- Oprescu, N. College of Civil Engineering
B-dul Lacul Tei 124, Of. 38
BUCURESTI
ROMANIA
- Pelz, E. TU Dresden
Institut f. Photogrammetrie u.
Fernerkundung
Mommsenstr. 13
0-8027 Dresden
- Pham Viet Cuong ZIPE Potsdam *)
- Pilarski, J. ZIPE Potsdam *)
- Pilarski, M. ZIPE Potsdam *)

- Pohlmann, J. GIS-ART / GEOSYSTEMS
Ostproußendamm 165
W-1000 Berlin 45
- Polster, K. ZIPE Potsdam *)
- Prantz, U. TU Dresden
Institut für Photogrammetrie
und Fernerkundung
Mommсенstr. 13
O-8027 Dresden
- Prietzsch, C. Ackerstr. 76, ACK 23
W-1000 Berlin 65
- Proß, E. Institut f. Angew. Geodäsie
Außenstelle Leipzig
Karl-Rothe-Str. 10-14
O-7022 Leipzig
- Raasch, I. ZIPE Potsdam *)
- Radtke, B. Institut für Kosmosforschung
Rudower Chaussee 5
O-1199 Berlin
- Rählmann, H. Universität Freiburg
Institut für Luftbildmessung
und Fernerkundung
Wilhelmstr. 64
W-7800 Freiburg
- Rojas, J. Universität Leipzig
Institut für Geophysik
Talstraße 35
O-7010 Leipzig
- Röser, St. ZIPE Potsdam *)
- Rößner, S. Universität Karlsruhe (TH)
Institut f. Photogrammetrie u.
Fernerkundung
Englerstr. 7
W-7500 Karlsruhe
- Rüger, W. TU Dresden
Südhöhe 45
O-8020 Dresden
- Schilbach, G. ZIPE Potsdam *)
- Schlutow, G. Westring 19
O-1272 Neuenhagen
- Schmidt, D. Gesellschaft f. Umwelt- u.
Wirtschaftsgeologie mbH
Gormannstr. 16
O-1054 Berlin

- Schmidt, K. ZIPE Potsdam *)
- Schmidt, K. DARA
Deutsche Agentur für
Raumfahrtangelegenheiten GmbH
Postfach 260147
W-5300 Bonn 2
- Schmidt, R. Landesvermessungsamt Brandenburg
Heinrich-Mann-Allee 103
O-1561 Potsdam
- Schmidt, T. Institut für Meereskunde
Seestraße 15
O-2530 Warnemünde
- Schmitz, B. DLR
Deutsche Forschungsanstalt f.
Luft- und Raumfahrt /PT-USF
Südstr. 125
W-5300 Bonn 2
- Schneider, M. ZIPE Potsdam *)
- Schramm, M. IFP
Institut für Planungsdaten
Dreieichring 2
W-6050 Offenbach
- Schwarzer, H. Institut für Kosmosforschung
Rudower Chaussee 5
O-1199 Berlin
- Schulz, J. Institut für Kosmosforschung
Rudower Chaussee 5
O-1199 Berlin
- Schwarzkopf, U. Brandenburgische Landeshochschule
Am Neuen Palais 10
O-1590 Potsdam
- Šebesta, J. Český geologický ústav
Malostranské nám.-19
11821 PRAGUE 1
CZECHOSLOVAKIA
- Seiff, F. WIB
Weltrauminstitut Berlin GmbH
Lassenstr. 11-15
W-1000 Berlin 33
- Seyfert, M. Ingenieurschule f. Geodäsie u.
Kartographie
Wiesentorstraße 1
O-8019 Dresden

- Shutko, A. Acad. of Sciences
Inst. Radioeng. and Electronics
Marx-Avenue, 18
GSP-3
103901-MOSCOW K-9
USSR
- Siegel, H. Institut für Meereskunde
Seestr. 15
0-2530 Warnemünde
- Smirnov, M.T. Academy of Sciences
Institute of Radioengineering and
Electronics
Marx-Ave. 18
103901-MOSCOW K-9
USSR
- Sobe, U. Pädagogische Hochschule Dresden
Institut f. Geographie
Wigardstr. 17
0-8060 Dresden
- Söder, I. Ing.-Schule f. Geodäsie und
Kartographie
Wiesenstraße 27
0-8020 Dresden
- Solmsdorf, H. BDLA LG Berlin-Brandenburg
Windscheidstr. 40
W-1000 Berlin 12
- Stark, U. Senatsverwaltung für
Stadtentwicklung und Umweltschutz
Lindenstr. 20-25
W-1000 Berlin 61
- Sternisko, H. KAZ Bildmess GmbH
Karl-Rothe-Str. 10-14
0-7022 Leipzig
- Stoimenov, A. Institute for Space Research
Moskovska str. 6
1000-SOFIA
BULGARIA
- Strathmann, F.-W. Universität München
Institut für Geographie
Luisenstr. 37
W-8000 München 2
- Syrbe, R.-U. Brandenburgische Landeshochschule
Am Neuen Palais 10
0-1590 Potsdam
- Szango, D. <https://doi.org/10.2312/zipe.1991.118.02> Carl Zeiss JENA GmbH
Closewitzerstr. 44
0-6900 Jena

- Szász, G. Agrartudományi Egyetem
Agrometeorológiai és Tervezési
Obszervatórium
4015 DEBRECEN, Pf.: 36
HUNGARIA
- Trinh Dinh Cuong Centre of Geography and Natural
Resources (NCSR)
Nghĩa-Tuliem
HANOI
VIETNAM
- Tulgaa, X. Center for Informatic
ULAN-BATOR
MONGOLIA
- Vasiliev, L. Academy of Sciences
Geographical Institute
Staromonetny 29
109117 MOSKAU
USSR
- Walzel, Th. Institut f. Kosmosforschung
Rudower Chaussee 5
0-1199 Berlin
- Weber, J. Umweltschutzreferat LH München
Bayerstr. 28a
W-8000 München 2
- Weichelt, H. ZIPE Potsdam *)
- Weigel, I. ehem. Amt f. Vermessungs- und
Kartenwesen
Dahmestr. 33
0-1183 Berlin
- Weißflog, G. Jenoptik Carl Zeiss JENA
GB Photogrammetrie
B.-Brecht-Str. 31
0-6908 Jena
- Welzer, W. uve
Gesellschaft f. Ver- und
Entsorgung GmbH
Savignyplatz 4
W-1000 Berlin 12
- Wirth, A. ZIPE Potsdam *)
- Wirth, H. ZIPE Potsdam *)
- Wolff, G. Forschungsanstalt Forst/Holz-
wirtschaft
Alfred-Möllerstraße
0-1300 Eberswalde-Finow

- Zelt, F. Gesellschaft f. Umwelt- u.
Wirtschaftsgeologie mbH
Heinrich-Rau-Str. 294
O-1142 Berlin
- Ziemann, H. DARA
Deutsche Agentur für Raum-
fahrtangelegenheiten GmbH
Königswinterer Str. 500-504
W-5300 Bonn 3
- Zimmermann, G. Institut für Kosmosforschung
Rudower Chaussee 5
O-1199 Berlin

*) ZIPE Potsdam

Zentralinstitut für Physik der Erde
Telegrafenberg A17
O-1561 Potsdam

**Veröffentlichungen über die Veranstaltungsreihe
"Stand und Entwicklungstendenzen der Fernerkundung"**

1. Konferenz "Fernerkundung - Stand und Entwicklungstendenzen"
Karl-Marx-Stadt, 27. - 29. 10. 1981
Veröff. Zentralinst. Physik d. Erde, Potsdam
(1982) 74, 278 S.
2. Konferenz "Photogrammetrie und Fernerkundung"
Weimar, 15. - 16. 04. 1982
Veröff. Zentralinst. Physik d. Erde, Potsdam
(1983) 76, 197 S.
3. Konferenz "Fernerkundung in Geographie und Territorialplanung"
Leipzig, 5. - 7. 12. 1984
Veröff. Zentralinst. Physik d. Erde, Potsdam
(1986) 82, 221 S.
4. Konferenz "Fernerkundung der Erde und anderer Himmelskörper"
Neubrandenburg, 16. - 19. 6. 1986
Veröff. Zentralinst. Physik d. Erde, Potsdam
(1987) 93, 2 Teile, (394 + XVIII) S.
5. Konferenz "Fernerkundung und Geoinformatik"
Karl-Marx-Stadt, 20. - 24. 6. 1988
Veröff. Zentralinst. Physik d. Erde, Potsdam
(1989) 106, 2 Teile, 518 S.
6. Konferenz "Fernerkundung für die Umweltüberwachung"
Potsdam, 28. - 31. 5. 1991
Veröff. Zentralinst. Physik d. Erde, Potsdam
(1991) 118, 2 Teile, 449 S.