

ISSN 0514 – 8790

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

---

Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde

Nr. 93

Teil II



Neubrandenburg, 16.–19. Juni 1986

Beiträge zur Konferenz

Herausgeber: Der Direktor des Zentralinstituts für Physik der Erde Potsdam

---

Als Manuskript gedruckt

Potsdam 1987

R. WÄSCH

Akademie der Wissenschaften der DDR  
Institut für KosmosforschungZusammenfassung

Dargestellt werden oberflächengeologische Merkmale der terrestrischen Planeten und der Satelliten der Riesenplaneten. Die wichtigsten der dort vorhandenen morphologischen Strukturtypen werden diskutiert. Weiterhin werden die ersten Ergebnisse der Staubanalysen der Kometenmissionen VEGA-1, -2 und Giotto vorgestellt.

Abstract

The main focus is on the surface geology of the terrestrial planets and satellites of the giant planets. In this connection, the most impressive features are discussed. Furthermore, the first results of the dust impact mass analysers of the cometary missions VEGA 1, 2 and Giotto are demonstrated.

Резюме

Представлены поверхностно-геологические признаки планет земного типа и спутников планет-гигантов. Обсуждаются наиболее важные из существующих там морфологических типов структур. Кроме того, представлены первые результаты анализов пыли, проведенные автоматическими станциями ВЕГА 1,2 и Джото.

1. Einleitung

Im folgenden wird vor allem auf die Erkundung der morphologischen Eigenschaften der Oberflächen planetarer Objekte eingegangen. Aus den vorhandenen Strukturtypen lassen sich viele Rückschlüsse auf die Evolution und den gegenwärtigen Zustand eines Planeten ziehen. Der Vergleich von Oberflächenmerkmalen verschiedener Planeten gestattet einen relativ umfassenden Einblick in die Entwicklungsgeschichte des gesamten Planetensystems. Vor allem deshalb, weil alle Planeten unterschiedliche Evolutionsetappen repräsentieren und es praktisch so möglich wird, die Erkenntnisse, die bei der Erforschung des einen Planeten gewonnen wurden, auch für die Interpretation von Daten eines anderen zu nutzen.

Abschließend wird auf erste Ergebnisse der stofflichen Erkundung des Kerns des Kometen Halley eingegangen.

Vor der Zeit der Erforschung der Planeten mit Hilfe raumfahrttechnischer Mittel gab es nur die astronomische Beobachtung von der Erde aus. Dies führte dazu, daß, mit Ausnahme des Mondes, die erzielbare räumliche Auflösung nicht genügte, um notwendige Details zu erkennen. Tatsächlich ist bei den Planeten (Satelliten) von der Erde aus nur sehr wenig wirklich Vorhandenes gesehen worden. Dies ändert sich aber sofort, wenn z. B. die Erdatmosphäre als störendes Hindernis kaum eine oder keine Rolle spielt. So haben z. B. in jüngster Zeit veröffentlichte Radaraufnahmen der ständig von Wolken verhüllten Venusoberfläche, entstanden und bearbeitet mit Hilfe des Radioteleskops Aracibo (Puerto Rico), morphologische Details erfaßt, die in vielen Bereichen den Radaraufnahmen der sowjetischen Venera-15 und -16-Sonden kaum nachstehen. Der normale optische Bereich gestattet dies nicht.

Für die vergleichende Planetenforschung hat, wie bereits erwähnt, die Erkundung der Oberflächen eine große Bedeutung. Einerseits gestattet sie Einblicke in den frühen Formierungsprozeß planetarer Objekte allgemein, andererseits offenbart sie die unterschiedlichen Entwicklungsstadien, die die einzelnen Planeten heute erreicht haben. Damit im Zusammenhang steht; daß auf der Basis hochauflösender Fernerkundungsmethoden auch Hinweise auf die Dynamik der derzeitigen Entwicklung eines Objektes zu erhalten sind.

Nach der Akkretion des größten Teiles der Planetesimalen zu Planeten und der Herausbildung fester Krusten folgte eine Etappe, die allgemein als Impactperiode bezeichnet wird und die einen letzten Höhepunkt vor 3,8 - 4,1 Mrd. Jahren erreichte. Hierbei wurde der Rest der planetaren Bausteine mit Abmessungen vom Submillimeterbereich bis zu Asteroidengröße eingefangen und hinterließ auf der Oberfläche der Planeten ein komplexes Muster von Einschlagkratern. Die Untersuchung der Einschlagkrater spielt eine große Rolle bei der Erforschung des Ablaufs der geologischen Entwicklung der Planeten. So können ihre Häufigkeiten zu relativen und manchmal auch absoluten Datierungen des Alters planetarer Oberflächen herangezogen werden. Voraussetzung dafür ist eine möglichst hochaufgelöste und flächendeckende Kartierung der Planetenoberflächen. Dabei kann man gegenwärtig von folgendem Stand ausgehen:

Der Mond ist kartographisch fast vollständig abgedeckt. Es liegen Karten im Maßstab zwischen 1 : 10 000 000 und 1 : 25 000 000 vor. Die Auflösung geht bis in den Meter-Bereich. Beim Merkur ist etwa die Hälfte der Oberfläche kartiert und zwar im Maßstab 1 : 15 000 000 bzw. 1 : 5 000 000. Die Auflösung liegt in der Größenordnung von einem bis einigen Kilometern. Die Venusoberfläche ist mit Hilfe des Radar-Altimeters der Pioneer-Venus-Mission zu 70 % abgedeckt. Die auf dieser Basis mit sehr geringer Auflösung hergestellten Karten haben (am Äquator) einen Maßstab von 1 : 50 000 000. Eine wesentlich höhere Auflösung - 1 - 2 km - wurde mit dem Seitenblick-Radar der sowjetischen Sonden Venera 15 und Venera 16 erreicht. Sie überdeckten die Nordpolar-Region bis 30°N, was etwa 20 % der Venusoberfläche entspricht.

Im Vergleich dazu ist Mars sehr gut kartographisch erfaßt: 90 % der Oberfläche mit einer Auflösung von 100 - 150 m und 98 % mit einer Auflösung von etwa 500 m. Es liegen Karten im Maßstab von 1 : 15 000 000 bis 1 : 25 000 000 vor. Zu den Aufnahmen der Viking-Lander liegen keine Maßstabangaben vor.

Bei den Jupiter-Satelliten wurden zwischen 50 % und 80 % der Oberfläche aufgenommen. Es liegen Karten im Maßstab von 1 : 25 000 000 mit Auflösungen von z. T. einigen Kilometern, meist aber nur von 20 - 50 km vor. Von den Saturnsatelliten sind Karten im Maßstab 1 : 5 000 000 und 1 : 10 000 000 erschienen. Die beste Auflösung liegt zwischen 5 und 10 km, sonst im Bereich von 10 - 40 km.

## 2. Zur Oberflächenmorphologie der Planeten

Die Oberfläche der meisten Planeten mit fester Kruste ist durch Impactkrater unterschiedlichster Abmessungen gekennzeichnet, was ein Indiz für ein hohes Alter ist. Daß verschiedene Oberflächenbereiche auch verschieden alt sein können, zeigen deutlich differierende Kraterhäufigkeiten. Es gibt auf der Mondvorderseite große Depressionen, die mit dunklem basaltischen Gestein gefüllt sind und erheblich weniger Krater aufweisen als die Hochländer, vor allem auf der Rückseite. Das heißt, daß die dunklen Tiefländer jünger sind als die Hochländer. Letztere haben ein Alter von 4,0 - 4,5 Mrd. Jahren. Die großen Depressionen (Maria) sind erst danach von großen Lavamengen überflutet worden. Auf Grund von Kraterstatistiken konnte nachgewiesen werden, daß dies vor allem im Zeitraum vor 4,0 - 3,0 Mrd. Jahren geschah.

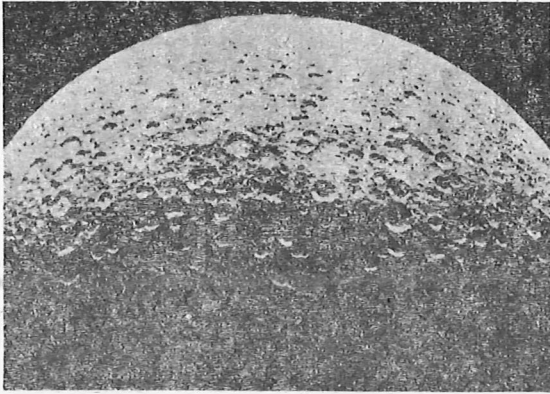


Abb. 1: Rückseite des Mondes / 1 /

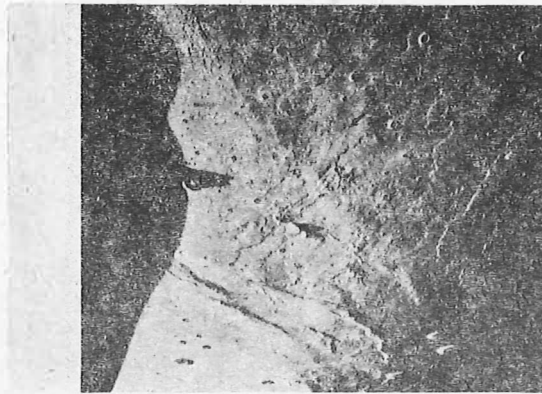


Abb. 2: Teilansicht des Mare Imbrium. Die mit Lava aufgefüllte Depression zeigt nur wenige Impactkrater / 1 /

Eine dem Mond, in erster Linie dessen Hochländern, sehr ähnliche Oberfläche, fand man beim Merkur. Die Kraterhäufigkeiten, -verteilungen, etc. sind sehr ähnlich, so daß man auch hier davon ausgehen kann, daß ein vergleichbares Alter vorliegt - etwa 3,8 - 4,5 Mrd. Jahre. Auch auf Merkur, wie auf dem Mond, gibt es sehr große Impactstrukturen von über 1000 km Durchmesser. Ihre dunklere Farbe deutet ebenfalls auf eine basaltische Lavafüllung hin.

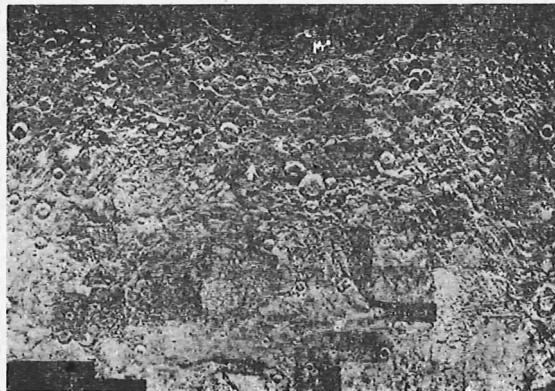


Abb. 3: Teilansicht der Merkurioberfläche im Randbereich des Caloris-Beckens / 1 /

Den Kraterdichten auf Mond und Merkur vergleichbar sind die einiger Satelliten des Jupiter (Ganymed, Callisto), des Saturn (Dione, Mimas, Tethys, etc.) und offenbar auch des Uranus. In einer ersten Näherung kann davon ausgegangen werden, daß die Oberflächen dieser Satelliten ebenfalls ein Alter um 4,0 Mrd. Jahre aufweisen. Dies trifft allerdings nur zu, wenn sich Krater in den Oberflächen von Eis-Satelliten entsprechenden Strukturen auf der Oberfläche terrestrischer planetarer Objekte adäquat verhalten. Außerdem muß auch ganz allgemein das Alter der Satelliten dem der terrestrischen Planeten sehr ähnlich sein.

Jüngeren Datums sind zweifellos große Gebiete auf dem Mars. Ähnlich wie beim Mond ist er durch Hoch- und Tiefländer charakterisiert. Dabei ist die südliche Hemisphäre (hochlandgeprägt) mit sehr vielen Impactkratern übersät, während sich über die nördliche Hemisphäre große Tieflandgebiete mit sehr viel weniger Kratern erstrecken. Das Hochland wird auf ein Alter von mehr als 4 Mrd. Jahren geschätzt. Das nördliche Tiefland hat sich infolge vulka-



nischer Aktivitäten wahrscheinlich mit basaltischer Lava gefüllt. Diese Aktivitäten spielten sich offenbar vor 1,5 - 3,0 Mrd. Jahren ab. Ihren Höhepunkt erreichten sie mit der Entstehung der großen Schildvulkane. Die Abb. 4 und 5 zeigen zwei Beispiele davon.



Abb. 4: Der größte bisher bekannte Vulkan im Sonnensystem: Olympus Mons auf dem Mars / 1 /

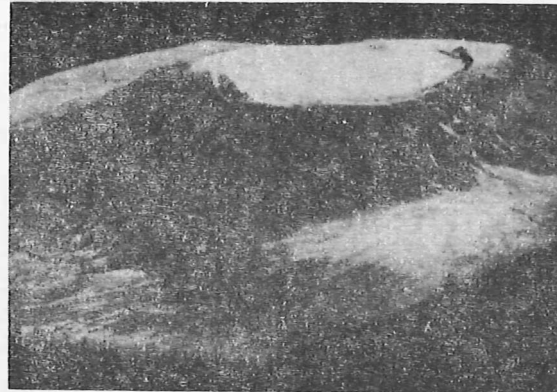


Abb. 5: Arsia-Mons auf dem Mars. Dieser Schildvulkan ist ein wenig kleiner als Olympus Mons / 1 /

Es handelt sich hierbei um die größten bisher bekannten vulkanischen Bauwerke im gesamten Sonnensystem, wobei deren aktive Phase bis vor einigen Hundert Mio. Jahren wirksam gewesen sein kann. Zwei weitere Besonderheiten, z. B. im Vergleich zum Mond und Merkur, sind Strukturen, die durch fließendes Wasser erzeugt wurden und ein großer Graben, das Valles Marineris. Fließendes Wasser gab es allem Anschein nach nur in der frühesten Phase des Mars. Der große Graben ist eine Bruchstruktur mit 5 000 km Länge und  $\approx$  200 km Breite. Die großen Vulkane und diese Bruchstrukturen deuten daraufhin, daß Mars, im Gegensatz zu Mond und Merkur, noch nach der Impact-Periode eine intensive, das Oberflächenbild verändernde Entwicklungsetappe durchlaufen hat.

Die feste Oberfläche der Venus wird durch weite, ebene Gebiete beherrscht, aus denen zwei kontinentale Gebilde, Iachtar- und Aphrodite-Terra, und eine (offenbar) Schildvulkanregion, die Beta-Regio, besonders hervortreten. Radar-Untersuchungen der sowjetischen Sonden Venera 15 und 16 haben gezeigt, daß zumindest die Kontinente und deren angrenzenden Gebiete eine große Vielfalt geomorphologischer Strukturtypen zeigen. Hervorzuheben sind Berge, Rücken, Faltungen, Brüche, Plateaus und Krater. Charakter und Anordnung der meisten linearen Merkmale lassen auf eine ganze Reihe zeitlich und richtungsmäßig unterschiedlicher mechanischer Einwirkungen auf die Kruste schließen, verursacht durch wahrscheinlich intensive tektonische Aktivitäten, die eventuell auch heute noch wirksam sind. Ob noch Krustenbereiche aus der Impact-Periode vorhanden sind, ist gegenwärtig noch unbekannt. Einzelne Ringstrukturen haben aber Ähnlichkeit mit Impactkratern. Allerdings liegt eine Kraterstatistik, die darüber Auskunft geben könnte, nicht vor, da einerseits bisher nur etwa 20 % der Venusoberfläche erfaßt sind und andererseits die gegenwärtig erreichte Auflösung dies, zumindest nicht vollständig, zulassen würde. Die bisher gewonnenen Erkenntnisse vermitteln aber den Eindruck, daß Venus durch tektonische Prozesse wesentlich intensiver geprägt ist als Mars. Die Triebkräfte für diese Vorgänge sind bei Venus überwiegend endogener Natur. Daß aber auch exogene Einflüsse mindestens auslösenden Charakter für spezielle tektonische und vulkanische Aktivitäten haben können, zeigen mit Io und Europa zwei Satelliten des Jupiter. Die photographische Erfassung der Oberfläche des Io zeigte deutlich, daß Impactkrater völlig fehlen, dafür aber ein sehr aktiver Vulkanismus vorhanden ist. Die Förderung der Lavamassen ist sehr intensiv. Dadurch erneuert sich die Oberfläche sehr schnell, und

ihr Alter wird mit etwa 1 Mio. Jahre angenommen. Europas Oberfläche zeigt nur sehr wenige Impactkrater, dafür aber ein dichtes und weit verzweigtes Netz von Bruchstrukturen (Abb. 6). Sowohl der Vulkanismus auf Io, als auch die Generation der Bruchmuster auf Europa werden durch die Aktivität der beiden Objekte erzeugt. Die Ursache dafür ist allerdings exogenen Ursprungs; sie ist vornehmlich Ergebnis der Gezeitenwechselwirkung beider mit Jupiter und den anderen Galilei-Monden.



Abb. 6: Bruchstrukturen auf Europa / 4 /

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die photogeomorphologische Fernerkundung den größten Teil planetarer Entwicklungsmöglichkeiten, bzw. deren Ergebnisse erfaßt hat. Daraus kann in gewissen Grenzen eine Evolutionskette planetarer Objekte abgeleitet werden, die verbesserte Rückschlüsse auf den Entstehungsprozeß von Planeten zuläßt. Deutlich geworden ist z. B. daß, bezogen auf die terrestrischen Planeten, die Erde der aktivste Planet ist, während bei Mond und/oder Merkur bereits ein fast vollständiger Stillstand der Evolution zu verzeichnen ist. Bei Zwischenstadien sind offenbar Mars (weniger aktiv) und Venus (mehr aktiv) angekommen. Der größte Teil der großen Satelliten der Riesenplaneten repräsentieren ebenfalls Objekte, deren Entwicklung abgeschlossen ist. Ausnahmen sind Io und Europa, die aber die notwendige Energie durch die Wechselwirkung mit anderen Planeten von "außen" beziehen.

### 3. Die stoffliche Zusammensetzung des Kerns des Kometen Halley

Kann man aus der photographischen Erkundung meist nur indirekte Schlüsse über die stoffliche Zusammensetzung eines Objektes ziehen, so liefern Partikelanalysen mit Hilfe eines Massenspektrometers natürlich direkte und vor allem sehr sichere Daten. Letzteres Gerät befand sich an Bord der beiden VEGA- und Giotto-Sonden, die den Kometen Halley erforschten. Gegenstand der Untersuchung waren feste Partikel, die in Sonnennähe vom Kometenkern abströmen. Sie prallen auf das Einfangtarget des Massenspektrometers und werden dort infolge der hohen Aufschlaggeschwindigkeit ( $\sim 70$  km/s) zerstört. Es entstehen eine Reihe von Sekundärteilchentypen, von denen die positiv geladenen Ionen analysiert und die enthaltenen Elemente mit Massen von 1 - 100 erfaßt werden. Im wesentlichen können drei Partikeltypen unterschieden werden:

- Teilchen, die ausschließlich aus den Elementen C, O, H, N aufgebaut sind. Hierbei handelt es sich offensichtlich um organisch chemische Verbindungen;
- Silikat- und Oxid-Teilchen, in denen die Elemente O, Si, Fe, Mg, Ca, Al vorherrschen, die aber auch Na, K, Ti, etc. enthalten können;
- Teilchen, die aus beiden oben genannten Komponenten bestehen und den sogenannten "Greenberg"-Partikeln zugeordnet werden können.

Außerdem treten natürlich untergeordnet Teilchen auf, die z. B. nur C' oder ein Metall enthalten.

Insgesamt kann gegenwärtig festgestellt werden, daß die vor den VEGA- und Giotto-Experimenten erarbeiteten Stoffmodelle den tatsächlichen Gegebenheiten sehr nahe kommen.

#### Literatur

- / 1 / NEUKUM, G.: Fernerkundung der Planeten und kartographische Ergebnisse  
Schriftenreihe HSBW. - München (1984), Hrg.: G. Neugebauer
  
- / 2 / KISSEL, J. et al.: Composition of comet Halley dust particles from  
Giotto observations  
Nature. - London 321 (1986) 6067. - S. 336
  
- / 3 / KISSEL, J. et al.: Composition of some Halley dust particles from  
VEGA observations  
Nature. - London 321 (1986) 6067. - S. 280
  
- / 4 / MASSON, Ph. et A. Brahic: Les satellites de Jupiter et Saturn  
La Recherche. - Paris 12 (1981) 120. - S. 290

Geologische Interpretation von Teilgebieten der Venus auf der Grundlage sowjetischer Radar-Aufnahmen

P. BANKWITZ<sup>1)</sup>, E. BANKWITZ<sup>1)</sup>, R. WASCH<sup>2)</sup>

- 1) Akademie der Wissenschaften der DDR  
Zentralinstitut für Physik der Erde
- 2) Akademie der Wissenschaften der DDR  
Institut für Kosmosforschung

Zusammenfassung

Die Sonden Venera 15 und 16 haben 1983/84 den größten Teil der Venusoberfläche mit Radartechnik kartiert. Durch uns wurde ein Ausschnitt der Nordhemisphäre zwischen 355° und 15° östl. Länge, 30° und 90° nördl. Breite interpretiert. Das Gebiet schließt die Maxwell-Mountains ein. Die hohe Bodenauflösung der empfangenen Signale erlaubt eine flächige Kartierung nach Gesteinsstruktur, relativem Alter der Gesteinsformationen und überlagernden Deformationen. Indikationen, die ein unterschiedliches Alter der Gesteinseinheiten andeuten, sind zu erkennen, ebenso wie Bereiche mit vorherrschender Scherung, Weitungs- oder Einengungstektonik oder Gebiete, in denen Horizontalverschiebungen (Scherung) dominieren. 3 Systeme von Störungslinierungen sind zu beobachten: ca. 60°/150° als das älteste, 30°/115° und 180°/90° als das jüngste. Die streifenförmigen Rücken und Depressionen (Syn- und Antiformen) der Maxwell-Mountains sind ebenfalls durch Scherung verformt. Ein weiterer Typ von Faltung zeigt sich in bogigen Linierungen, welche hauptsächlich innerhalb von Scherzonen auftreten. Spröde Bruchformation in regionaler Dimension ist verbreitet in der Venus-Kruste. Ringstrukturen sind überwiegend Impaktkrater von sehr unterschiedlicher Größe. Vulkanische Formen sind selten. Es wurde eine automatische Texturanalyse (Fourieranalyse) angewendet, um die regionale Verbreitung der Oberflächentexturen zu überprüfen und die Verteilung der dominierenden Texturgrößen von Oberflächenstrukturen zu quantifizieren.

Summary

The space crafts Venera 15 and 16 have mapped by radar techniques most of the Venus surface during 1983/84. We have investigated a section of the northern hemisphere at 0° long., between 30° and 90° n.lat. The Maxwell Mountains are included as well. The high ground resolution of the transmitted signals allows to identify areas which can be divided by differences in rock structure, relative age of rock formations and superimposing deformations. Indications for distinguishing rock units of different age are to be recognized, as domains of prevailing shearing, tension or compression tectonics. Three systems of fault lineations are to be seen: 60°/150° - as the oldest, 30°/115°, and 180°/90° - as the youngest. The striplike anti- and synforms of the Maxwell Mountains are deformed by shearing. Another type of folding are curved lineations which appear mainly between shear systems. Brittle deformation of regional dimension has happened in the crust of Venus. Circular features are mostly impact craters of a wide range in diameter. Volcanic edifices are rare. We used an automatic texture analysis (Fourier analysis) to improve the regionalization of the surface texture and to quantify the distribution of dominant dimensions of surface structures.

Резюме

В 1983/84 гг с советских станций Венера 15 и 16 были получены радиолокационные снимки большей части поверхности Венеры. Авторами была интерпретирована часть северного полушария между 355° и 15° восточной долготы, 30° и 90° северной широты. Район включает в себя горы Максвелла. Высокое разрешение снимков позволяет провести картирование поверхности по таким признакам как структура пород, относительный возраст горных формаций и по перекрывающимся деформациям. На снимках распознаются индикации, которые указывают на различный возраст единиц горных пород, а также на районы с преобладающей тектоникой расширения и сжатия или районы, в которых наблюдаются горизонтальные перемещения. Отмечены три системы линейментов: наиболее старого возраста - 60°/150° и молодого возраста - 30°/115° и 180°/90°. Полоскообразные хребты и депрессии гор Максвелла деформированы в результате скалывания. Другой вид складчатости проявляется в дугообразных линейментах, которые встречаются преимущественно внутри зон скалывания. Хрупкая деформация региональной размерности распространена в коре Венеры. Кольцевыми структурами различной величины являются преимущественно метеоритные кратеры, вулканические формы встречаются редко. Для контроля регионального распространения поверхностных структур и для оценки распределения преобладающих текстурных величин поверхностных структур был проведен машинный текстурный анализ / анализ Фурье/.



### 1. Einführung

Die geologische Interpretation von Radarbildern der sowjetischen Sonden Venus 15 und 16 umfaßt einen Ausschnitt der Venus-Nordhemisphäre von 30° nördl. Breite bis zum Nordpol, in einem Streifen zwischen 350° westl. Länge und 15° östl. Länge (Abb. 1 u. 27).

Sie entstand in Zusammenarbeit mit dem Vernadski-Institut (Geochi), Moskau, das die Aufnahmen zur Verfügung stellte und in dessen Labor für Planetologie die Venus-Nordhälfte zusammengestellt und interpretiert wird (BASILEVSKI u. a.).

### 2. Kennzeichen des Planeten Venus

Bereits im Jahre 1610 hat GALILEI die ersten Fernrohrbeobachtungen von der Venus, dem hellsten Objekt am Himmel nach Sonne und Mond, gemacht und die Phasen dieses Planeten entdeckt. Dabei bemerkte er, daß die Änderung der Phasen nicht mit dem Ptolemäischen System übereinstimmt. 1643 entdeckte F. FONTANA die Streifen der Venus, in den dreißiger Jahren unseres Jahrhunderts gelang es, mit Hilfe der UV-Fotografie die Bewegung der Wolken auf dem Planeten zu erkennen. Die Venus hat eine 70 km mächtige Wolkendecke; dadurch entspricht die Helligkeit auf der Oberfläche der auf der Erde bei Bedeckung durch dichte Gewitterwolken. Wegen der hohen Temperatur von ca. 460° C glüht die Oberfläche nachts, und der Venushimmel ist orange-rot.

Nahezu 78% der Sonneneinstrahlung wird von den Wolken gestreut; da diese zusätzlich absorbieren, erreichen nur 4 % die Venus, d. h. kein wesentliches Signal kommt von der festen Oberfläche (ein mittleres Reflexionsvermögen von 15 % entspricht dem von Gesteinen der Erde).

Eine weitere Übereinstimmung mit der Erde ist die ungefähr gleiche Größe bei einem Radius von 6052 km. Die Masse der Venus beträgt 82 % der Erdmasse, die Dichte liegt bei 5,2 kg/dm<sup>3</sup> (Erde 5,5 kg/dm<sup>3</sup>); der Druck ist etwa hundertmal so hoch wie auf der Erde in Meereshöhe.

Die Venus rotiert in 243 (irdischen) Tagen; die Rotation ist retrograd, d. h. entgegengesetzt der Bahnbewegung um die Sonne. Die durch die Sonneneinstrahlung verursachten Stürme verstärken die retrograde Drehgeschwindigkeit. Vermutlich ist die jetzige Rotation im Gleichgewicht zwischen den Gezeitenkräften (Sonne-Schwerefeld) und den Stürmen (GREELEY u. a. 1985).

Die Atmosphäre besteht überwiegend aus CO<sub>2</sub> (96 %), N<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub> (sowie relativ viel Argon), die Wolkenpartikel aus H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; das bedeutet, bei Gewittern könnte es zu Schwefelsäure-Niederschlägen kommen.

### 3. Die Oberfläche der Venus

Die Oberfläche der Venus ist trotz der hohen Temperatur fest und besteht vor allem aus basaltoiden Gesteinen (BARSUKOV u. a. 1980) und deren Verwitterungsschutt bzw. aus Tuffen, die offenbar teilweise äolisch sedimentiert (infolge der verbreiteten Stürme) und später kompaktiert sind (BASILEVSKI u. a. 1985). Das Relief ist insgesamt eben: 80 % der Oberfläche liegen in einem Intervall von zwei km Höhendifferenz, 60 % haben Höhenunterschiede von nur 1 km; wenige Hochländer erheben sich darüber. Eine Ausnahme bilden die Maxwell-Mountains, deren höchster Gipfel mit 11 km eine Himalaya-artige Höhe aufweist. Diese Aufragung liegt bei 65° n. B., 5° ö. L. im interpretierten Ausschnitt (Abb. 27).

Nach dem Relief sind zu unterscheiden:

- Ebenen (DAVIS u. a. 1986: rolling plains), mit geringen Reliefunterschieden, d. h. 65 % der Oberfläche liegen in Höhen zwischen 0 und + 2 km, in Abb. 1 als "smooth plains" bezeichnet. In diesem Gebiet sind lineare Rinnen, parallele Rücken und Ringstrukturen bis zu 1700 km Durchmesser zu erkennen, u. a. im interpretierten Ausschnitt (Abb. 27). In den

# VENERA 15 AND 16 VENUS GEOLOGY SCHEME

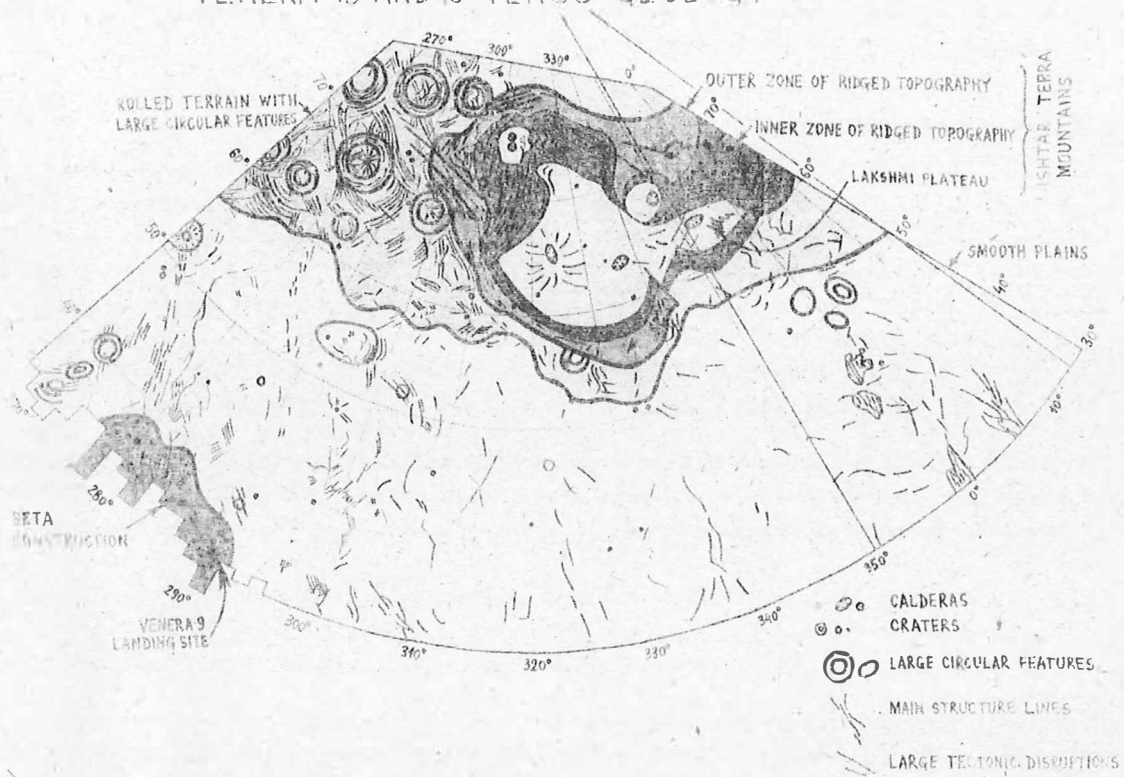


Abb. 1: Geologische Skizze eines Ausschnitts der Venusoberfläche auf der Grundlage von Radarbildern der sowjetischen Sonden Venus 15 und 16 (nach BASILEVSKI)

Ringstrukturen (Impakte oder Krater) ist die Oberfläche ebener als außerhalb.

- Hochländer von Kontinentengröße, welche 8 % der Venusoberfläche einnehmen und zwischen +2 und +11 km Höhe liegen.
  - a) Aphrodite-Terra (mit der Größe von Afrika) liegt nahe dem Äquator; b) Beta-Region;
  - c) Ishtar-Terra (mit der Größe von Grönland), wozu das zentrale Lakshmi-Plateau mit den umrandenden Gebirgsketten zählt /Abb. 17/, deren höchste die Maxwell-Mountains darstellen. BASILEVSKI u. a. unterscheiden zusätzlich eine innere und eine äußere durch Rücken gegliederte Zone (ridged topography). Die Ringstrukturen im Lakshmi-Plateau werden als Calderen angesehen, die großen Ringstrukturen des westlich anschließenden relieferten Terrains (rolled terrain) könnten endogenen Strukturen zuzurechnen sein.
- Tiefländer: 27 % der Oberfläche zwischen 0 und -2km; meist ringförmig bis sinusförmig konturierte Gebiete. Sie erscheinen im Radarbild schwarz, da sie kein Relief aufweisen, was im Auflösungsbereich des verwendeten Radars liegt.

Die hypsographische Kurve der Reliefverteilung spricht gegen rezente plattentektonische Vorgänge auf der Venus, da offensichtlich nur ein Typ von Kruste vorzuliegen scheint (PETTENGILL u. a. 1980).

Da nach Literaturdaten (PHILLIPS und MALIN 1984) die Schwere ausgeglichen ist und demnach der größte Teil der cytherischen Oberfläche sich im isostatischen Gleichgewicht befindet, kann eine dünne Lithosphäre angenommen werden; damit wäre aber dann mit endogener Aktivität auf der Venus zu rechnen.

#### 4. Ergebnisse der tektonischen Interpretation

Das Venussegment /Abb. 27/ erfaßt den rechten Rand der Überblicksskizze in Abb. 1 über eine Länge von 6000 km und eine Breite von ca. 2000 km. Im zentralen Teil des Nordabschnitts liegen die Maxwell-Mountains mit dem charakteristischen runden Fleck des Kraters Cleopatra; Abb. 4 gibt eine Vergrößerung dieses 750 km langen Massivs wieder, das den Ostrand des Lakshmi-Plateaus flankiert. Das Plateau erscheint als helle Region mit weich bis schwach texturierter Oberfläche. Es kann als ältester Teil der Ishtar-Terra-Region angesehen werden, heute repräsentiert durch eine tiefliegende Scholle (+ 3km Höhe), begraben unter jungen Basaltergüssen, die auf die Krater /Abb. 17/ zurückgeführt werden und fast alle älteren Strukturen des Plateaus weitgehend verdecken. In weichen Formen deuten sich einige wenige alte Strukturen an /Abb. 47/.

Der vermutlich abgesenkte Block des Lakshmi-Plateaus wird von aufragenden jüngeren Gebirgsketten umrahmt, von denen die Maxwell-Mountains nur eine darstellen. Sie sind charakterisiert durch eng aufeinanderfolgende parallele Rücken, in den Maxwell-Mountains von 1 bis 4 km Breite, getrennt durch Depressionen im Abstand von ungefähr 10 km.

Neben den Gebirgsketten in den Maxwell-Mountains und nördlich davon sind im Ausschnitt der Abb. 2 zahlreiche Strukturen zu erkennen:

- Plateaus ohne erkennbare jüngere tektonische Strukturen, meist als heller erscheinende Regionen; so z. B. nahe dem Nordende des Ausschnitts, im Bereich des Lakshmi-Plateaus und am Süden des Segments. Sie können die Oberfläche eines überdeckten Blocks repräsentieren.
- Rücken und Depressionen als Ergebnis von ?Faltungsvorgängen oder ?Verschuppungstektonik, in jedem Fall von Einengungstektonik.

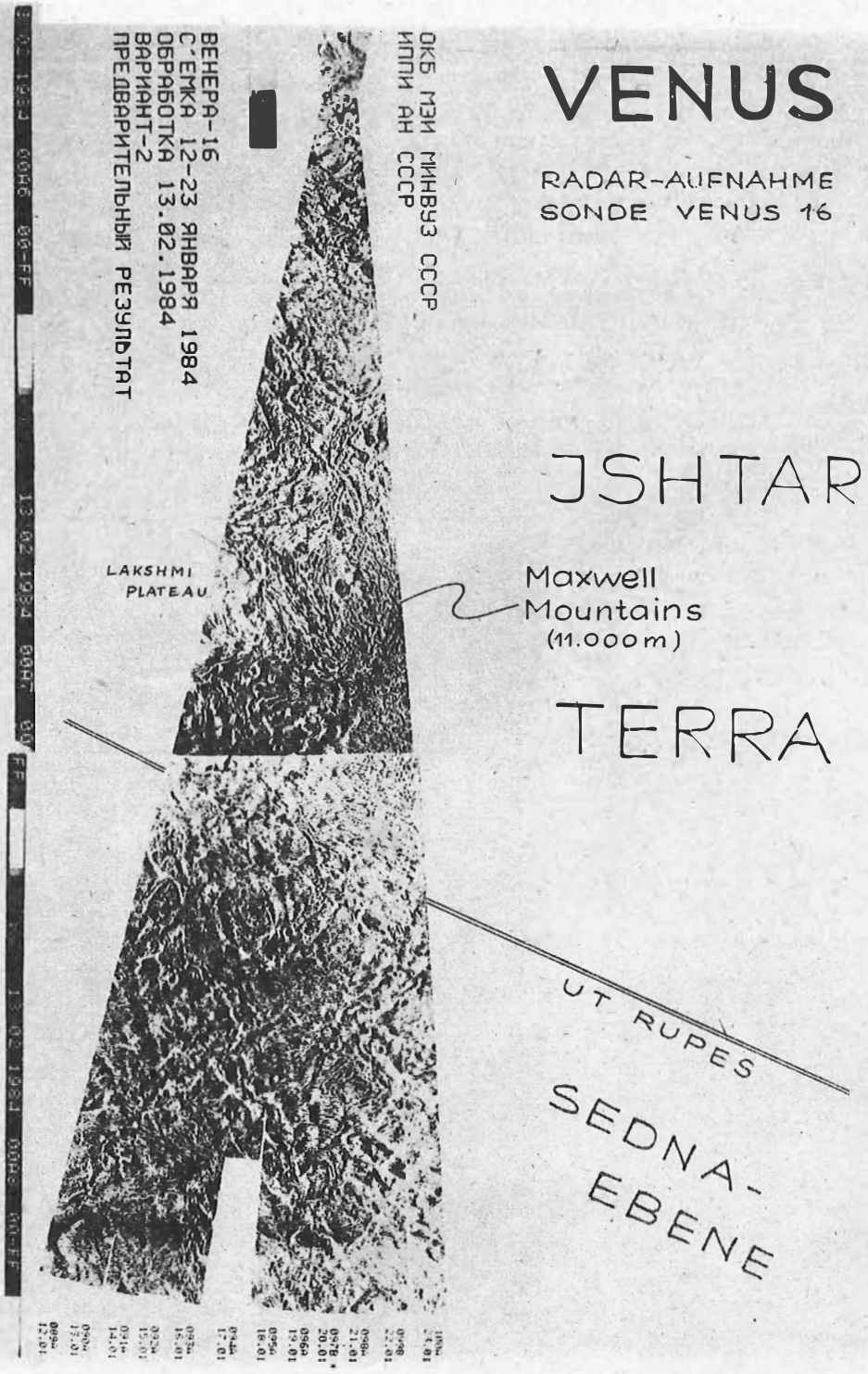


Abb. 2: Segment der Venusoberfläche von Radarbildern der sowjetischen Sonde Venus 16 zwischen 350°W und 15°E (nach BASILEVSKI)



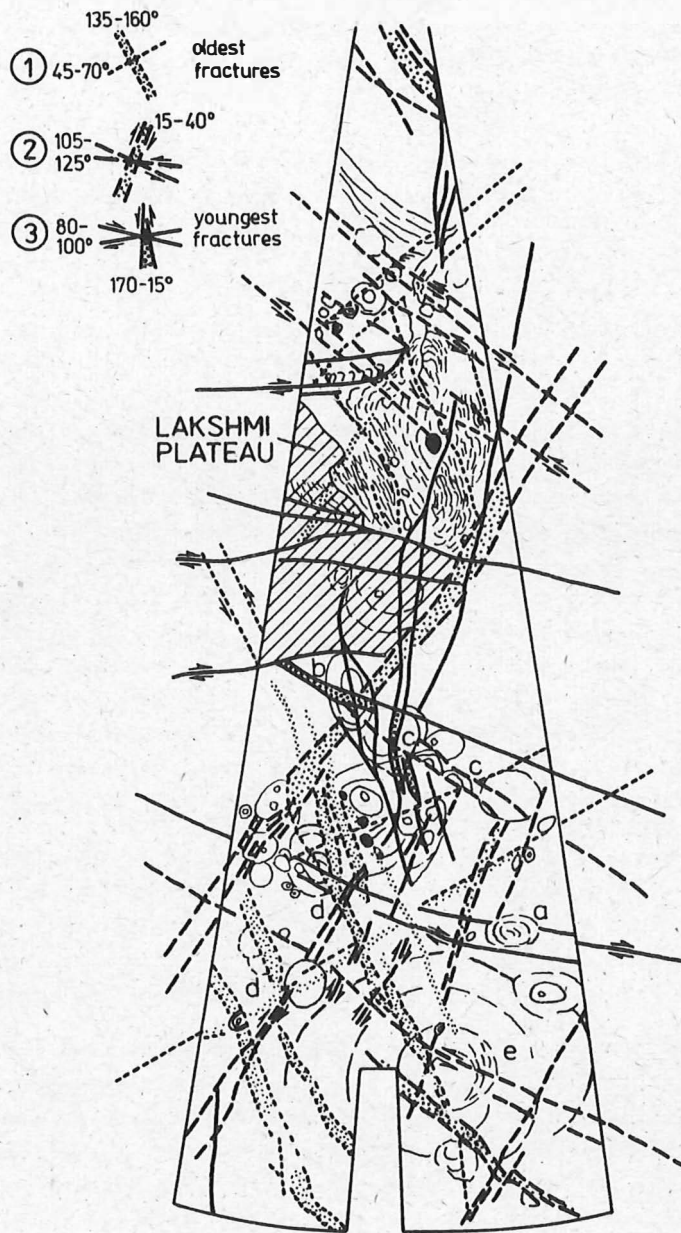


Abb. 3: Geologische Interpretation der Venusoberfläche in Abb. 2. Eine Zuordnung der Störungslinien zu 3 orthogonalen Systemen ist möglich; Altersunterschiede deuten sich durch gegenseitige Überdeckung oder Versätze an; Pfeile: Richtung der Horizontalverschiebung; (1) Ältestes, (3) jüngstes Lineationssystem; die Ringstrukturen sind teilweise jünger als das jüngste Rupturenmuster (3), z. B. bei (a), älter als (3) bei (b), älter als das Störungssystem (2) bei (c) und älter als das Älteste Störungssystem (1) bei (d) und (e); Ringstruktur (e) im Südtteil hat einen Durchmesser von 1700 km. Die Breite des Ausschnitts beträgt oa. 2300 km, die Höhe oa. 6000 km (BANKWITZ 1984).

- Ringstrukturen unterschiedlicher Dimension, welche entweder durch Impakte verursacht wurden oder endogene domähnliche Strukturen (Aufdomungen) vertreten. Zwei Ringstrukturen sehr großen Ausmaßes sind im Südabschnitt des Segments /Abb. 3/ zu identifizieren; die südlichste (teilweise überdeckt vom leeren Rechteck) hat einen Durchmesser von nahezu 1700 km. Jüngere, überlagernde Strukturen erschweren das Erkennen ihrer Gesamtform, die durch mehrere ringförmige Streifen charakterisiert ist.
- Vulkane, teilweise als Kegel zu erkennen, in einigen Fällen scheinbar entlang von Lineationen aufgereiht bzw. gehäuft in linearer Erstreckung auftretend. Abb. 3 enthält nur eine Auswahl; größere Vulkane scheinen in den von uns genutzten Radaraufnahmen selten zu sein. Das Auftreten von Vulkanen ist noch in Diskussion.
- Lineationen unterschiedlicher Art und unterschiedlichen Alters, was aus der Beziehung sich gegenseitig überlagernder Lineationen abgeleitet werden kann.
- Verbiegungen, sigmoidale Schleppungen und Faltenstrukturen in der Nachbarschaft von Lineationen bzw. innerhalb von Lineationszonen deuten auf Horizontalverschiebungen an Störungssystemen, vor allem im Nordabschnitt des Segments /Abb. 3/, im Südabschnitt sind es vor allem Versätze von Strukturen, die auf Scherbewegungen hinweisen.

Innerhalb des intensiv strukturierten Segments /Abb. 2/ mit einer Vielzahl von Strukturelementen der Oberfläche lassen sich hauptsächlich drei orthogonale Systeme von Lineationen identifizieren, die sich überlagern. Teilweise sind diese Lineationen, welche Störungen zu vertreten scheinen, als schmale Linien ausgebildet, so z. B. am Nordende der Maxwell-Mountains /Abb. 4/. Hier repräsentieren sie offenbar Scherzonen, an denen ältere Rücken, welche sie queren, verbogen (geschleppt) sind. In anderen Fällen erscheinen sie als dunklere breite Bänder und könnten Weitungsstrukturen darstellen.

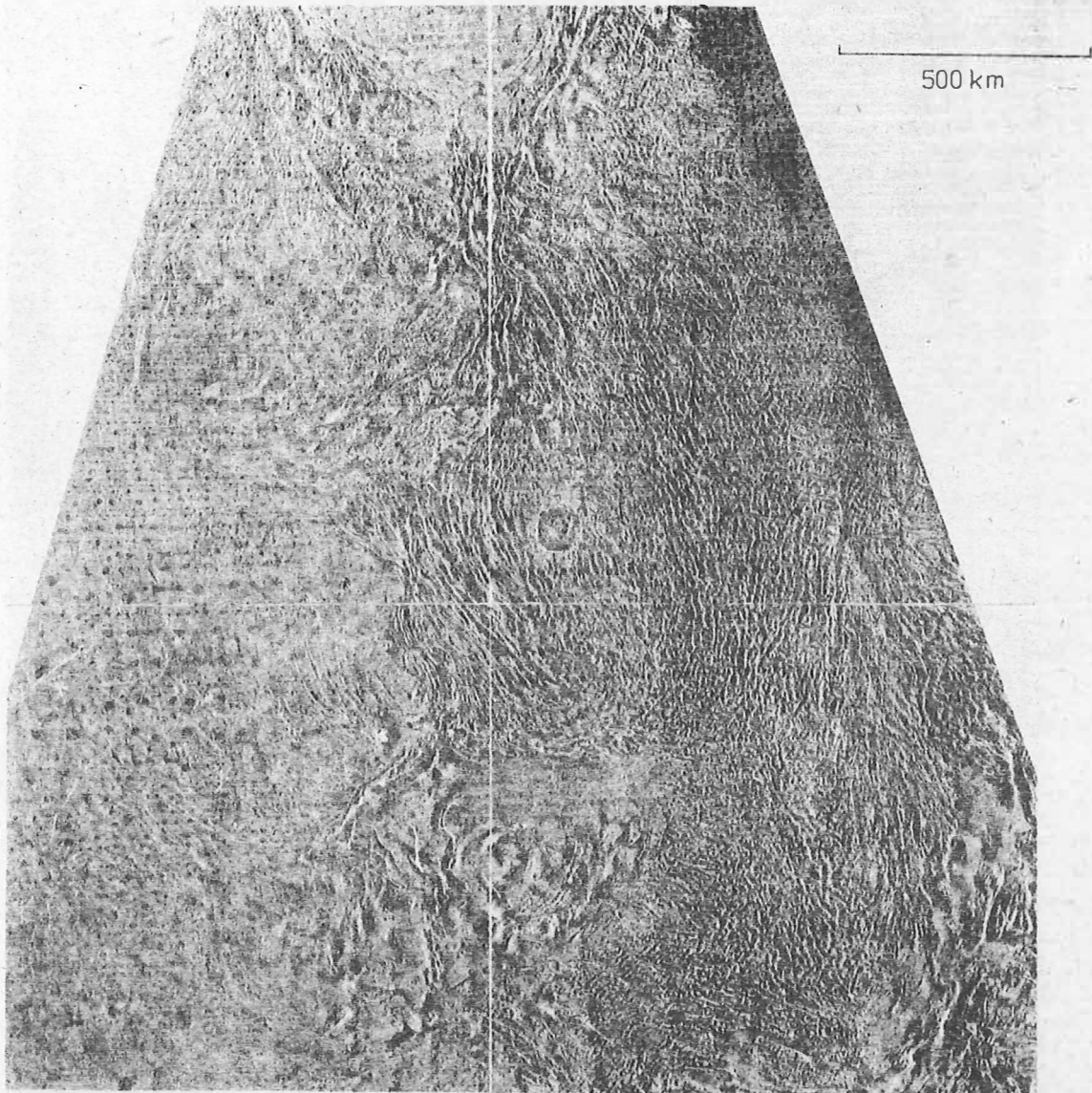
Das gilt vor allem für die als ältestes System ausscheidbaren NW- und NE-Richtungen im Südabschnitt, welche die offenbar noch älteren beiden großen Ringstrukturen sowie einige andere queren und deren Konturen teilweise zerstören /Abb. 3/. Auf mit ihnen verbundene Weitungsvorgänge scheinen ebenfalls die an ihnen lokalisierten Vulkane hinzuweisen - ferner die Tatsache, daß nur eine der beiden Richtungen als breite Depressionsform ausgebildet ist.

Obwohl sich zwei weitere Lineationssysteme als wahrscheinlich zusammengehörige Richtungen unterscheiden lassen, ist eine Zuordnung teilweise ungewiß, vor allem bei Berücksichtigung der Frage, wie sich Gesteine während der Zeit von mehreren Millionen Jahren bei 460°C verhalten. Ein plastischeres Verhalten müßte zwangsläufig zu weniger strenger Regelung tektonischer Elemente führen. Daß die Venusoberfläche trotz der hohen Temperatur teilweise einer spröden Deformation unterlag, ist an einigen sich aufgabelnden Brüchen und an einem gelegentlich deutlichen Netzwerk von Brüchen zu erkennen (Quadrant links unten in Abb. 4).

Trotz den von der Erde abweichenden Bedingungen auf der Venus lassen sich zwei weitere Lineationssysteme erkennen, deren Altersunterschiede sich durch gegenseitige Überdeckung andeuten. Beide sind durch Versätze und Verbiegungen als Scherzonen einzuschätzen - zumindest als Störungszonen, an denen zeitweilig Horizontalverschiebungen stattgefunden haben.

Berücksichtigt man die Weitungsrichtung des ältesten Systems und die Verschiebungstendenzen der beiden jüngeren, so läßt sich auf einen Wechsel der Hauptkompressionsrichtung für die drei ausgewählten Zeitabschnitte in diesem Gebiet schließen /Abb. 3/:  
Verlagerung von NNW über NE auf NW. Die größten Schleppfalten verursachten die vermutlich jüngsten Aktivitäten an E-W-streichenden Scherzonen /Abb. 3 bis 5/.

## ВЕНЕРА ГОРЫ МАКСВЕЛЛА



ФОТОПЛАЧ. ПРОЕКЦИЯ НОРМАЛЬНАЯ РАВНОУГОЛЬНАЯ КОНИЧЕСКАЯ ЛАМБЕРТА - ГАУССА. СТАНАРТНЫЕ ПАРИЛЛЕЛИ 58.3° И 72.4°.

Abb. 4: Radarbild der Venusoberfläche (Ausschnitt aus Abb. 2, Vergr.) von der sowjetischen Sonde Venus 16. Im Zentrum der Aufnahme die Maxwell-Mountains mit dem höchsten Gipfel 11 km über Null, gekennzeichnet durch enge parallele Rücken und Senken in der Westhälfte und dem Krater Cleopatra im NE-Teil. Westlich anschließend die glatte Oberfläche des Lakshmi-Plateaus. Östlich der Maxwell-Mountains eine engmaschig strukturierte Oberfläche (Parkettierung; nach BASILJEVSKI).

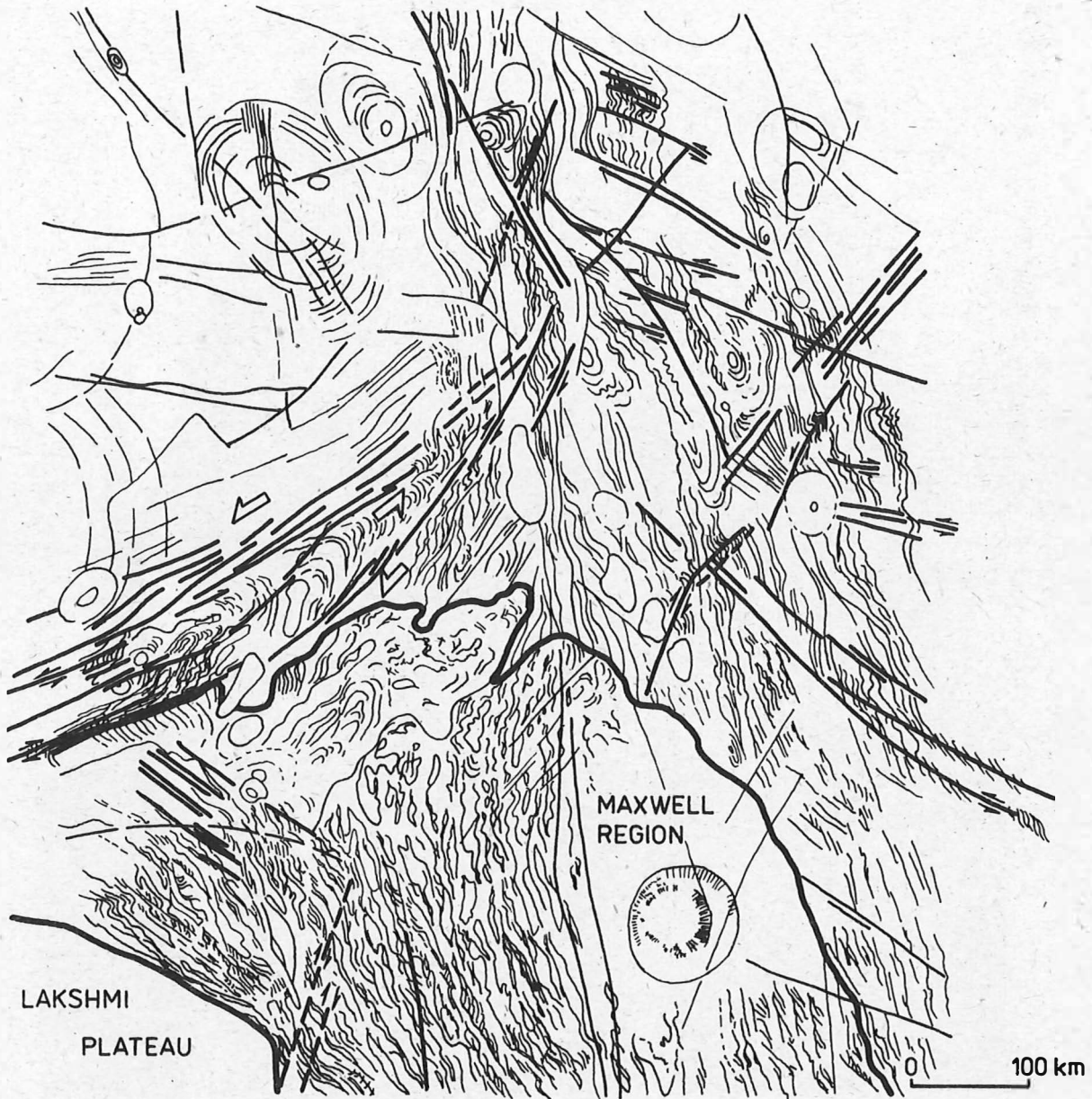


Abb. 5: Geologische Interpretation des Gebietes nördlich der Maxwell-Mountains. Die Störungslinierungen deuten auf Horizontalverschiebungen (Pfeile), die zu sigmoidalen Verbiegungen der älteren Rückenstrukturen, zu Versätzen oder Verfaltungen zwischen den Störungssystemen geführt haben. Sie sind Kennzeichen plastischer Verformung der Venusoberfläche im Bereich der Lineationen (BANKWITZ, 1985).



Die Vergrößerung eines Ausschnitts in Abb. 47 macht eine wiederholte Überprägung deutlich, die ein Mosaik von Strukturformen erzeugt hat. Das östlich der Maxwell-Mountains (Zentrum von Abb. 4) vorliegende Lineationsmuster wird von BASILEVSKI als Parkettierung bezeichnet.

Besonders augenscheinlich sind in diesem Ausschnitt die Gleitbewegungen an Scherzonen, die das überwiegend plastische Verhalten der Venusgesteine belegen - erkennbar an verbreiteten kleindimensionierten Schleppungen der Rücken in den Faltengebirgen im km-Bereich Abb. 57.

Der Deformationsmechanismus in den interpretierten Gebieten der Radarbilder scheint vor allem Gleitung, gebunden an Störungen zu sein, welche Überlagerungen von Strukturen in einer komplex zusammengesetzten Scherzone von 80 km Breite nördlich der Maxwell-Mountains verursacht hat Abb. 4 u. 57.

Zwischen den einzelnen Teilstörungen wird von den Autoren Scherfaltung großen Ausmaßes durch Horizontalverschiebung angenommen.

Überschiebungstektonik (Verschuppung) oder Faltungsvorgänge werden als mögliche Ursache der parallelen Rücken und Depressionen angesehen. Die Autoren führen diese Formen auf Faltung zurück, da die Rücken dem Verlauf des Plateau-Ostrand es folgen und stellenweise zopfartig verdreht erscheinen bzw. sich am Ende in schmale Kämme fingerartig auffächern. Diese Merkmale sind an Faltenzonen der Erde zu beobachten; sie sind in der Regel das Ergebnis von Fließfaltung. Generell sind alle Rücken von schmalen Kämmen überlagert, welche spitzwinklig zu den Hauptstrukturen verlaufen.

Der Krater Cleopatra Abb. 4 u. 67 scheint der Ausgangspunkt von Magmaströmen gewesen zu sein, welche die Kraterwand im W und NE durchbrochen haben.

Die Rücken in der Nähe des Kraters (Caldera), vor allem im Ostteil, scheinen in den Basaltströmen, welche die Depressionen ausfüllen und im Radarbild heller hervortreten, ertrunken zu sein Abb. 67. Nur einige schmale Kämmen sind innerhalb der Basaltdecke zu beobachten, offenbar ragen sie wegen ihrer größeren Höhe daraus hervor.

##### 5. Texturanalyse

Die Radarbilder Abb. 2 u. 47 lassen erkennen, daß Gebiete mit unterschiedlicher Strukturierung auszugliedern sind. Eine Rayonierung erweist sich jedoch als schwierig, da sich viele Strukturelemente verschiedenen Alters überlagern und einzelne auf unterschiedliche Gebiete übergreifen und durch Übergänge Abgrenzungen nicht leicht vorzunehmen ist.

Die visuelle Interpretation eines Satellitenbildes ist oft nicht genügend objektiv und nicht genügend reproduzierbar. Ziel der geologischen Fernerkundung ist es, neue Methoden zu finden und zu nutzen, welche geologische Indikationen entziffern und reproduzierbare Resultate liefern. Eine solche Methode ist die Texturanalyse. Sie gestattet einerseits die quantitative Charakterisierung geologischer Gebiete oder Einheiten, das bedeutet die Objektivierung der Einschätzung ihres strukturellen Inventars und andererseits eine deutliche Abgrenzung und kartenmäßige Darstellung verschiedener Texturtypen mittels formalisierbarer Merkmale.

Die Methode dient also nicht nur der strukturmetrischen Charakterisierung von Gebieten, sondern der Vergleichbarkeit verschiedener Gebiete und damit der geologischen Rayonierung. Die Problematik des Kontrastes ist zu beachten, stellt jedoch keine Behinderung der geologischen Interpretation dar. Auch für stoffliche Aussagen ist die Einbeziehung von Texturparametern sinnvoll. Außerdem wird es mit diesem Verfahren möglich, strukturelle Elemente unterschiedlicher Dimensionen, die sich in einem Ausschnitt überlagern, getrennt zu erfassen und

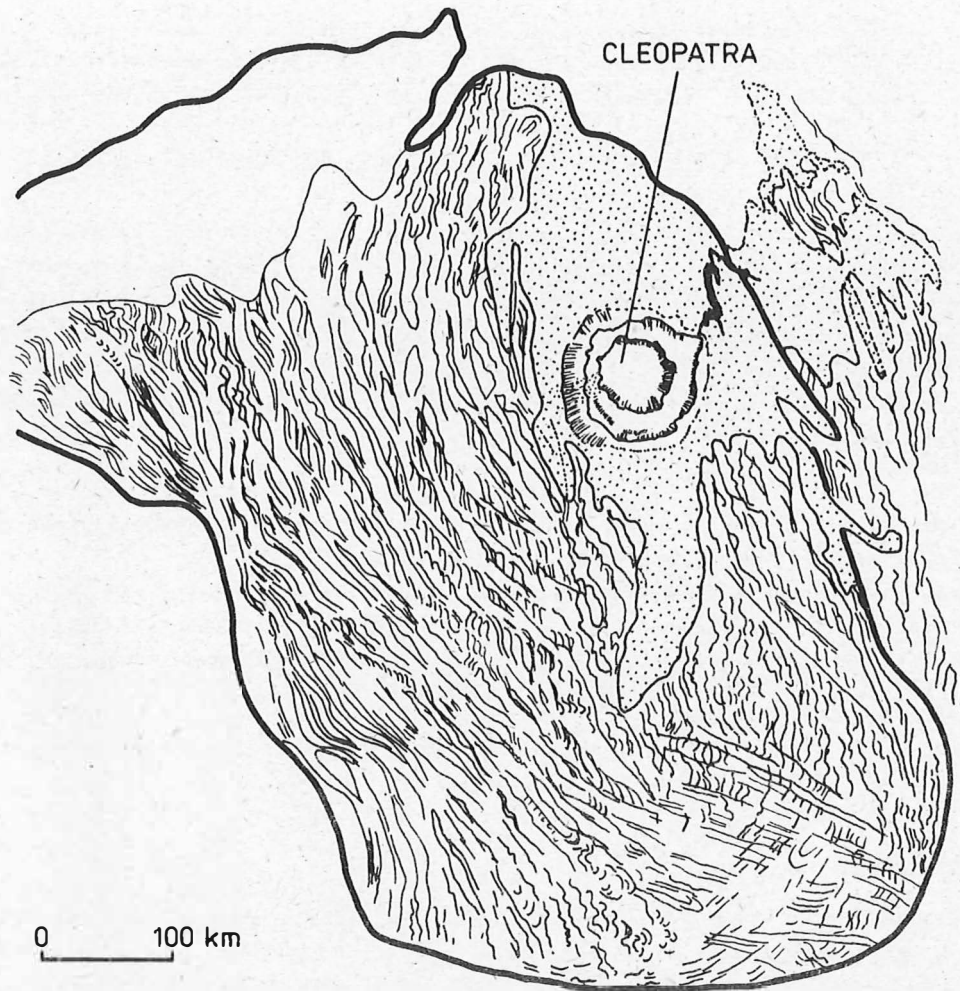


Abb. 6: Geologische Skizze der Maxwell-Mountains. Der Wall des Kraters Cleopatra ist an zwei Stellen offenbar durch ausfließende Lavaströme (W und E) durchbrochen, wodurch Rücken stellenweise verdeckt worden sind, nur einige höhere Kämmе ragen daraus hervor (BANKWITZ 1985).

damit das Bild nach geologischen Gesichtspunkten auszuwerten.

Für die Texturanalyse wird eine Einrichtung mit kohärentem Licht (LASER) sowie verschiedenen Filtern genutzt, die in Abhängigkeit von der Texturdimension gewählt werden. Da die Dimensionen der strukturellen Elemente auf der Venus relativ unbekannt sind, haben wir eine Radar-Aufnahme von der Venusoberfläche lückenlos gefiltert. Registriert wird dabei die Intensitätsverteilung, d. h. das Leistungsspektrum (power spectrum = Leistungsdichtespektrum), welches durch die Amplituden der Filter gesteuert bzw. manipuliert wird. Dabei wird mit Bandpässen gearbeitet, d. h. es werden einzelne Ortsfrequenzen ausgeblendet und nicht zur Abbildung zugelassen, oder umgekehrt: nur bestimmte, gewünschte. Die Bandpässe reichen von 2 Linien/mm bis zu 18 Linien/mm. Die Filter helfen, genau die gewünschte Dimension zu treffen, d. h. eine exakte Texturgröße zu messen, die das dominierende Element eines Gebietes darstellt.

Behandelt wurde das Bild in 3 Abtastschritten (Operationseinheiten): 0,5 - 1 - 2 mm. 2-mm-Abtastschritte erfassen das regionale Bild und entsprechen einem Tiefpaß. Dafür werden die unteren Bandpässe (1, 2, 3, 4) benutzt: sie verdeutlichen Einheiten mit dem gleichen dominierenden Texturelement. Die Abbildung bzw. Wiedergabe der größeren Strukturen wirkt dadurch scheinbar etwas verschwommen. Die Abbildung der feineren Strukturierung durch höhere Bandpässe (z. B. im vorliegenden Fall 5 u. 9, Abb. 7) wirkt dagegen scharf, aber infolge der Kompliziertheit der Oberflächenstruktur auch unübersichtlicher.

Die Intensitätsverteilung wird auf einem Rechner in Grauwerte umgesetzt und dann visualisiert. So werden objektive und quantitative Aussagen über Ortsfrequenzen möglich, d. h. durch Erfassung eines entsprechenden Typenanteils im Bereich des gewählten Oberflächenausschnittes.

Da der Dynamikbereich des Powerspektrums sehr hoch ist (Differenz zwischen mittlerem Maximum und Nebenmaxima sehr groß), sind die hohen Frequenzen immer nur ganz schwach vertreten. Deshalb wird eine Histogramm-Spreizung durchgeführt, wodurch das Maß der direkten Vergleichbarkeit verlorengeht, andererseits jedoch wesentlich mehr Strukturen sichtbar, d. h. Unterscheidungen möglich werden. In den ausgedruckten Bildbearbeitungen bedeuten die Grautöne der Felder:

hell	=	Ortsfrequenz nicht vorhanden
grau	=	Ortsfrequenz im Mittel vorhanden
schwarz	=	Ortsfrequenz stark vorhanden.

Um eine quantitative Analyse durchführen zu können, wird ein Bezugssystem benötigt, das man durch Differenzbildung schafft. Dazu nutzt man die bandpasslose Filterung (0), d. h. das gesamte Powerspektrum und den jeweiligen Bandpass:

$$(PS) - BP_x (1-15)$$

Eine weitere Hilfe bei der Interpretation bietet die Kontrastdarstellung

$$\frac{BP_0 - BP_x}{BP_0 + BP_x} = \text{Kontrastdarstellung (Quotient)}$$

Anschließend werden zur Verdeutlichung Mischbilder durch Farbsynthese verschiedener Bandpässe hergestellt. Dabei können die Farben bestimmten Kilometermaßstäben zugeordnet werden.

Das Ergebnis sind durch die Farbgebung ausgewiesene vergleichbare Gebiete gleicher Oberflächentextur. Bei Verwendung der größeren Operationseinheit (2 mm) erreicht man eine Rayonie-

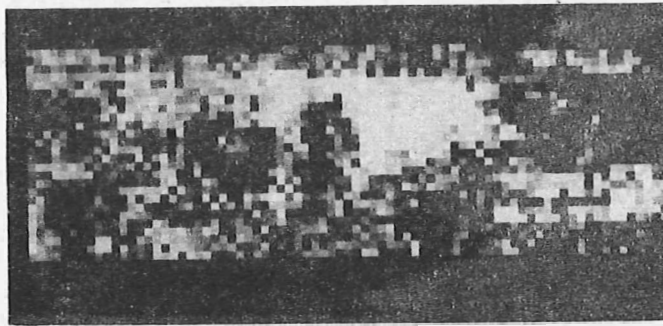
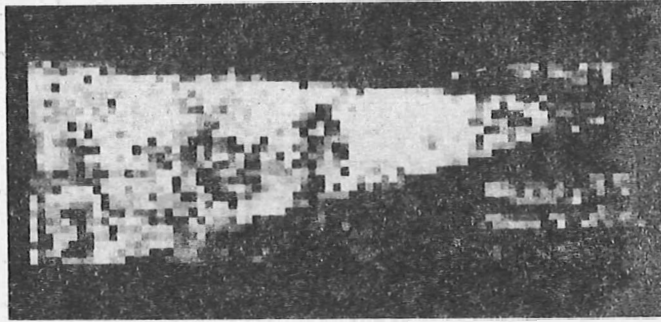
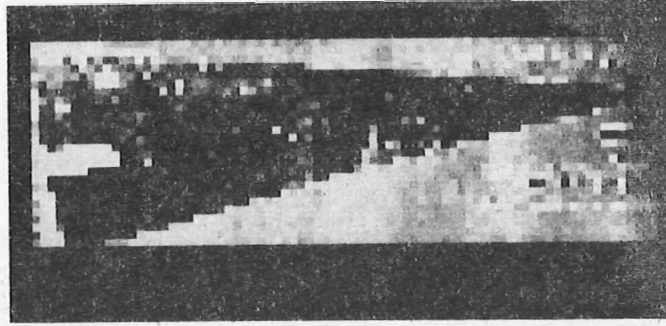


Abb. 7: Visualisierte Strukturauszüge für Bandpaß 1,5 und 9 (Operations-  
einheit 0,5 mm; Normierung auf die Summe der Bandpässe; RÜSER 1984)



rung der Oberfläche nach bestimmten Oberflächenmerkmalen, im vorliegenden Fall indirekt nach der Höhe des Reliefs. Auf diese Weise werden z. B. Gebiete mit älteren Strukturen (weiche Oberfläche und kleindimensionierte Texturen; fehlende grobe Texturen) von solchen mit relativ jung entstandenen Strukturen (grobtexturierte Oberfläche) unterschieden.

Der Farbton (hell-dunkel) gibt die Häufigkeit des Strukturmerkmals an (Intensität). Als Feldergrenzen erscheinen markante, auch visuell beobachtete Lineationszonen.

#### Literatur

- Barsukov, V. L. u.a.: Geologische Untersuchungen der Venus-Oberfläche durch Venera 13 und 14 (russ.)  
Geochimija, Moskva 7 (1982), S. 899 - 919
- Basilevski, A. T. u.a.: The surface of Venus as revealed by the Venera landings:  
part II.  
Geol. Soc. Amer. Bull., Boulder 96 (1985), S. 137 - 144
- Basilevski, A. T. u. a.: Styles of tectonic deformations on Venus: Analysis of Venera 15 and 16 data.  
Journ. Geophys. Res., Washington 91 (1986) B 4, S. 399 - 411
- Greely, R.; Marshall, J.R.: Transport of venusian rolling "stones" by wind?  
Nature, London 313 (1985), S. 771 - 773
- Pettengill, G.H. u. a.: Die Oberfläche der Venus.  
Spektrum der Wissenschaft, Weimerheim (1980) 10, S. 72 - 89
- Phillips, R. J.; Malin, M.C.: Tectonics of Venus.  
Ann. Rev. Earth Planet. Sci., Palo Alto 12 (1984), S. 411-443
- Davis, P. A. u. a.: Global radar units on Venus derived from statistical analysis of Pioneer Venus Orbiter radar data.  
Journ. Geophys. Res., Washington 91 (1986) B5, S. 4979 - 4992

Ergebnisse der VEGA-Bildbearbeitung

M. DANZ, G. ELTER, T. MANGOLDT, D. MÖHLMANN, B. RUBBERT, U. WEIDLICH

Akademie der Wissenschaften der DDR

Institut für Kosmosforschung

Zusammenfassung

Bearbeitete Bilder der größten Annäherung von VEGA-2 an den Kometen Halley zeigen Details der Oberflächenstruktur des Kerns und damit in Zusammenhang stehende physikalische Eigenschaften. Die erhaltenen Resultate wie Kernabmessungen, Oberfläche, Rotationsdauer, Lage der Rotationsachse, aktive Gebiete, linien- und ringförmige Oberflächenstrukturen sowie erste Vermutungen über deren Ursache, werden diskutiert.

Summary

Computer processed data of VEGA-2 observations at the time of closest approach to comet Halley show details of the surface structure of the nucleus and related physical properties. The derived results as geometrical dimensions, shape, rotation period, position of the spin axis, active regions, lineamentary and ring-like structures of the surface and first arguments for their origin are discussed.

Резюме

Обработанные изображения ближайшего пролёта КА Вегга-2 около кометы Галлея показывают детали поверхностной структуры ядра и связанные с этим физические свойства. Обсуждаются полученные геометрические размеры, форма поверхности, период вращения, положение оси вращения, области большой активности, линейные и кольцеобразные поверхностные структуры и возможные причины их возникновения.

In dieser Arbeit wollen wir uns auf die Bildverarbeitung und erste Resultate der Auswertung zweier Bilder konzentrieren, welche durch die Raumsonde VEGA-2 während ihrer größten Annäherung an den Kometen Halley am 9. März 1986 aufgenommen wurden (einen Überblick über erste Ergebnisse aller auf den VEGA-Sonden geflogenen Experimente gibt /1/, über die der Bildverarbeitung/Bildauswertung /2/ bzw. /3/). Zum Zeitpunkt des Vorbeifluges von VEGA-2 befand sich weniger Staub zwischen Sonde und Komet als während des VEGA-1 Vorbeifluges, so daß die kernnahen Gebiete durch VEGA-2 wesentlich besser erkennbar waren. Die größte Annäherung von VEGA-2 an den Kometen Halley fand um 7:20:00 (UT) statt; die beiden Originalbilder wurden -2 Sekunden und +99 Sekunden,

bezogen auf diesen Zeitpunkt, aufgenommen. Die genauen Daten dieser Bilder (Zeit/UT/, Kamera, Filter, Belichtungszeit, Abstand Sonde-Komet, Pixelgröße) sind wie folgt:

Bild 1: 7:19:58, Schmalwinkel (TVU 1), NIR, 32 ms,  
8 045 km, 0,161 km;

Bild 2: 7:21:39, Schmalwinkel (TVU 1), VIS, 8 ms,  
11 060 km, 0,221 km.

Eine detaillierte Beschreibung des Televisionssystems an Bord der zwei VEGA-Sonden findet sich bei Szabó et al. /4/, die spektrale Empfindlichkeit der sechs für die Schmalwinkelkamera verwendeten Filter wird in /2/, /5/ angegeben.

Nach der Restauration fehlender Bildzeiten wurden die beiden Originalbilder mit adaptiven Glättungs-, Gradienten- und Laplace-Filteralgorithmen (Richter /6/) bearbeitet. Obwohl die Bilder mit adaptiven Glättungsfiltern behandelt wurden, bleibt ein gewisses kohärentes Hochfrequenzrauschen erhalten, so daß die folgenden Resultate als vorläufige angesehen werden müssen. Abb. 1 zeigt das mit einem Laplace-Filter bearbeitete erste Bild (-2 s zur größten Annäherung).

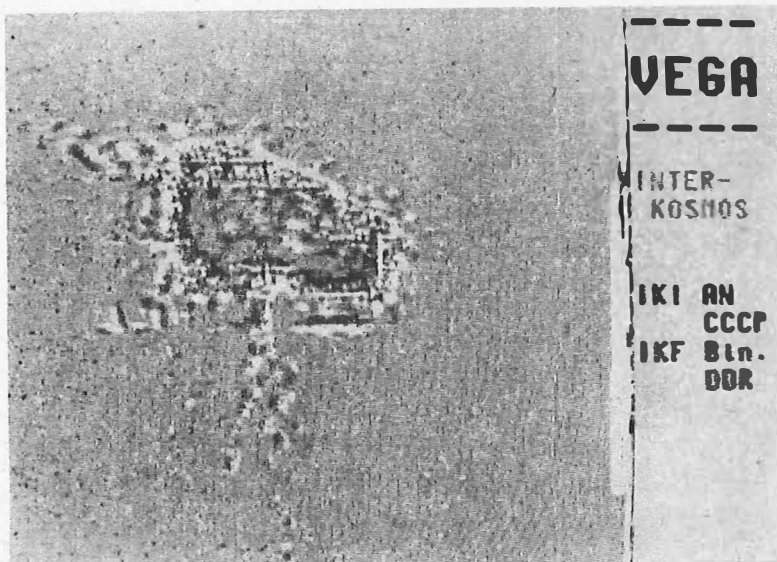


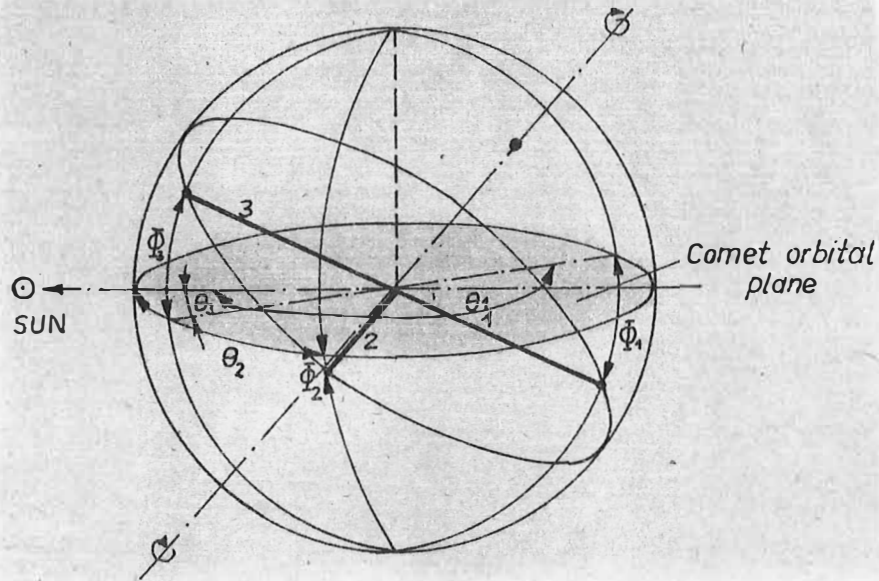
Abb. 1: Laplace-gefiltertes Bild 1 (7:19:58)

Wie deutlich zu sehen ist, handelt es sich beim Kern des Kometen Halley um einen unregelmäßigen, kartoffelförmigen Körper. Aus den mit dem Gradienten-Filter behandelten Bildern bestimmten wir die Kerngrößen wie folgt:

Größte Ausdehnung (lange Achse):	$13,8 \pm 0,6$ km;
Durchmesser des "dicken" Teils	$7,5 \pm 0,3$ km;
Durchmesser des "dünnere" Teils	$5,0 \pm 0,2$ km;

Außerdem haben wir Grund zu der Annahme, daß der Kern fast breitseits zur VEGA-2-Flugbahn lag. Der "dickere" Teil wies dabei in Flugrichtung der Sonde.

Um Rotationsachse und -dauer berechnen zu können, bestimmten wir die Lage der langen Achse des Kerns bezüglich Sonne und Bahnebene des Kometen aus den Aufnahmen während der größten Annäherungen von VEGA-1, VEGA-2 und der ESA-Kometensonde GIOTTO /7/ an P/Halley (Abb. 2).



$$\theta_1 = 190^\circ \quad \theta_2 = 70^\circ \quad \theta_3 = 10^\circ$$

$$\Phi_1 = -40^\circ \quad \Phi_2 = -20^\circ \quad \Phi_3 = 40^\circ$$

$\Phi$  - Angle between long axis and comet orbital plane

$\theta$  - Angle between Sun and projection of long axis on comet orbital plane

Index: 1 - VEGA-1; 2 - VEGA-2; 3 - GIOTTO

Abb. 2: Koordinatensystem zur Beschreibung der Kernlage während der Vorbeiflüge von VEGA-1, VEGA-2 und GIOTTO am Kometen Halley

Es ist bemerkenswert, daß trotz einer gewissen Ungenauigkeit die drei unterschiedlichen Positionen nahezu in einer Ebene liegen. Die Rotationsachse ist senkrecht zu dieser Ebene und hat die Nordpol-Koordinaten



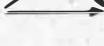
$$\theta_N = 143^\circ \pm 10^\circ$$

$$\Phi_N = 40^\circ \pm 10^\circ$$



Aufgrund der Kerngeometrie muß die maximale Trägheitsachse ebenfalls senkrecht zur angenommenen langen Achse sein. Der Fakt, daß eine Rotation um diese Trägheitsachse stabil ist, kann als ein Hinweis auf die Richtigkeit unserer Bestimmung der Rotationsachse gewertet werden.

Unter der Voraussetzung einer prograden Rotation (bezüglich der Kometenbahn) erhielten wir die folgenden Rotationsperioden:

	$\theta_i$ / ° /	Zeitdifferenz /h/	Winkeldifferenz / ° /	Rotationsperiode /h/
VEGA-1 	190	72,00	480	54,00
VEGA-2 	70	112,66	780	52,00
GIOTTO 	10	184,66	1260	52,76

Der Mittelwert der Rotationsperiode von  $52,5 \pm 1,5$  h ist in guter Übereinstimmung mit dem von Sekanina und Larson /8/, /9/ theoretisch berechneten Wert.

Die mit den verschiedenen Filteralgorithmen bearbeiteten Bilder sowie Überlagerungen der Ergebnisbilder zeigten Strukturen im Kerngebiet (siehe z. B. auch Abb. 1), die entweder durch Inhomogenitäten in der Atmosphäre und im Staubmantel oder durch großmorphologische Formen auf der Kernoberfläche hervorgerufen sein können. Die Existenz zusammenhängender, zum Teil ausgerichteter Gebiete starker Helligkeitsänderung (siehe Abb. 3) kann als ein Hinweis auf morphologische Strukturen angesehen werden.

Bemerkenswert ist die Übereinstimmung zwischen diesen Strukturen auf den bearbeiteten Aufnahmen der Bilder 1 und 2. Unter Berücksichtigung des Beobachtungswinkels und bei Annahme einer Kugelform des Kerns lassen sich markante Punkte bzw. Lineationen (die wahrscheinlich Gebiete verstärkter Ausgasung und Lichtstreuung darstellen) in beiden Bildern gut zur Deckung bringen (siehe Abbildung 4)

Es ist außerdem sehr bemerkenswert, daß dieses Liniensystem mit einem Liniennetz für die Fußpunkte der Jets des Kometen Halley von 1910 übereinstimmt, welches von Sekanina und Larson /10/ berechnet wurde (Abb. 3, unten). Dies weist darauf hin, daß diese Linien von großer Beständigkeit sind und mit entsprechenden Strukturen (z. B. Brüchen) auf und unterhalb der Kometenoberfläche in Zusammenhang stehen müssen.

Hinsichtlich der Kernkonturen sprechen neben der allgemein unregelmäßigen "Kartoffelform" viele Indizien auch für Abweichungen von der Gleichgewichtsform in der Größenordnung von  $\leq 1$  km.

Auf den bearbeiteten Bildern des nächsten Vorbeifluges von VEGA-2 am Kometen Halley sind bis zu fünf unterschiedliche Jets erkennbar, die alle in den die Sonne enthaltenden Halbraum gerichtet sind. Von daher kann man schließen, daß der Sublimationsprozess der Kometenmaterie hauptsächlich auf der von der Sonne beschienenen Seite des Kerns stattfindet und das die starke Aktivität auf kleine Gebiete mit Ausmaßen in der Grö-

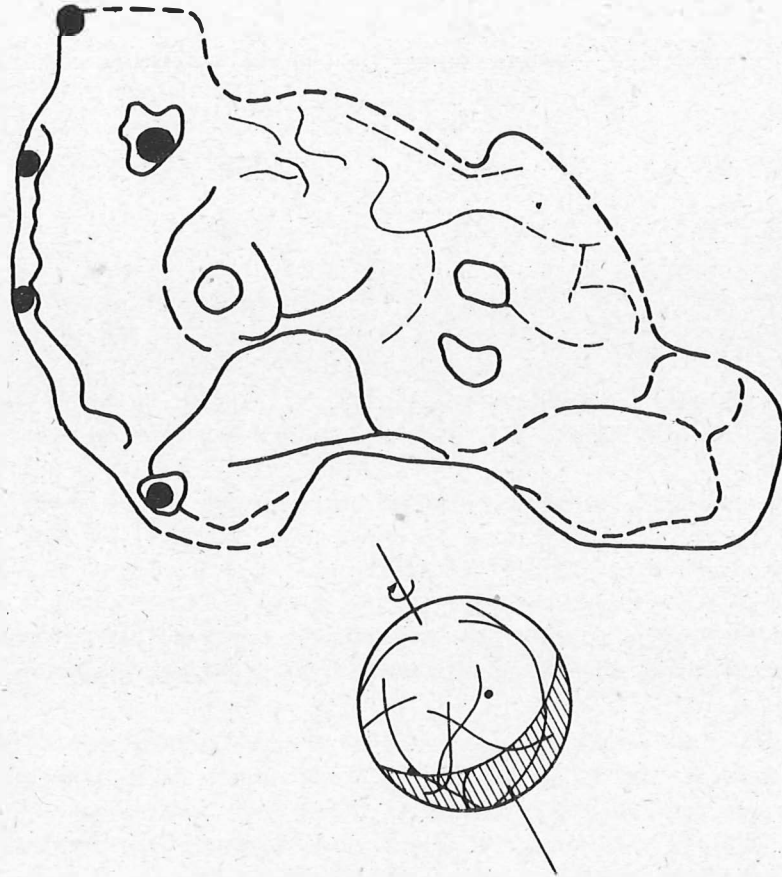


Abb. 3: System von Linien und Punkten stärkerer Helligkeit (in der Abbildung schwarz), wie es auf den Bearbeitungen von Bild 1 (-2 s vor der größten Annäherung) gefunden wurde.

Darunter ein Liniensystem für die Fußpunkte der Jets des Kometen Halley, 1910, berechnet von Sekanina und Larson /10/.

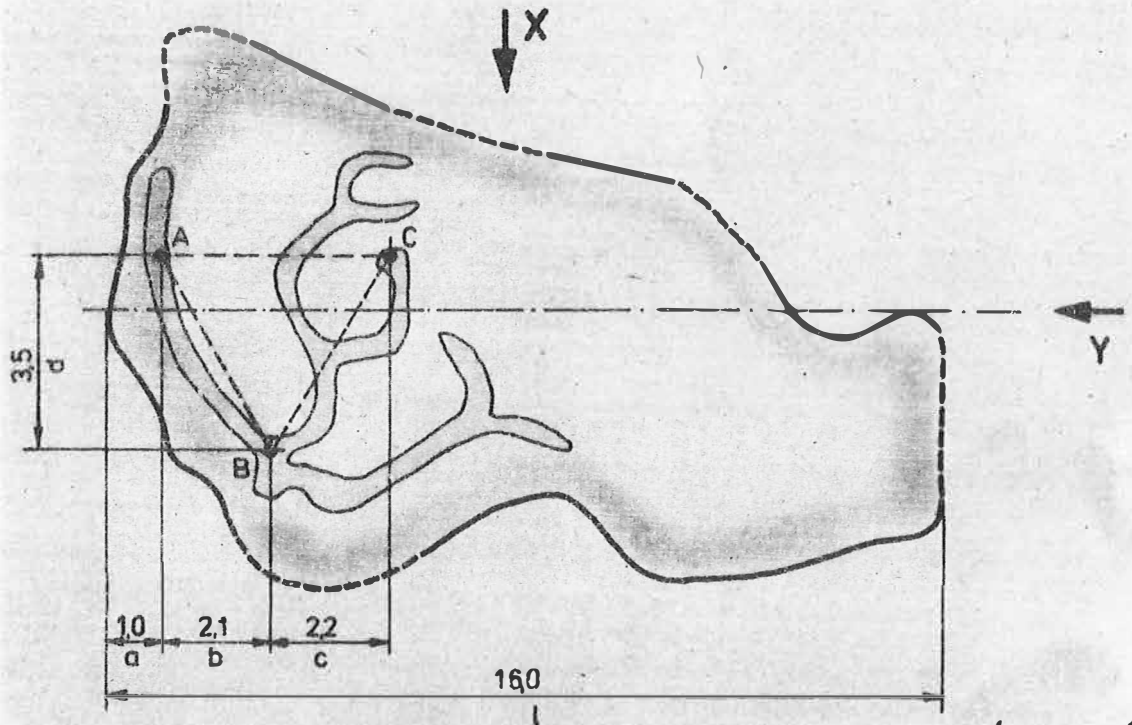


Abb. 4a: Markante Punkte und Lineationen auf der Oberfläche von P/Halley bei Bild 1 (-2 s zur größten Annäherung).

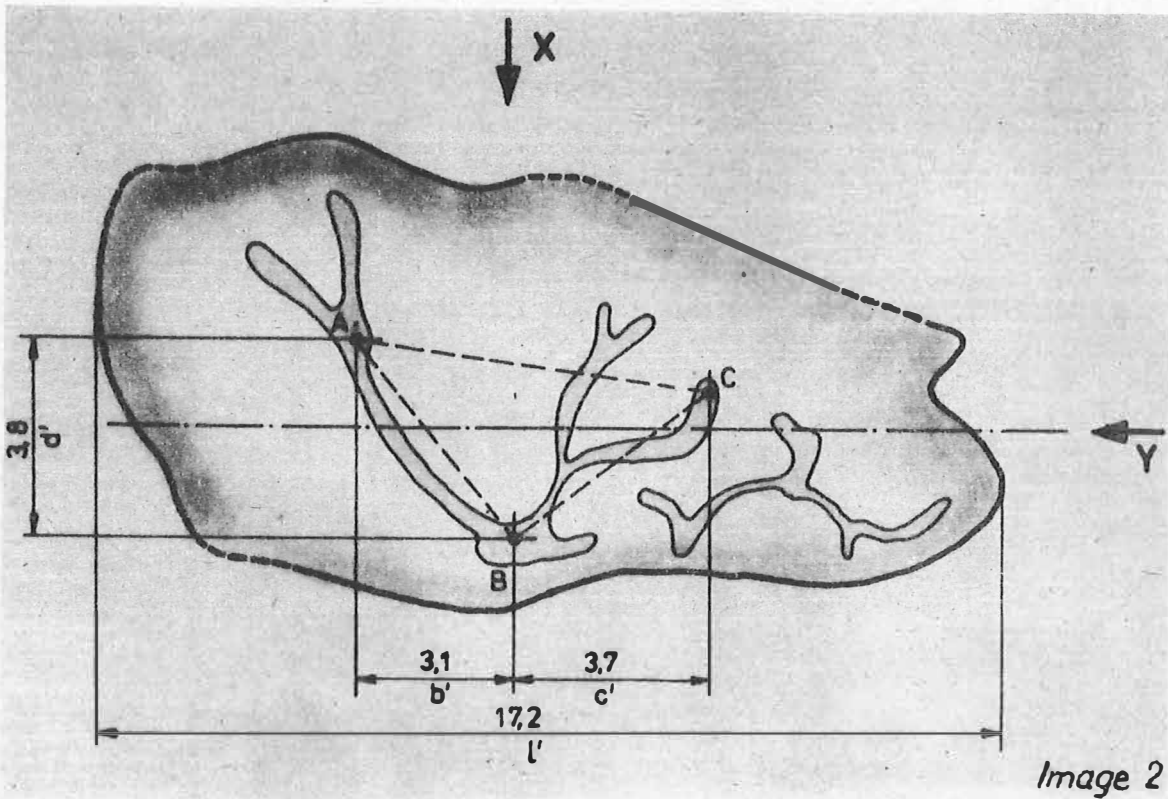
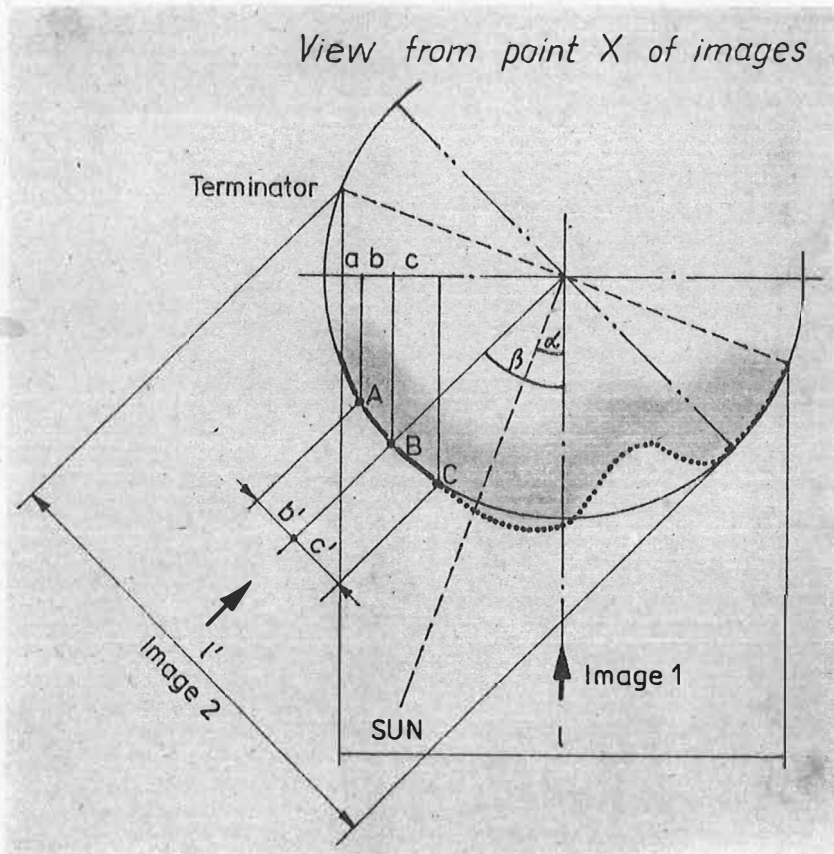


Abb. 4b: Markante Punkte und Lineationen auf der Oberfläche von P/Halley bei Bild 2 (+99 s nach der größten Annäherung).





with:

$$\alpha \approx 21^\circ$$

$$\beta \approx 46^\circ$$

$$a \approx \frac{1}{2} b$$

$$c \approx 1.05 b$$

$$c' \approx 1.2 b'$$

Result:

$$\frac{b'}{b} \approx 1.6 \text{ (1.5)}$$

$$\frac{c'}{c} \approx 1.5 \text{ (1.7)}$$

$$\frac{(b'+c')}{(b+c)} \approx 1.5 \text{ (1.6)}$$

Abb. 4c: Blickwinkel der Bilder 1 und 2 und sich daraus ergebende Relationen zwischen den markanten Punkten.

Benordnung eines Kilometers begrenzt ist. Die hellen Punkte und Linienstrukturen, wie sie auf den Bildern zu sehen sind, können mit kraterähnlichen Gebieten bzw. Oberflächenrissen, aus denen Jets austreten, in Verbindung gebracht werden. Als Ursache für die Risse kommen nach Kührt, Möhlmann und Tauber /11/, /12/, /13/, /14/ z. B. thermomechanisch hervorgerufenen Spannungen in der Kometenoberfläche in Frage. Bei diesem Modell können aufgrund der Reißbildung frische, leichtflüchtige Bestandteile der Kometenmaterie ausströmen und die Aktivität dieser Gebiete verstärken. Die relativ hohen Gasflüsse, die von nur ~10% der Gesamtoberfläche emittiert werden /7/ und die notwendig sind um die gemessene Gesamtproduktionsrate zu erreichen, sind auf diesem Wege erklärbar.

Die Autoren möchten folgenden Kollegen, die an der in dieser Arbeit beschriebenen Bildverarbeitung und -auswertung beteiligt waren, recht herzlich danken: H. Lorenz, G. M. Richter (Zentralinstitut für Astrophysik der AdW der DDR), H. Wirth (Zentralinstitut für Physik der Erde der AdW der DDR), E. Kührt und J. Matthes (Institut für Kosmosforschung der AdW der DDR).

#### Literatur

- /1/ Encounters with comet Halley - The first results. *Nature* 321 (1986), No. 6067, 259-366
- /2/ Danz, M.; Elter, G.; Mangoldt, T. u. a.: Bildverarbeitung zum VEGA-Projekt. *Bild und Ton* 39 (1986), 261-263
- /3/ Danz, M.; Elter, G.; Mangoldt, T. u. a.: Aufnahme und Verarbeitung kosmischer Bild-daten am Beispiel der VEGA-Mission. *Radio Fernsehen Elektronik* 35 (1986), 10
- /4/ Szabó, L. u. a. in *Cometary Exploration*, Vol.3 (Ed. Gombosi, T. I.) 253-263 (Central Research Institut for Physics, Budapest, 1983).
- /5/ Sagdeev, R. Z. u. a.: *USSR Space Research Institute Preprint No. 965* (1985)
- /6/ Richter, G. M.: *Astron. Nachrichten* 299 (1978), H. 6., 283-303
- /7/ Keller, H. U.; Arpigny, C.; Barbieri, C. u. a.: First Halley Multicolour Camera imaging results from GIOTTO. *Nature* 321 (1986), No. 6067, 320-326.
- /8/ Sekanina, Z.; Larson, S. M.: *Astr. J.* 89 (1984), 1408-1425
- /9/ Larson, S. M.; Sekanina, Z.: *Astr. J.* 89 (1984), 571-578; 90 (1985), 917-923
- /10/ Sekanina, Z.; Larson, S. M.: Dust jets in Comet Halley observed by GIOTTO and from the ground. *Nature* 321 (1986), No. 6067, 357-361
- /11/ Kührt, E.: Temperature Profiles and Thermal Stresses in Cometary Nuclei. *Icarus* 60 (1984), 512-521
- /12/ Kührt, E.; Möhlmann, D.: *Adv. Space Res.* vol. 4 (1984), No. 9, 225-228
- /13/ Möhlmann, D.: *Gerlands Beitr. Geophys.* 95 (1986), No. 1, 76-81
- /14/ Tauber, F.; Kührt, E.: Thermal stresses in cometary nuclei. Zur Veröffentlichung in *Icarus* (1986)

IR-Sondierung der Oberflächen atmosphäreloser planetarer Objekte

C. Wagner

Institut für Kosmosforschung  
der AdW der DDR, 1199 Berlin  
Rudower Chaussee 5

Zusammenfassung

Spektrometrie im Infrarotbereich bietet eine Möglichkeit, die mineralogische Zusammensetzung der Oberflächenschicht atmosphäreloser planetarer Objekte zu erkunden. Probleme bei der Mineralidentifikation ergeben sich - wie bei terrestrischen Objekten - wenn mehrkomponentige Mischsysteme vorliegen, und - zusätzlich - aufgrund der Regolithbedeckung der Planetenoberflächen, die Spektren mit sehr geringem Kontrast bewirkt. Die für die Messung erforderliche Empfindlichkeit des Spektrometers wird abgeschätzt, und anhand einiger aus der Literatur bekannter Spektren planetarer Objekte wird gezeigt, wie Aussagen über die mineralogische Zusammensetzung planetarer Oberflächen zu erhalten sind.

Abstract

Infrared spectrometry provides a method for investigating the mineralogical composition of the surface layer of planetary objects which have no significant atmosphere. As in remote sensing of terrestrial areas, the identification of minerals proves to be difficult for systems mixed by several components. For most extraterrestrial planetary objects additional difficulties arise from the regolith blanket on their surface and the resulting low contrast of spectral features. It is estimated which spectrometer sensitivity is required for composition analysis, and using published data for some planetary objects it is demonstrated how mineralogical composition can be derived.

Резюме

Применение спектрометрии в инфракрасном диапазоне позволяет исследовать минералогический состав поверхностного слоя планетных объектов. Проблемы при идентификации минералов возникают - как при земных объектах - в случае многокомпонентных смешанных систем и - дополнительно - вследствие покрытия реголитом поверхностей планет, вызывающего спектры малого контраста. Оценивается чувствительность спектрометра, необходимая для измерения, и по нескольким известным из литературы спектрам планетных объектов показывается, каким образом могут быть получены сведения о минералогическом составе планетных поверхностей.

## 1. Einleitung

Die Infrarot-Sondierung extraterrestrischer planetarer Objekte hat vorrangig das Ziel, Informationen über die mineralogisch-petrologische Zusammensetzung der Kruste dieser Objekte zu gewinnen. Solche Informationen sind von erheblicher Bedeutung für die Aufklärung der Planetenentstehung und der Frühgeschichte des Sonnensystems.

## 2. Probleme

Abgesehen von Venus besitzen die terrestrischen Planeten und die interessierenden Kleinkörper - Satelliten und Asteroiden - keine oder nur eine sehr dünne Atmosphäre, so daß alle Probleme einer Atmosphärenkorrektur der Strahlungsdaten entfallen oder zumindest von untergeordneter Bedeutung sind (Mars). Dennoch ergeben sich erhebliche Schwierigkeiten, wenn man versucht, aus der spektralen Verteilung der von den Objekten emittierten oder reflektierten Strahlung die mineralogische Zusammensetzung der Oberfläche zu ermitteln. Zum einen liegt das daran, daß in der Natur nur selten monomineralische Oberflächen vorhanden sind. Bei mehrkomponentigen Mischsystemen aber ergeben sich die spektralen Signaturen des Gemisches nicht einfach aus einer linearen Superposition der Signaturen der Einzelminerale entsprechend ihrem jeweiligen relativen Anteil, sondern der Zusammenhang ist i. a. wesentlich komplizierter. Ein geringer Anteil einer stark absorbierenden mineralischen Komponente z. B. kann die charakteristischen Signaturen anderer Komponenten völlig oder teilweise maskieren und so deren Identifikation verhindern. Infolgedessen kann man i. a. aus einem gemessenen Spektrum nicht in einfacher Weise auf das Vorhandensein oder gar die Häufigkeit eines bestimmten Materials schließen. Man hat statt dessen zunächst vorzuklären, wie sich die Spektren der möglichen Komponenten zum resultierenden Spektrum 'mischen' und muß dann das dazu inverse Problem lösen, die 'Dechiffrierung' des registrierten Gemischspektrums. Die physikalische Situation und damit die Möglichkeit einer Aussage zur Mineralogie ist je nach dem konkreten Mischsystem unterschiedlich. Fast immer sind Laboruntersuchungen an vergleichbaren Systemen erforderlich und zusätzlich häufig recht komplizierte mathematische Auswertemethoden. Insgesamt ist die Situation aber etwa die gleiche, wie für die mineralogische Erkundung terrestrischer Areale aus Spektraldaten; deshalb soll hier auf die Behandlung von Einzelheiten verzichtet werden.

Bei der Sondierung extraterrestrischer planetarer Objekte ergibt sich jedoch noch eine andere Schwierigkeit. Sie hängt damit zusammen, daß an der Oberfläche dieser atmosphärenlosen Himmelskörper eine dicke Regolithschicht vorhanden ist, d. h. eine Schicht pulverförmigen Materials, dessen Korngröße vorwiegend zwischen 1000 und 10  $\mu\text{m}$  liegt, aber auch einen hohen Anteil noch kleinerer Teilchen enthält. (Lunarer Regolith z. B. besteht an manchen Stellen bis zu einem Fünftel (20 Gew.%) aus Teilchen kleiner als 10  $\mu\text{m}$ !). Damit ist aber für eine sehr große Zahl von Teilchen ihre Größe mit der Wellenlänge der Strahlung vergleichbar und deshalb wird Streuung zum dominierenden Wechselwirkungsmechanismus. Die praktische Konsequenz der geringen Teilchengröße sind Spektren, deren Kontrast außerordentlich gering ist (Abb.1); i. a. kaum größer als 1%, oft noch geringer.

Zu beachten ist ferner, daß die von den Objekten ausgehende und für die Spektrometrie verfügbare Strahldichte nicht beliebig groß ist - bedingt durch die niedrige Oberflächentemperatur der Objekte, wenn Emissionsspektren interessieren, bzw. bei Reflexionspektren aufgrund der großen Abstände von der Sonne und der meist sehr kleinen Albedowerte. Abb. 2 zeigt die spektrale Strahldichteverteilung für den Mond und für den Marsatelliten Phobos. Dargestellt sind die spektralen Strahldichten der reflektierten Solarstrahlung (gestrichelte Kurven) und der emittierten thermischen Infrarotstrahlung für Temperaturen, die dem subsolaren Punkt bzw. der Nachtseite des Satelliten entspre-



chen. - Da für den im mittleren Infrarot liegenden Emissionsanteil gegenwärtig kaum geeignete Detektoren zur Verfügung stehen, soll der Bereich oberhalb  $\sim 5 \mu\text{m}$  im folgenden nicht näher betrachtet werden, obgleich er unter dem Aspekt der spektrometrischen Identifikation von Mineralen - insbesondere Silikaten - gegenüber dem nahen Infrarot eigentlich zu bevorzugen wäre. - Aus Abb. 2 ist ersichtlich, daß beim Mond die im Bereich von 0,8 bis  $\sim 5 \mu\text{m}$  verfügbare spektrale Strahldichte etwa  $1,6 \times 10^{-7}$  bis  $4,2 \times 10^{-8} \text{ W.cm}^{-2} \cdot \text{cm.sr}^{-1}$  beträgt; für Phobos sind die Werte um etwa den Faktor 0,6 kleiner ( $2,7 \times 10^{-8}$  bzw.  $7 \times 10^{-9} \text{ W.cm}^{-2} \cdot \text{cm.sr}^{-1}$ ). Ob bei so geringen Strahldichten im Spektrum überhaupt noch Signaturen mit dem erwähnten geringen Kontrast (von 1% oder weniger) nachgewiesen werden können, hängt von dem verfügbaren Spektrometer ab; deshalb soll die Forderung an das Spektrometer zunächst der Größenordnung nach abgeschätzt werden.

Sei  $\delta = |\Delta \rho| / \rho \approx 0,01$  der nachzuweisende (relative) Unterschied im Reflexionsgrad  $\rho$ , so muß die rauschäquivalente spektrale Strahldichte NESR des Spektrometers folgender Bedingung genügen:

$$(1) \text{ NESR} \approx \delta L_{e,\sigma} \approx \delta A \xi L_{e,\sigma}^{\circ}; \quad \xi = R_{\odot}^2 / r^2$$

( $L_{e,\sigma}$  spektrale Strahldichte des Planeten/Satelliten,  $L_{e,\sigma}^{\circ}$  spektrale Strahldichte der Solarstrahlung, A Albedo des Planeten/Satelliten,  $R_{\odot}$  Radius der Sonne, r mittlerer Abstand Sonne - Planet/Satellit). Gibt man  $\delta$  vor - z. B.  $1 \times 10^{-2}$  - und setzt die für das jeweilige Objekt gültigen Werte für Albedo A und Abstandsparameter  $\xi$  ein, so kann man die NESR-Werte für die jeweilige Wellenlänge ausrechnen. Tabelle 1 zeigt einige Werte, die sich für den Mond bzw. den Marsmond Phobos (für das Signal-Rausch-Verhältnis SNR=1) ergeben.

Tabelle 1

Abschätzung der maximal zulässigen rauschäquivalenten spektralen Strahldichte (NESR) eines Spektrometers für Infrarot-Messungen an Mond und Phobos.

$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	$\sigma$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	M O N D	P H O B O S
		- NESR ( $\text{W.cm}^{-2} \cdot \text{cm.sr}^{-1}$ )	NESR ( $\text{W.cm}^{-2} \cdot \text{cm.sr}^{-1}$ )
0,8	12 500	$1,6 \times 10^{-9}$	$2,7 \times 10^{-10}$
1,0	10 000	$1,6 \times 10^{-9}$	$2,6 \times 10^{-10}$
1,4	7 000	$1,3 \times 10^{-9}$	$2,1 \times 10^{-10}$
2,0	5 000	$8,5 \times 10^{-10}$	$1,5 \times 10^{-10}$
2,5	4 000	$6,5 \times 10^{-10}$	$1,1 \times 10^{-10}$
3,3	3 000	$4,2 \times 10^{-10}$	$7,0 \times 10^{-11}$
5,0	2 000	$2,3 \times 10^{-10}$	$3,5 \times 10^{-11}$

Annahmen:  $\delta = 0,01$   
 A = 0,068  
 bzw. A = 0,026

SNR = 1  
 $A \xi = 1,45 \times 10^{-6}$  (Mond)  
 $A \xi = 2,4 \times 10^{-7}$  (Phobos)

Spektrometer mit so geringer rauschäquivalenter spektraler Strahldichte NESR sind schwer

zu realisieren. Man benötigt für sie Detektoren mit hoher spezifischer Detektivität - z. B. aus InSb - und muß zumindest das Detektorsystem auf etwa 77 K kühlen. Beim Einsatz solcher Spektrometer auf Raumflugkörpern ergeben sich zusätzliche Schwierigkeiten aus den kontroversen Forderungen nach Kühlung einerseits und geringer Masse andererseits. Deshalb stimmen unsere Kenntnisse über die Mineralogie planetarer Oberflächen (sofern sie mit Methoden der Fernerkundung erhalten wurden) vorwiegend aus erdgebundenen Messungen, und zwar hauptsächlich aus Messungen aus dem Observatorium auf dem 4200 m hohen Mauna Kea auf Hawaii, das aufgrund seiner besonderen meteorologischen Gegebenheiten für Infrarot-Astronomie heute als der günstigste Beobachtungsplatz auf der Erde angesehen wird.

### 3. Ergebnisse

Um zu zeigen, wie man von den gemessenen Reflexionsspektren zu Aussagen über die mineralogische Zusammensetzung der Objekte kommt, sollen im folgenden zwei exemplarische Fälle betrachtet werden: der Mond als nächster kosmischer Nachbar, und Asteroiden als Repräsentanten relativ ferner Objekte.

#### 3.1 Mond

Abb. 3 zeigt einige Reflexionsspektren, die ab Mitte der 70er Jahre für verschiedene Mondregionen von der Erde aus gemessen wurden; genauer gesagt mit Hilfe des 2,2-m-Spiegelteleskops auf dem Mauna Kea (Hawaii). Der Durchmesser der sondierten Gebiete beträgt 10 bis 20 km. Der Strahlungsnachweis erfolgte im Bereich  $0,65 \mu\text{m}$  bis  $2,5 \mu\text{m}$  mit einem InSb-Detektor. Detektor und Spektrometereinheit - ein rotierendes zirkular variables Filter - waren auf 77 K gekühlt. Die vom Detektor erzeugten Signale wurden mit der Schwarzkörper-Strahlung eines Standards verglichen und die resultierende Differenz der beiden Größen dann in 120 spektralen Kanälen gespeichert und für eine große Zahl von Scans aufsummiert. Dann erfolgte kanalweise eine Korrektur der Daten, d. h. es wurde die aktuelle Extinktion der Erdatmosphäre berücksichtigt und der Reflexionsgrad auf den der Apollo-16-Region normiert.

Die in Abb. 3 dargestellten Spektren erscheinen auf den ersten Blick nicht sehr informativ; man konstatiert sehr geringen Kontrast sowie je nach Region etwas unterschiedliche Anstiege und mehr oder weniger deutliche Banden bei  $\sim 1 \mu\text{m}$  und bei  $\sim 2 \mu\text{m}$ . Die sehr große photometrische Genauigkeit der Daten ermöglicht und rechtfertigt jedoch eine Computer-Auswertung, die schließlich die gesuchte Information über die mineralogische Zusammensetzung der Oberfläche liefert. Diese Auswertung erfolgte in drei Schritten. Abb. 4 illustriert den Gang der Computer-Auswertung am Beispiel des Spektrums für das Mare Serenitatis. Zuerst wurde von dem gemessenen Spektrum der geringe, im langwelligen Bereich aber doch merklich von Null verschiedene Strahlungsanteil subtrahiert, der durch die thermische Emission des Objektes hervorgerufen ist. Dann wurde der Untergrund des Spektrums subtrahiert (oder das 'Kontinuum'); zugrunde gelegt ist dabei eine lineare Änderung des Reflexionsgrades mit der Wellenlänge und Anpassung bei  $\lambda = 0,72 \mu\text{m}$  und  $2,3 \mu\text{m}$ . Als letzter Schritt wurden dann über ein Rechenprogramm die Gaußschen Normalverteilungen gesucht, deren Superposition gerade das (untergrundfreie) Spektrum ergibt. - Abb. 5 zeigt analoge Resultate für eine Region von  $\sim 10 \text{ km}$  Durchmesser im Krater Aristarchus. Zu beachten ist hier der gewählte Ordinatenmaßstab - die Unterschiede im spektralen Reflexionsgrad sind eigentlich sehr klein! Das Aristarchus-Spektrum zeigt in dieser Darstellung nun zwei deutliche Banden mit dem Zentrum bei  $0,96$  bzw.  $2,26 \mu\text{m}$ , die für das Inosilikat Pyroxen charakteristisch sind und außerdem eine wesentlich schwächere Bande bei  $1,28 \mu\text{m}$ , die das Tektosilikat Plagioklas identifiziert. - Man kann aber in den Aussagen zur Mineralogie der beobachte-

ten Region noch weiter gehen. Aus Labormessungen ist bekannt, daß sich bei Pyroxenen die Lage der beiden Bandenzentren in definierter Weise mit der chemischen Zusammensetzung **des Minerals** verändert ; und zwar verschieben sich die Zentren mit steigendem Kalziumgehalt etwas zu größeren Wellenlängen (ADAMS 1974). Diesen Zusammenhang kann man für die genauere Charakterisierung des Pyroxens ausnutzen. McCORD & CRUIKSHANK konnten so 1981 anhand der für die Aristarchus-Region gefundenen Bandenzentren bei 0,96 und 2,26  $\mu\text{m}$  den relativen Kalziumgehalt des dort nachgewiesenen Pyroxens angeben als  $\text{Ca} / (\text{Ca} + \text{Fe} + \text{Mg}) = (25 \pm 5) \%$ .

Ohne näher auf Einzelheiten der Spektren einzugehen, soll als Abschluß der Diskussion lunarer Infrarotspektren in Abb. 6 und Abb. 7 noch gezeigt werden, daß für unterschiedliche Regionen des Mondes bzw. unterschiedliche morphologische Strukturen (Wall, Boden, Zentralberg eines Kraters) signifikante Unterschiede in den Spektren auftreten.

### 3.2 Asteroiden

Die Asteroiden sind als nicht oder nur wenig differenzierte Kleinkörper des Sonnensystems für viele planetologische und planetogonische Fragestellungen von besonderem Interesse. Ihr mittlerer Abstand  $r$  von der Sonne liegt, wenn man von speziellen Objekten (Apollo-Gruppe, Icarus, Hermes) absieht, im Bereich von etwa 1,5 bis 5,2 AE. Die Albedo  $A$  der Asteroiden hängt stark vom jeweiligen Objekt ab und liegt im Bereich von 0,026 (CERES) bis 0,27 (VESTA). Durch Einsetzen der Zahlenwerte für  $r$  und  $A$  in die entsprechende Gleichung kann man die spektrale Strahllichte  $L_{e,\sigma}$  abschätzen, die für die spektrometrische Sondierung der Objekte zur Verfügung steht:

$$(2) \quad L_{e,\sigma} = L_{e,\sigma}^{\text{REFL.}} + L_{e,\sigma}^{\text{EMISS.}}$$

$$(3) \quad L_{e,\sigma} \approx A \left( \frac{R_0}{r} \right)^2 L_{e,\sigma}^{\odot} + \underbrace{\epsilon L_{e,\sigma}^{\text{SK}}(T_{\text{eff}})}_{\rightarrow 0 \text{ für } \lambda \leq 5 \mu\text{m}}$$

$$(4) \rightarrow L_{e,\sigma} \approx A \xi L_{e,\sigma}^{\odot} \quad \text{mit } \xi = R_0^2 / r^2$$

Da für die Asteroiden gilt

$$(5) \quad 8 \times 10^{-8} \leq A \xi \leq 1 \times 10^{-6},$$

im Vergleich zu  $A \xi \approx 1,5 \times 10^{-6}$  für Mond bzw.  $A \xi \approx 2,4 \times 10^{-7}$  für Phobos, ist ersichtlich, daß die in Abb. 2 dargestellte spektrale Strahllichtverteilung für Phobos in etwa als Richtwert für die photometrische Situation bei den Asteroiden gelten kann.

Die erheblichen Anforderungen an die notwendige Meßtechnik sind bereits oben diskutiert worden. Da die Situation hier noch ungünstiger ist als beim Mond, stammen unsere heutigen Kenntnisse über spektrale Reflexionseigenschaften der Asteroiden ebenfalls fast ausschließlich aus erdgebundenen Messungen; wiederum vorwiegend vom Mauna Kea (Hawaii). Es gibt zwar inzwischen Spektraldaten von rund 300 Asteroiden, fast alle diese Daten aber sind durch Schmalbandphotometrie ermittelt worden (25 Kanäle mit  $\Delta\lambda \approx 0,1 \mu\text{m}$ ) und erstrecken sich nur bis zur Wellenlänge von 1,1  $\mu\text{m}$ ; oder aber die Daten erstrecken sich zwar bis zu größeren Wellenlängen, stammen dann aber aus der Breitbandphotometrie (JHKL). Dann aber

ist im Bereich 1,6 bis 3,4  $\mu\text{m}$  die spektrale Bandbreite nicht kleiner als 0,4 bis 1,1  $\mu\text{m}$ , und deshalb ermöglichen die Daten bestenfalls eine grobe Klassifikation der Objekte, aber keine wirkliche Mineralidentifikation.

Abb. 8 zeigt dagegen sechs stetige Infrarotspektren von Asteroiden, die sich bis 2,5  $\mu\text{m}$  erstrecken, ergänzt durch Schmalband-Photometrie-Daten im visuellen Bereich, die aus früheren Messungen stammen. Diese Spektren wurden durch fourierspektrometrische Messungen an einem 1,5-m-Teleskop bei Integrationszeiten von 2 bis 6 Stunden erhalten. Man erkennt: 1) Alle sechs Spektren sind signifikant unterschiedlich. 2) Die oberen zwei bzw. drei Spektren (Dembowska, Vesta; Eros) zeigen deutliche Silikatbanden bei 0,95 bzw. 1,9  $\mu\text{m}$ ; genauer gesagt, Banden von Hochtemperatur-Silikaten (Pyroxen, Olivin), wie ein Vergleich mit Spektren dieser Minerale belegt (Abb. 9). 3) Die lichtschwachen und wenig strukturierten Spektren der C-Typ-Asteroiden - z. B. Ceres - geben kaum Anhaltspunkte für eine Mineralidentifikation und belegen zunächst nur eine gewisse Ähnlichkeit des Asteroidenmaterials mit einer dunkel gefärbten Meteoritenklasse, den kohligen Chondriten. Anders wird die Situation sofort, wenn ein größerer Spektralbereich für die Interpretation zur Verfügung steht; ggf. durch ergänzende Photometriedaten im Infrarot (Abb. 10). Bei Ceres z. B. läßt die dann erkennbare 2,9- $\mu\text{m}$ -Bande den Schluß zu, daß an der Oberfläche dieses Asteroiden wasserhaltige Minerale vorkommen, also mit großer Wahrscheinlichkeit wasserhaltige Schichtgittersilikate, wie sie in Meteoriten vom Typ C2 vorhanden sind und wo der Wasseranteil 10 bis 15 Masse% beträgt.

Zusammenfassend läßt sich bezüglich der Infrarot-Sondierung planetarer Objekte also folgendes feststellen:

- Es ist ein recht erheblicher technischer Aufwand erforderlich, um Spektraldaten mit der erforderlichen Genauigkeit zu erhalten.
- Bei Einsatz hinreichend leistungsfähiger Technik aber ist es dann auch möglich, die gesuchten Informationen über die Zusammensetzung von Planeten- oder Satellitenoberflächen zu erhalten.

Es besteht also begründete Hoffnung, daß der Einsatz geeigneter, leistungsfähiger Spektrometer auf Raumflugkörpern unsere Kenntnis über andere Planeten und Satelliten in hoffentlich nicht zu ferner Zukunft wesentlich erweitern wird.



Literatur

- ADAMS, J. B.: Visible and near-infrared diffuse reflectance spectra of pyroxenes as applied to remote sensing of solid objects in the solar system. *J. Geophys. Res.* - Washington 79 (1974) S. 4829-4836.
- CHAPMAN, C. R., McCORD, T. B., and JOHNSON, T. V.: Asteroidal spectral reflectivities. *Astron. J.* - New York. 78 (1973) S. 126-140.
- LARSON, H. P. and VEEDER, G. J.: Infrared spectral reflectances of asteroid surfaces. In: *Asteroids* (T. Gehrels, Ed.), Tucson 1979. S. 724-744.
- LYON, R. J. P.: Evaluation of infrared spectrophotometry for compositional analysis of lunar and planetary soil, Part II: Rough and powdered surfaces. NASA Rept. CR-100. - Menlo Park, Calif., 1964. S. 100.
- MCCORD, T. B. and CRUIKSHANK, D. P.: Spectrophotometric remote sensing of planets and satellites. In: *Infrared Astronomy* (C. G. Wynn-Williams and D. P. Cruikshank, Eds.), Dordrecht 1981. S. 57-87.
- SMREKAR, S. and PIETERS, C. M.: Near-infrared spectroscopy of probable impact melt from three large lunar highland craters. *Icarus* - New York/London 63 (1985) S. 442-452.

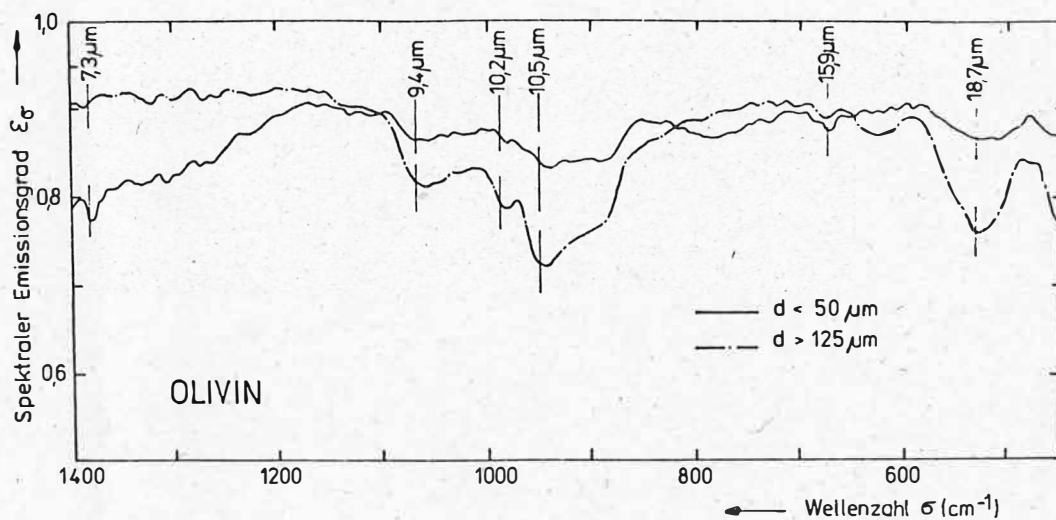
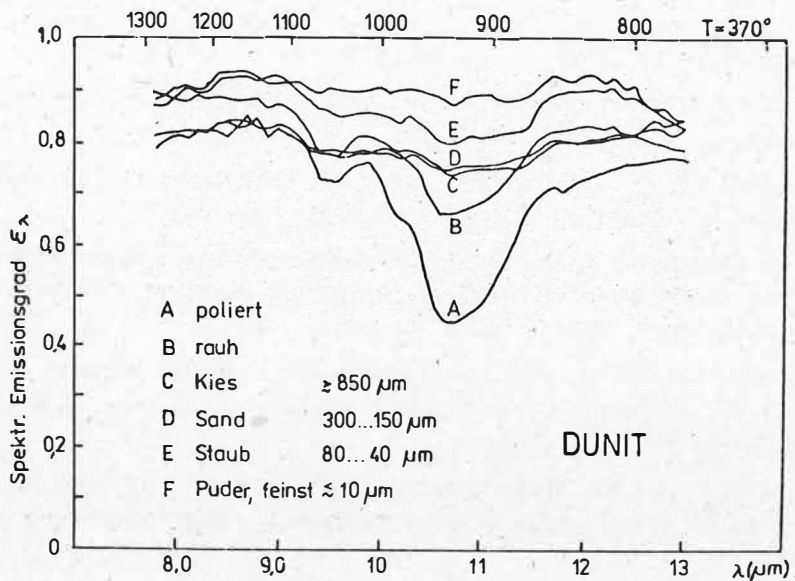
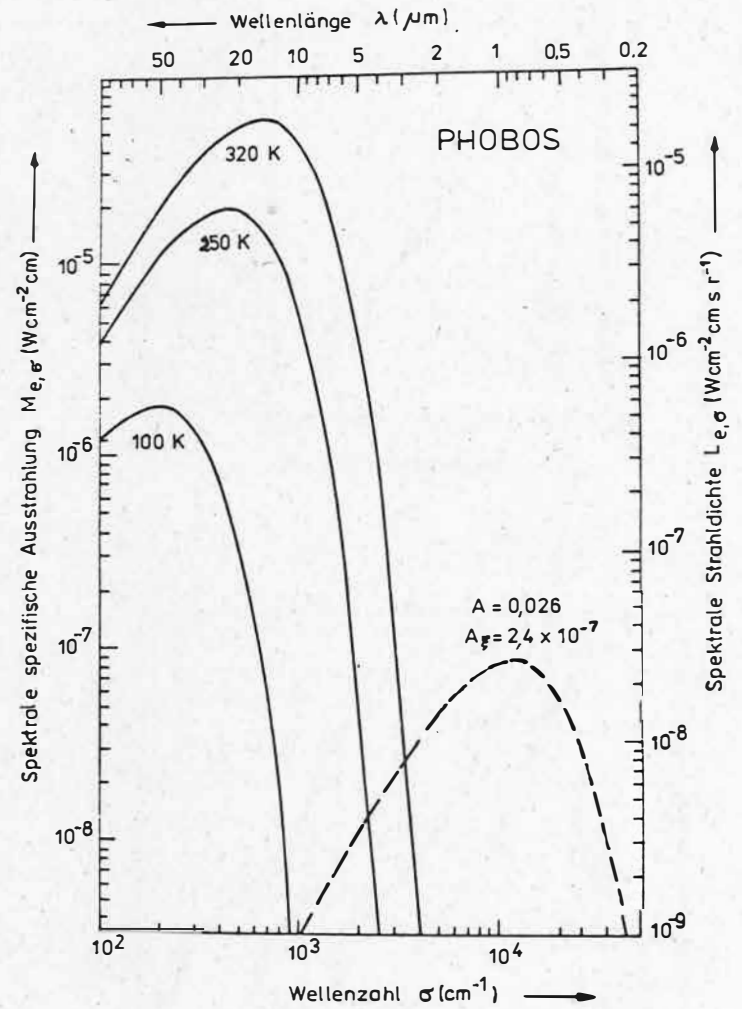
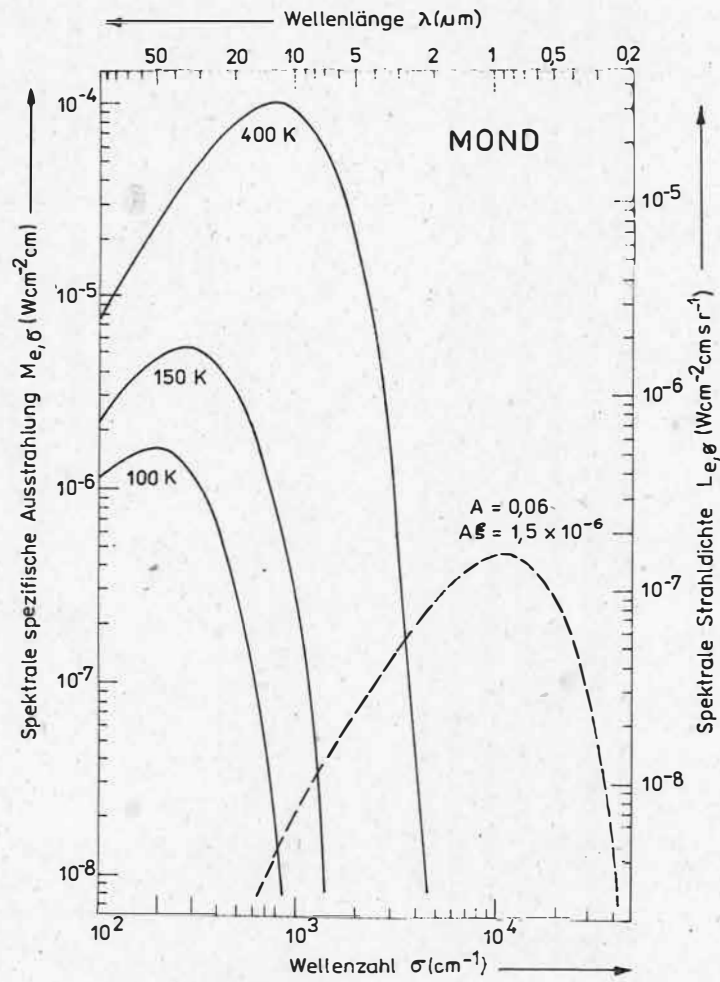


Abb. 1. Abhängigkeit des spektralen Kontrastes von der Partikelgröße.  
a) Spektraler Emissionsgrad von Dunit. (Abb. nach LYON, 1964.)  
b) Spektraler Emissionsgrad von Olivin.

Abb. 2. Abschätzung von thermischer Emission und reflektierter Solarstrahlung für Mond und Phobos.



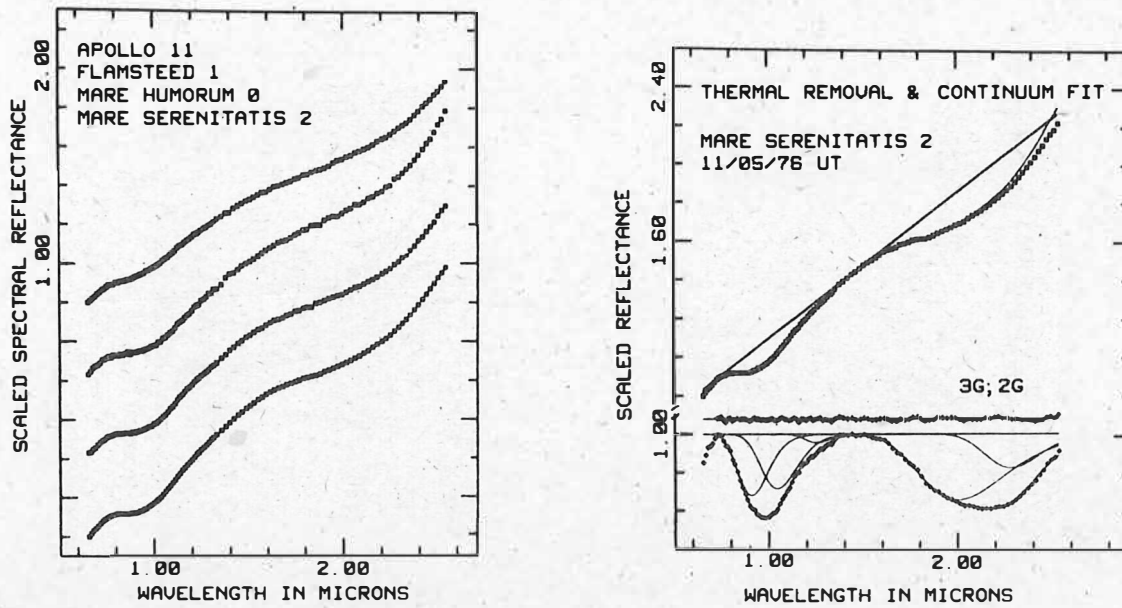


Abb. 3. Reflexionsspektren verschiedener Mondregionen. (Reproduktion aus McCORD and CRUIKSHANK, 1981.)

Abb. 4. Kontinuumskorrektur und Absorptionsbandenanalyse am Reflexionsspektrum des Mare Serenitatis. Oberer Bildteil: Dünne Linien markieren das Kontinuum bzw. das aus Reflexion und thermischer Emission resultierende Spektrum, Punkte das Spektrum nach Subtraktion der thermischen Emission. Unterer Bildteil: Punkte markieren das nach Subtraktion von thermischer Emission und Kontinuum resultierende Spektrum, dünne Linien die angepaßten Gauß-Kurven. (Reproduktion aus McCORD and CRUIKSHANK, 1981.)

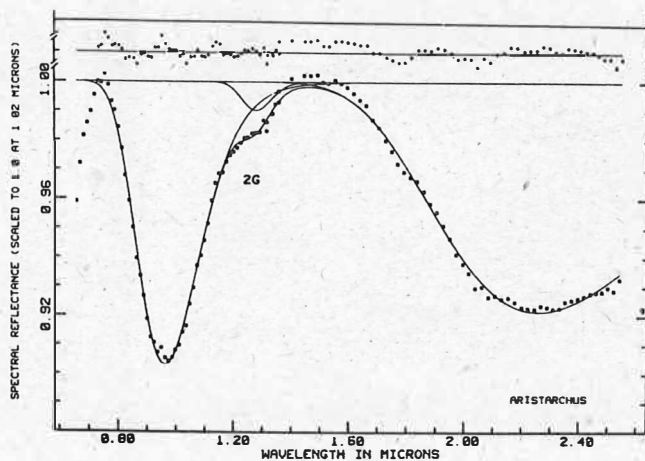


Abb. 5  
Reflexionsspektrum einer Region im Krater Aristarchus nach Subtraktion des Kontinuums und Anpassung von drei Gauß-Kurven. Die Banden bei 0,96 und 2,26  $\mu\text{m}$  indizieren das Vorhandensein von Pyroxen, die Bande bei 1,28  $\mu\text{m}$  das Vorkommen von Plagioklas. (Reproduktion aus McCORD and CRUIKSHANK, 1981.)

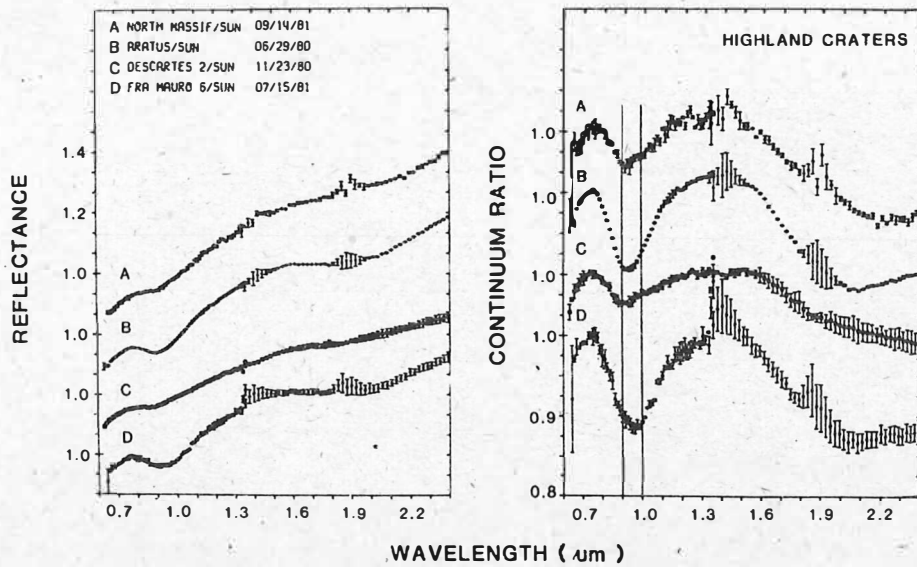


Abb. 6. Reflexionsspektren verschiedener kleiner Hochland-Krater des Mondes.  
 Links: Reflexionsspektren, bei  $1,02 \mu\text{m}$  auf 1 normiert.  
 Rechts: Gleiche Spektren nach Subtraktion des Kontinuums.  
 (Reproduziert aus SMEKAR and PIETERS, 1985.)

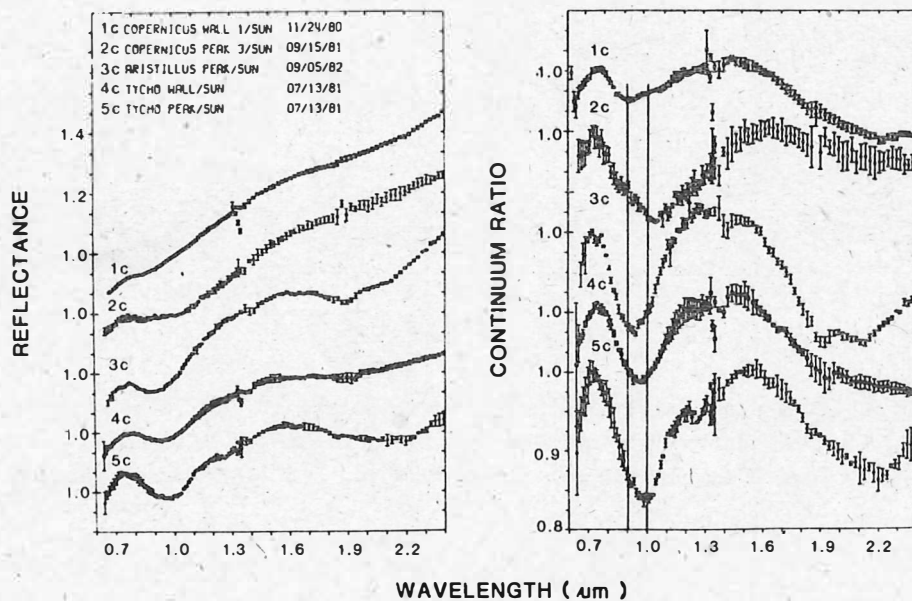


Abb. 7. Reflexionsspektren verschiedener morphologischer Strukturen (Wall, Zentralberg) in drei großen Hochlandkratern des Mondes.  
 Links: Reflexionsspektren, bei  $1,02 \mu\text{m}$  auf 1 normiert.  
 Rechts: Gleiche Spektren nach Subtraktion des Kontinuums.  
 (Reproduziert aus SMREKAR and PIETERS, 1985.)



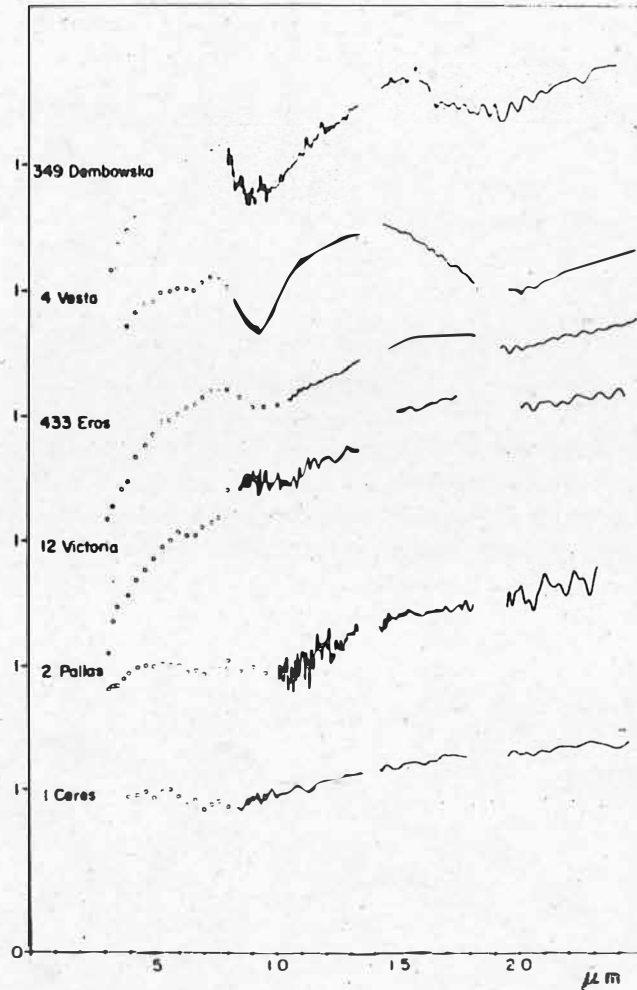


Abb. 8. Einige Asteroidenspektren, zusammengesetzt aus Spektrophotometriedaten im visuellen Bereich (CHAPMAN et al., 1973) und IR-Reflexionsspektren. (Reproduktion aus LARSON and VEEDER, 1979.)

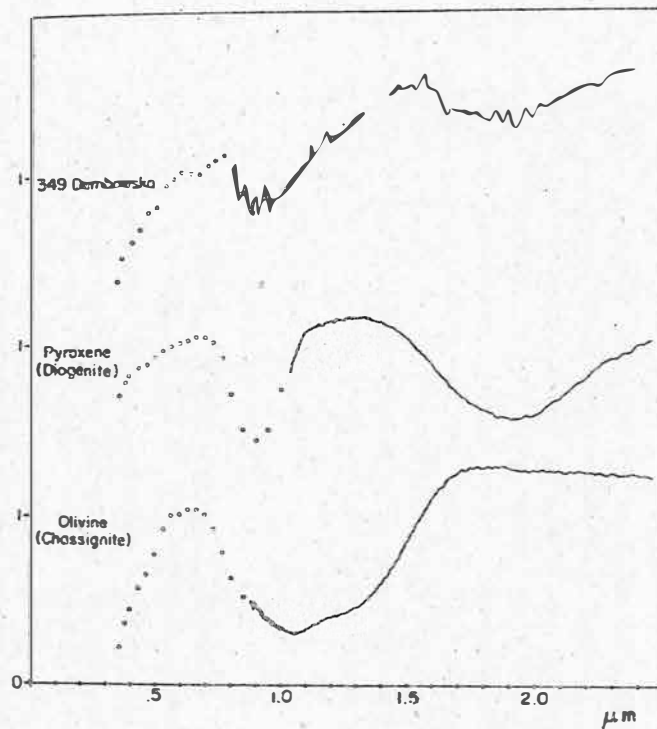


Abb. 9. Reflexionsspektren des Asteroiden 349 Dembowska im Vergleich zu den Spektren der Minerale Pyroxen und Olivin. (Reproduktion aus LARSON and VEEDER, 1979.)

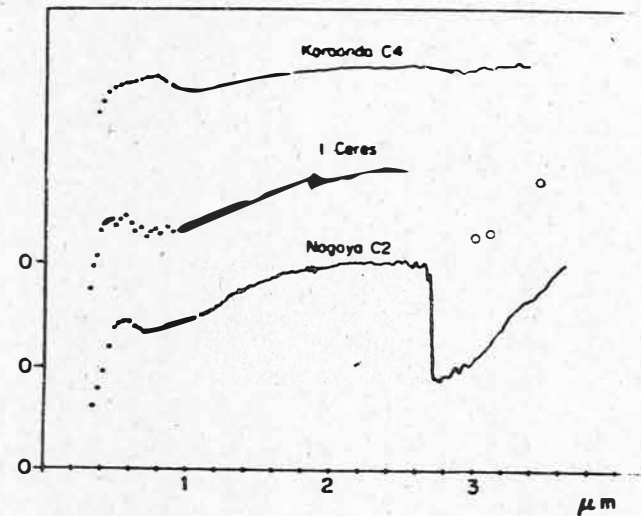


Abb. 10. Reflexionsspektrum des Asteroiden 1 Ceres im Vergleich zu den Spektren zweier kohligter Chondrite (Reproduktion aus LARSON and VEEDER, 1979.)

Indirekte thermische Sondierung der mittleren Venusatmosphäre  
mit dem IR-Fourierspektrometer auf Venera-15

R. DUBOIS<sup>1</sup>, D. SPANKUCH<sup>2</sup>, K. SCHÄFER<sup>1</sup>, W. DÜHLER<sup>2</sup>, J. GOLDNER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Akademie der Wissenschaften der DDR, Heinrich-Hertz-Institut für Atmosphärenforschung und Geomagnetismus, Berlin

<sup>2</sup> Meteorologischer Dienst der DDR, Meteorologisches Hauptobservatorium, Potsdam

Zusammenfassung

Mit einem Infrarot-Fourier-Spektrometer an Bord des Orbiters Venus-15 wurde die Ausstrahlung der Venusatmosphäre erstmalig gemessen in einem Spektralbereich von 250 - 1600  $\text{cm}^{-1}$  (40 - 6  $\mu\text{m}$ ) mit einer spektralen Auflösung von 5 oder 7  $\text{cm}^{-1}$  je nach Verarbeitungsart der Interferogramme. Die verschiedenen Breitenregionen der Venus können durch typische sowie signifikant unterschiedliche Ausstrahlung und Helligkeitsspektren mit verschiedenen Helligkeitstemperaturmittelwerten charakterisiert werden. Es wurde eine Einteilung in 5 Spektrenarten vorgenommen und zwar eine für den Äquatorbereich, eine für die mittleren Breiten und drei für das subpolare und polare Gebiet. Die 15- $\mu\text{m}$ -Fundamentalbande wurde für die Berechnung der Temperaturprofile der Venusatmosphäre zwischen 60 und 95 km Höhe genutzt. Die Wolkenstruktur über 55 km weist signifikante Unterschiede in den verschiedenen Breitenregionen der Venus auf.

Summary

A Fourier spectrometer aboard Venera-15 measured the outgoing spectral radiance of Venus in the 250 - 1600  $\text{cm}^{-1}$  (40 - 6  $\mu\text{m}$ ) region with a spectral resolution of 5 or 7  $\text{cm}^{-1}$  depending on the data handling procedure. Different Venusian regions can be characterized by typical significantly different radiance and brightness temperature spectra based on the magnitude of brightness temperatures. At least five groups can be identified, one typical for equatorial regions, one for mid-latitudes and three for the subpolar and polar regions. The 15  $\mu\text{m}$   $\text{CO}_2$ -fundamental absorption band was used for retrieval of altitude-dependent temperature profiles in a range between 60 and 95 km. There are significant differences in the cloud structure above 55 km for distinct regions of Venus.

Резюме

При помощи инфракрасного Фурье-спектрометра, установленного на "Венере-15", были получены спектры атмосферы планеты Венера в диапазоне от 250 до 1600  $\text{cm}^{-1}$  /соответственно 40 - 6  $\mu\text{m}$ / с разрешением от 5 до 7  $\text{cm}^{-1}$ . Приводятся образцы спектров яркости и излучения для различных широтных зон Венеры. Показано, что различия в спектрах позволяют провести разделение в 5 основных групп спектров - три для субполярных и полярных областей, один для средних широт и один для экваториальных районов. Фундаментальная полоса  $\text{CO}_2$ /15  $\mu\text{m}$ / была использована для восстановления температурного профиля в атмосфере Венеры в диапазоне высот 60 - 95 км. Структура облачного слоя выше 55 км отличается в различных широтных областях Венеры.

### 1. Die Messung mit dem IR-Fourierspektrometer auf dem Orbiter von Venera-15

An Bord des Orbiters Venera-15 wurde vom 12.10.1983 bis zum 14.12.1983 mit einem Infrarot-Fourierspektrometer die Ausstrahlung der Venusatmosphäre erstmalig in einem Spektralbereich von 6 bis 40  $\mu\text{m}$  (250 bis 1600  $\text{cm}^{-1}$ ) gemessen. Die Auflösung der erhaltenen Spektren beträgt bei der Verarbeitung der gemessenen Interferogramme mit einem Bordrechner 7  $\text{cm}^{-1}$  und bei der Berechnung auf der Erde 5  $\text{cm}^{-1}$ . Die Sondierungen erfolgten von einem raumfest orientierten Orbiter aus einer über dem Venusnordpol verlaufenden, 24-stündigen Umlaufbahn mit dem Perizentrum in 62° nördlicher Breite. Dort betrug die Höhe des Satelliten etwa 1000 km. In Abb. 1 sind in einem sonnenfesten Koordinatensystem die Bahnspuren

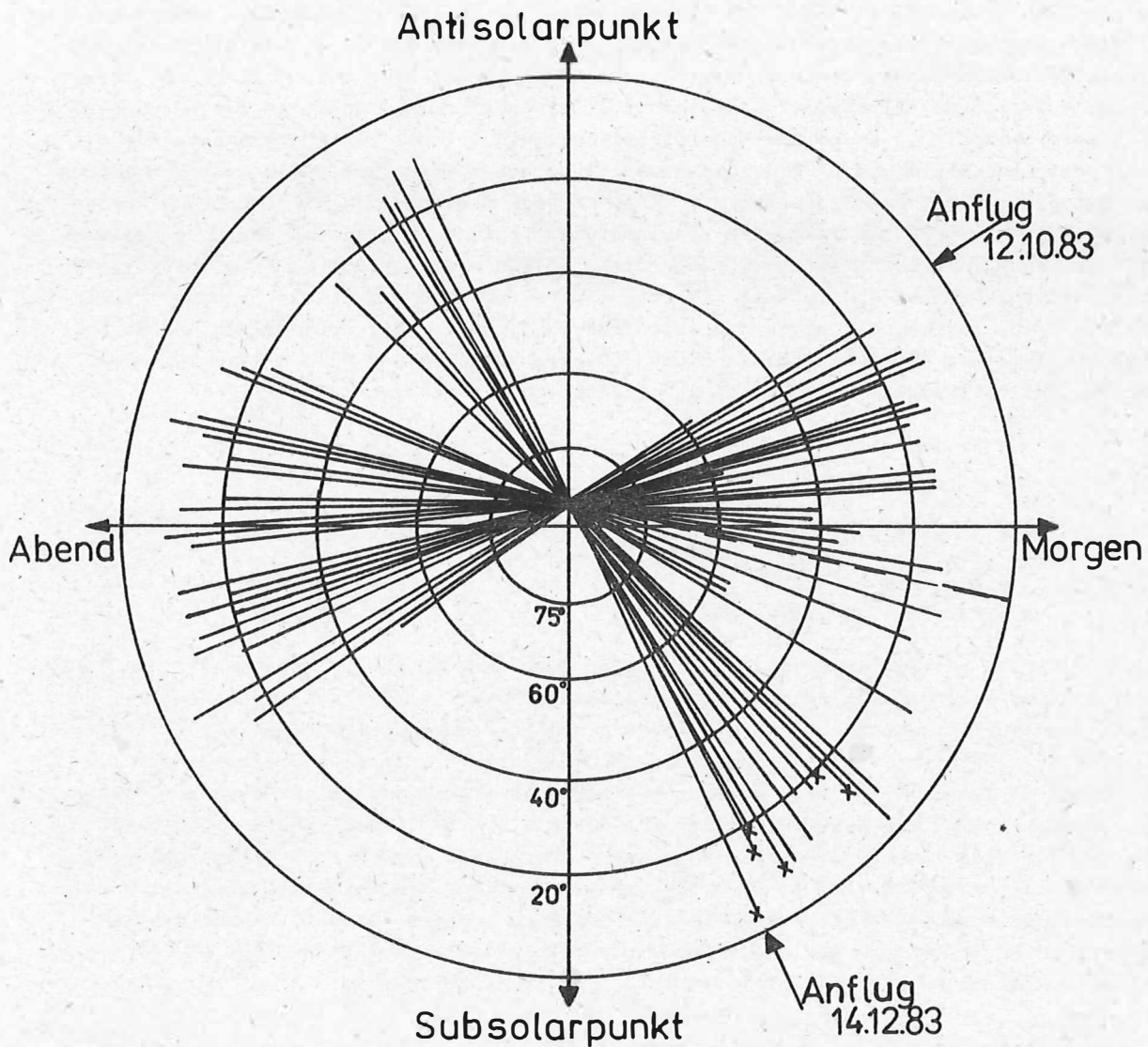


Abb. 1 Die Bedeckung der Venusnordhalbkugel in einem sonnenfesten Koordinatensystem mit Bahnspuren, auf denen Spektrenmessungen mit dem IR-Fourier-Spektrometer auf Venera-15 existieren. + Messungen mit 5  $\text{cm}^{-1}$  Auflösung  
- - - Messungen auf der Südhalbkugel

dargestellt, auf denen Spektrenmessungen vorhanden sind. Vom Anflug bis zum Abflug kann von jeweils  $10^\circ$  nördlicher Breite bei maximaler Nutzung der Meßmöglichkeiten eine Folge von 60 Spektren in einem Abstand von 200 bis 300 km mit einer räumlichen Auflösung von etwa  $100 \times 100 \text{ km}^2$  für die thermische Sondierung genutzt werden. Diese Standardorientierung wurde einmal geändert, so daß auch für die Äquatorregion und für die Südhalbkugel bis  $66^\circ$  Breite für die Auswertung Spektren vorhanden sind. [1]

## 2. Die Spektrentypen für charakteristische thermische Atmosphärenstrukturen

Qualitative Aussagen über die thermische Struktur der mittleren Venusatmosphäre im Höhenbereich von 60 bis 95 km sowie von Eigenschaften der oberen Wolkenschicht können aus den in die Helligkeitstemperatur umgerechneten Spektren sowie den Helligkeitstemperaturen spezieller Wellenzahlen gewonnen werden. Die Abb. 2 zeigt eine solche längs des Überfluges entstandene Helligkeitsspektrenfolge. In den einzelnen Spektren prägen sich deutlich unterschiedliche spektrale Abhängigkeiten sowie verschiedene Mittelwerte für die Helligkeitstemperatur aus [2]. Das Absorptionsbandensystem von  $\text{CO}_2$  bei  $15 \mu\text{m}$  ( $668 \text{ cm}^{-1}$ ) ist bei allen Spektren die markanteste Erscheinung. Messungen im Bereich dieser Bande werden zur Ableitung der vertikalen Temperaturverteilung genutzt, da das Mischungsverhältnis von  $\text{CO}_2$  konstant ist. Außerhalb dieser Bande wird das Spektrum im wesentlichen durch Wolkenparameter (Obergrenze, Teilchendichte und -größenverteilung, u.a.) bestimmt und durch Absorptionsbanden von Spurenstoffen ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ , u.a.) modifiziert (siehe Abb. 3). Charakteristische Ähnlichkeiten in diesen Spektren ermöglichen eine Breitenzuordnung auf der Venusnordhalbkugel, so daß 5 typische Spektrenklassen existieren:

- I. Äquatoriale Breiten ( $0^\circ$  bis  $10^\circ$ )
- II. mittlere Breiten ( $10^\circ$  bis  $60^\circ$ )
- III. kalte Region (kalter Kragen) ( $60^\circ$  bis  $75^\circ$ )
- IV. warme Fleckenregion ( $77^\circ$  bis  $85^\circ$ )
- V. Polarregion ( $75^\circ$  -  $90^\circ$ )

Repräsentative mittlere Spektren für diese Gebiete sind in Abb. 3 gezeichnet. Das Spektrum mit der geringsten mittleren Helligkeitstemperatur von 220 K außerhalb der  $15 \mu\text{m}$  Bande (in Abb. 3) entsteht durch eine höhere Wolkenobergrenze und eine kältere Temperaturschichtung als in den vergleichbaren Höhenbereichen der anderen Breitengebiete. Letzteres wird insbesondere durch eine starke Temperaturinversion in Höhen der Wolkenobergrenze bewirkt. Im Spektralbereich von 500 bis  $600 \text{ cm}^{-1}$  wird dadurch eine besonders starke, für diese Inversion charakteristische Absorption verursacht. Im Gegensatz dazu haben die wärmsten Spektren eine um 30 K höhere mittlere Helligkeitstemperatur, die im wesentlichen durch eine niedrigere Wolkenobergrenze bestimmt wird. Die Äquatorialen Spektren sind im Zentrum der  $15 \mu\text{m}$  Bande die kältesten, so daß in den oberen thermischen Schichten (ab 20 hPa) die tiefsten Temperaturen herrschen müssen.

## 3. Temperaturprofilberechnung

Die Temperaturprofile für die mittlere Venusatmosphäre können ausgehend von einem Temperaturmodell sowohl mit einem iterativen Wiederherstellungsverfahren [3] als auch mit Regularisierungsverfahren ermittelt werden [4]. Dabei werden für die Standardversion 10 höhenmäßig (zwischen 0,5 und 200 hPa) gestaffelte Maxima der Gewichtsfunktionen genutzt,



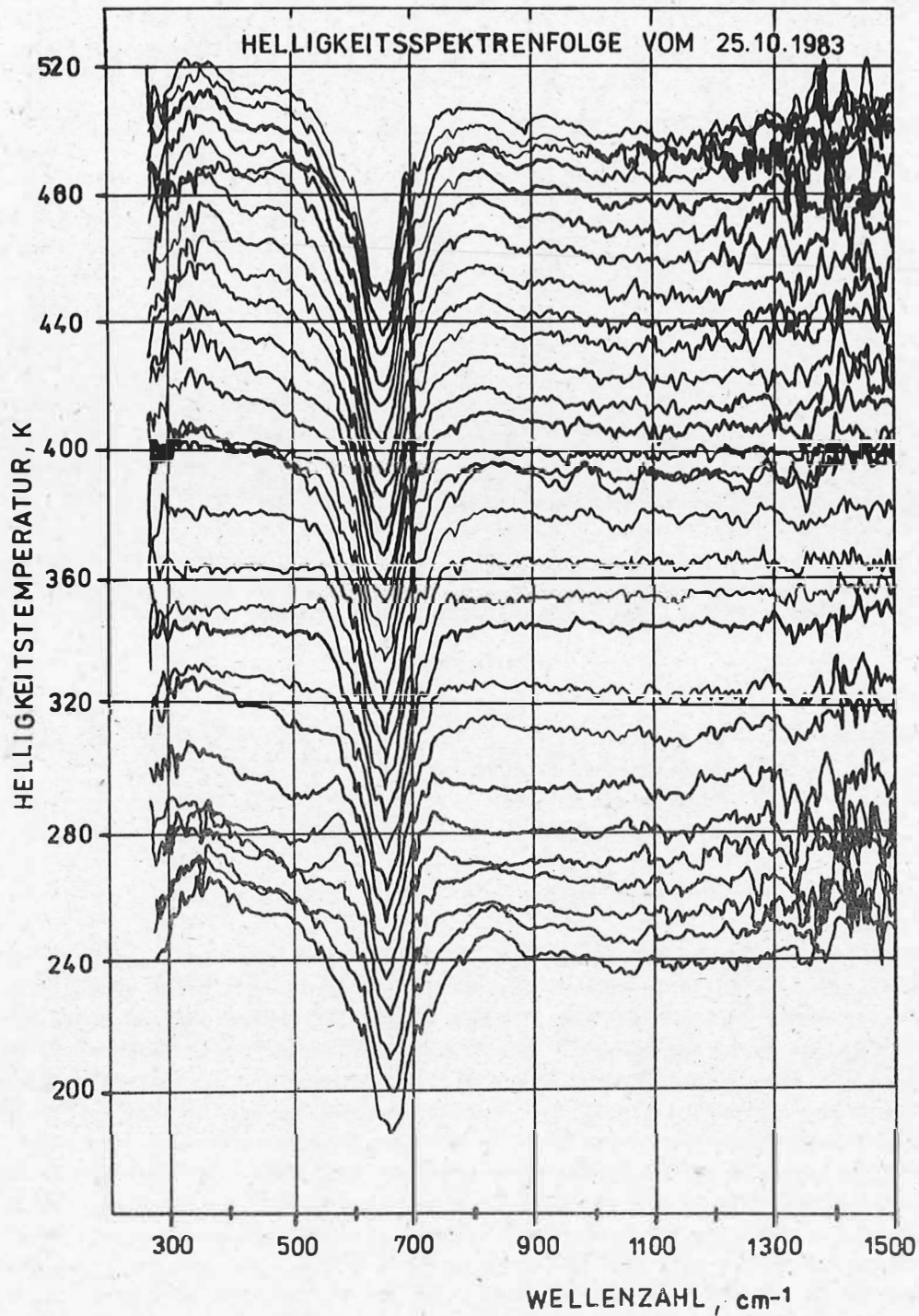


Abb. 2 Helligkeitsspektrenfolge entlang des Überfluges am 25.10.1983. Die Spektren sind in vertikaler Richtung jeweils um 10 Einheiten (10 K) zum vorhergehenden versetzt.

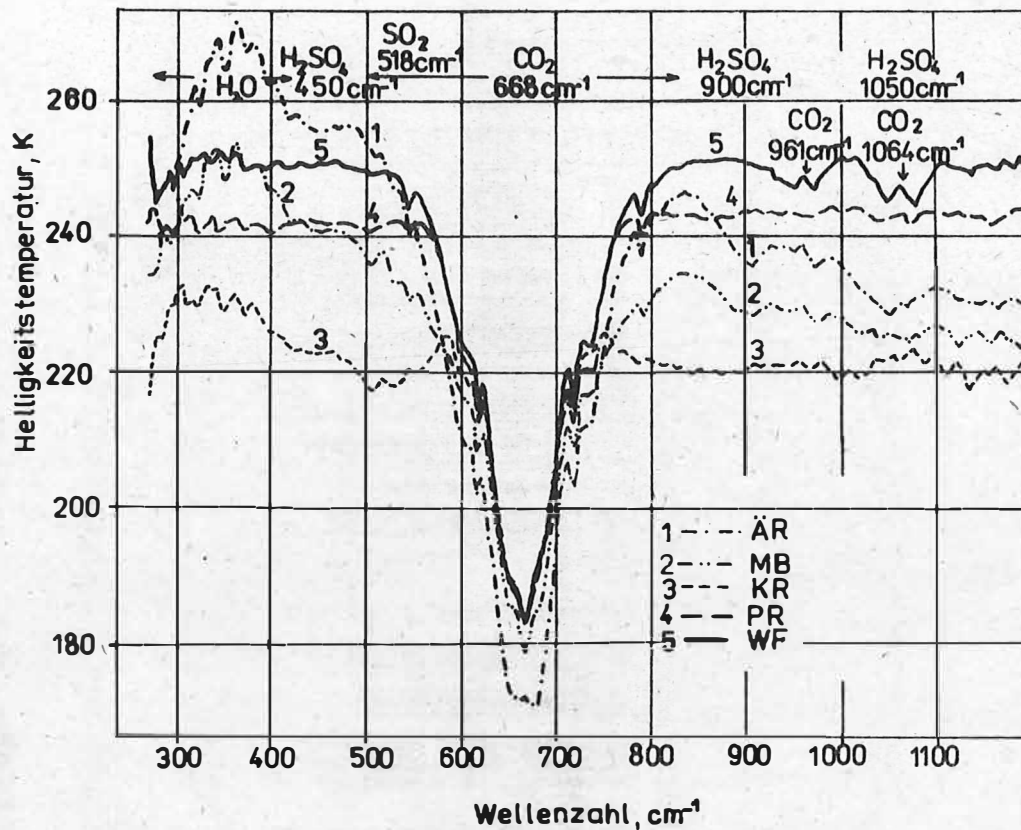


Abb. 3 Repräsentative typische mittlere Spektren für 5 Breitenbereiche der Venus

- |                           |                       |
|---------------------------|-----------------------|
| a) ÄR-äquatoriale Breiten | 0.5° - 9°, 11.11.1983 |
| b) MB-mittlere Breiten    | 36° - 71°, 22.10.1983 |
| c) KR-kalte Region        | 66° - 73°, 25.10.1983 |
| d) WF-warme Fleckenregion | 77° - 80°, 23.10.1983 |
| e) PR-polare Region       | 85° - 87°, 23.10.1983 |

die jeweils aus den  $\text{CO}_2$ -Transmissionsfunktion des kurzwelligen und langwelligen Flügels des  $15 \mu\text{m}$ -Bandensystems berechnet werden. Mit einer damit erreichten Höhengauflösung von etwa 3 km und einer Unsicherheit von 2 K bei beiden gleichwertigen Temperaturberechnungsverfahren wird damit im Höhenbereich von 70 bis 95 km eine höhere Temperaturprofilgenauigkeit erreicht als in dem Infrarot-Radiometer-Experiment und den Radiooccultationsmessungen der Pioneer-Venus-Mission [5]. Bei der Berechnung von Inversionstemperaturprofilen werden zusätzliche Gewichtsfunktionen im Inversionshöhenbereich verwendet. Die Temperaturabhängigkeit der  $\text{CO}_2$ -Transmissionsfunktionen, die im berechneten Temperaturprofil einen Fehler bis zu 3 K verursachen kann, wird mit einem neu entwickelten schnellen Korrekturverfahren im Berechnungsalgorithmus berücksichtigt. Durch die Annahme einer reinen  $\text{CO}_2$ -Atmosphäre bleibt bei der beschriebenen Standardversion der Aerosoleinfluß an den Enden der Bandenflügel unberücksichtigt, so daß in den Schichten unter 50 hPa ( $\approx 68$  km) die berechneten Temperaturen zu niedrig sind. Die Differenz zwischen der berechneten und der tatsächlichen Temperatur nimmt mit abnehmender Höhe und damit zunehmenden Aerosoleinfluß zu und kann bei etwa 200 hPa bis zu 10 K betragen.

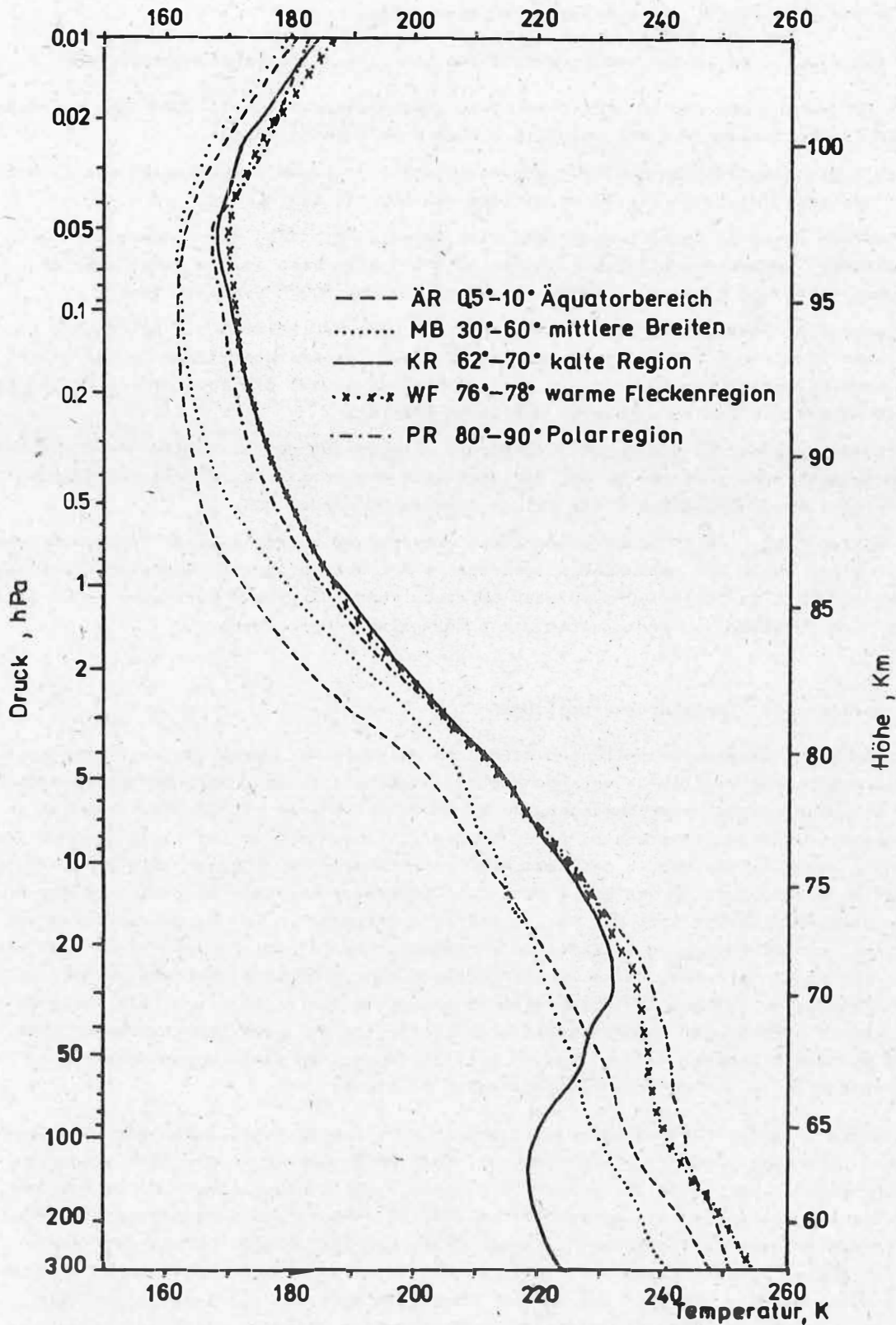


Abb. 4 Repräsentative Temperaturprofile für die 5 typischen Spektrentypen (vom 15.10.1983, äquatoriales 11.11.1983). Die Höhenzuordnung entspricht einem mittleren Temperaturmodell

#### 4. Die thermische Struktur der mittleren Venusatmosphäre

##### 4.1. Die Temperaturprofile für charakteristische thermische Atmosphärenstrukturen

Die den 5 typischen Spektren in Abb. 3 entsprechenden Temperaturprofile in Abb. 4 weisen die folgenden Gemeinsamkeiten und charakteristischen Unterschiede auf:

- In allen Breitenregionen besitzt die Venusatmosphäre in einem Druckbereich von 0,05 hPa bis 0,1 hPa eine Inversion mit einem Minimum von 170 bis 162 K.
- Diesem oberen Inversionsbereich schließt sich in allen Profilen mit abnehmender Höhe ein monotoner Temperaturanstieg bis in das 10 hPa-Druckniveau an und setzt sich in den äquatorialen und mittleren Breiten meist bis in das 500 hPa-Niveau fort.
- Die äquatorialen Temperaturprofile sind bis zum 10 hPa-Druckniveau die kältesten. In der Schicht 10 bis 0,1 hPa existiert zu den wärmsten Temperaturprofilen in der Polarregion eine Differenz von 10 bis 15 K. Im 100 hPa-Niveau ist die äquatoriale Region um etwa 5 K wärmer als die benachbarten mittleren Breiten.
- Das Temperaturprofil für die warme Fleckenregion unterscheidet sich nicht wesentlich von den benachbarten polaren, so daß die spezielle Absorptionscharakteristik dieses Spektrentypes durch besonders tiefe Wolken verursacht werden muß.
- In der kalten Region besteht der wesentliche Unterschied zu den polaren Temperaturprofilen in einer ab 30 hPa beginnenden besonders stark ausgeprägten Temperaturinversion, die mehr als 10 K im 100 hPa-Druckniveau betragen kann. Mit 220 K herrschen im Minimum im Vergleich zu allen anderen Breiten die niedrigsten Temperaturen.

##### 4.2. Die meridionalen Temperaturverteilungen

Die meridionalen Temperaturverteilungen werden im wesentlichen durch die mehr oder weniger starke Ausprägung von den im vorangehenden Textabschnitt beschriebenen charakteristischen Atmosphärenstrukturen bestimmt. So zeigen die Isobaren bis 30 hPa in Abb. 5 in einem Temperatur-Breiten-Diagramm einen annähernd stetigen Verlauf mit etwas höheren Temperaturen in der Polarregion. In den Schichten mit größerem Druck prägt sich in der kalten Region im Breitenbereich von  $60^{\circ}$  -  $80^{\circ}$  eine Temperaturinversion aus, die auf der Anflugseite meistens stärker ist. Der Anflug erfolgte entweder in der Morgendämmerung oder am Vormittag und der Abflug zu entsprechenden abendlichen Zeiten. Da insbesondere in den Messungen zum Sonnenuntergang diese Inversion nicht mehr existiert, besteht vermutlich ein noch ungeklärter Zusammenhang bzw. eine Abhängigkeit vom Sonnenstand. Die kalte Region beschränkt sich in der Temperaturprofilzeitreihe für die gesamte Meßzeit des Spektrometers auf einen „kalten Krater“ dessen „Krateröffnung“ in einem sonnenfesten Koordinatensystem sich in der Sonnenuntergangsregion befindet.

Die Isothermen in einem Höhen-Breiten-Diagramm in Abb. 6 veranschaulichen die Höhengausdehnung der inversionsbedingten kalten Region. Zusätzlich wurden in die Abbildung die Höhen eingetragen, über denen für ausgewählte Aerosolkanäle die optische Dicke = 1 beträgt. Diese Niveaus können als optisch effektiver Wolkenoberrand interpretiert werden, wie die Berechnung synthetischer Spektren mit Wolkenmodellen ergab. Der Aerosolkanal mit der Wellenzahl  $1153 \text{ cm}^{-1}$  repräsentiert die maximale optische Dicke für  $\text{H}_2\text{SO}_4$ -Tröpfchen. Die Aerosolkanäle  $451 \text{ cm}^{-1}$  und  $365 \text{ cm}^{-1}$  besitzen eine geringere optische Dicke [6]. Liegen die Höhen, über denen die optische Dicken  $\approx 1$  sind, weit auseinander,

## ISOBAREN ENTLANG EINER FLUGBAHN

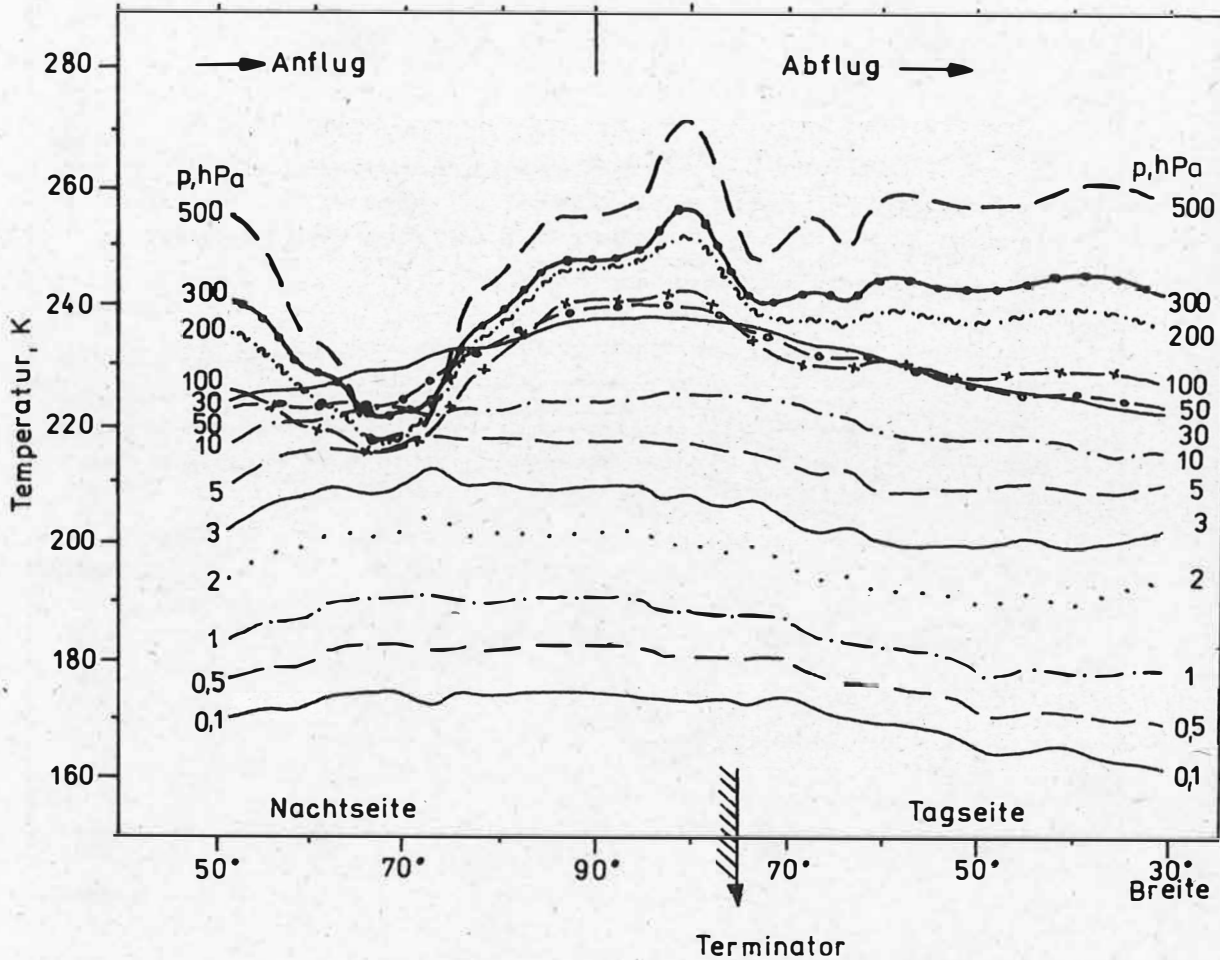


Abb. 5 Isobarendarstellung in einem Breiten-Temperatur-Diagramm aus den berechneten Temperaturprofilen vom Überflug am 25.10.1983.

dann ist dies ein Zeichen für optisch dünne Wolken. Sind die Höhendifferenzen dagegen gering, so müssen die Wolken optisch dick sein, da die durch die chemische Zusammensetzung der Wolken resultierenden spektralen Unterschiede in den optischen Dicken innerhalb geringer Entfernungen (Höhendifferenzen) ausgeglichen werden. Die Verteilung der Höhenniveaus für diese Aerosolkanäle zeigt:

- optisch dünnere Wolken in den niederen und mittleren Breiten,
- optisch dichtere und in der Höhe etwas tiefere Wolken in der Polarregion.



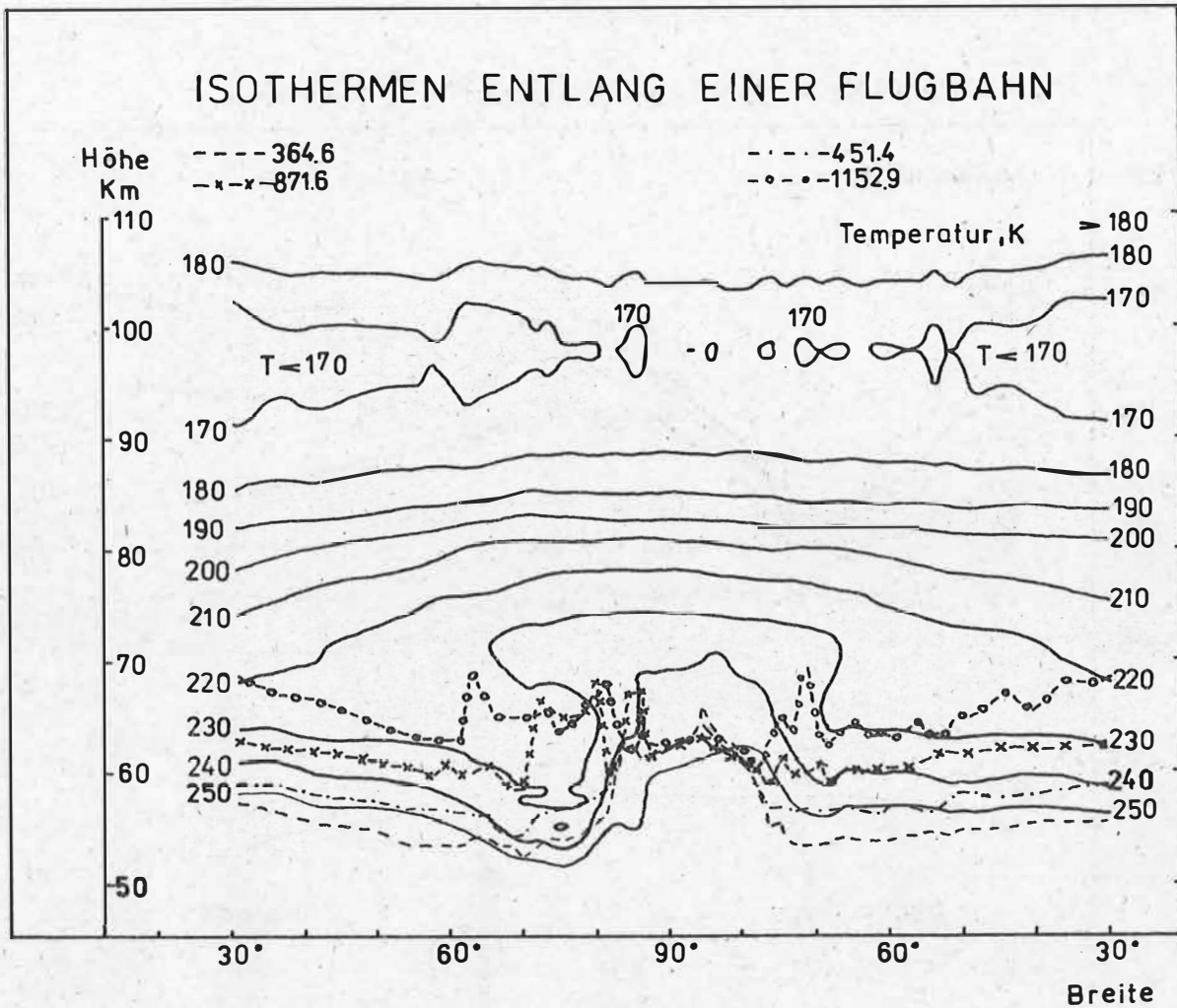


Abb. 6 Isothermendarstellung in einem Breiten-Höhen-Diagramm vom Überflug am 14.10.1983 mit den Niveauhöhen für ausgewählte Aerosolkkanäle, über denen die optische Dichte = 1 beträgt.

#### 4.3. Periodenanalyse in den Temperaturprofilzeitreihen

Für eine erste vorläufige Periodenanalyse der Zeitreihe aus den Temperaturprofilen für die gesamte Meßzeit von 64 Tagen wurde die Maximum-Entropie-Methode verwendet [8]. Diese Methode ist für die kurze und lückenhafte Zeitreihe infolge fehlender Meßtage am besten geeignet. Nachteilig ist für die Analyse, daß keine Amplitudenangabe möglich ist. In Abb. 7 ist das vorläufige Ergebnis für das 100 hPa-Druckniveau symbolisch dargestellt. Im Breitenbereich von  $65^{\circ}$  bis  $80^{\circ}$  konnte eine Periode von  $3,0 \pm 0,1$  Tagen ermittelt werden. Im gleichen Gebiet konnte 4 Jahre vor diesen Messungen mit dem Pioneer-Venus-Experiment eine Periode von 2,9 Tagen analysiert und als Rotation des „warmen Dipols“ identi-

fiziert werden. Von den vereinzelt auftretenden Perioden zwischen 2,1 und 14 Tagen im 100 hPa-Druckniveau kann nur noch die  $5,9 \pm 0,1$  Tageperiode in  $80^\circ$  in Übereinstimmung mit dem Pioneer-Venus-Periodenergebnis gebracht werden.

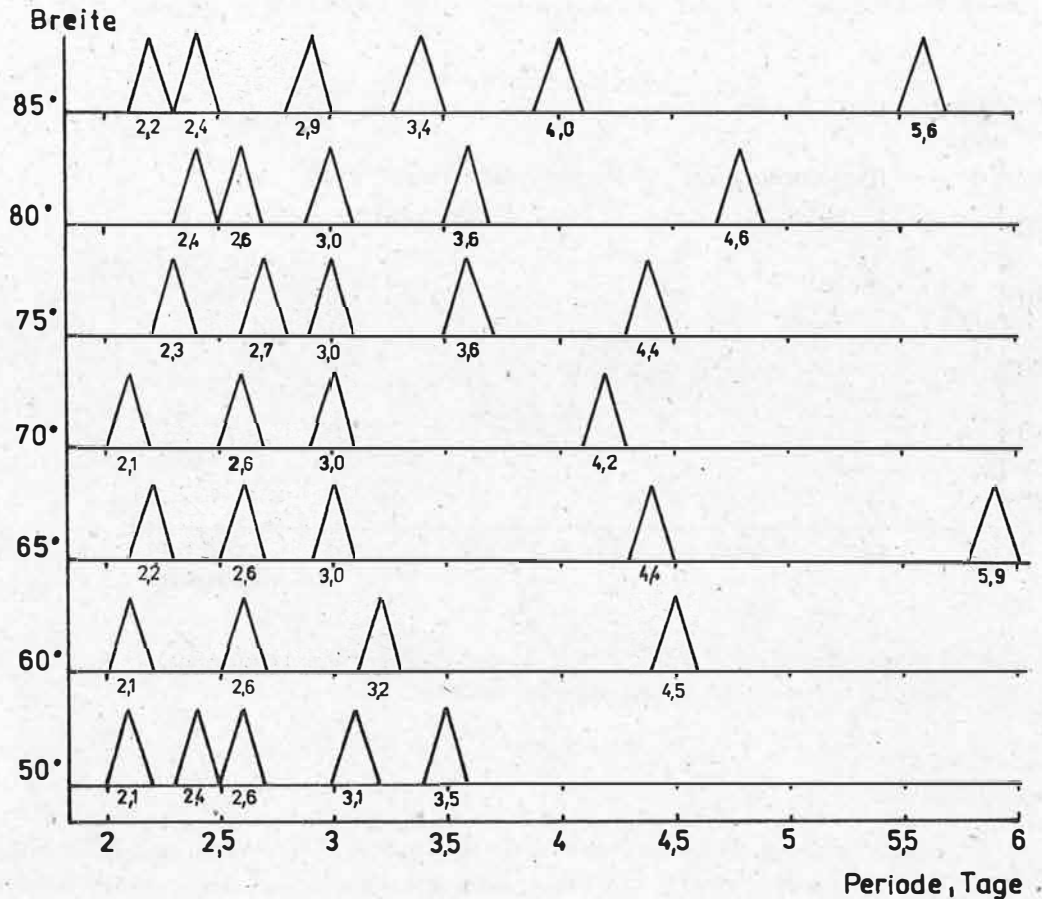


Abb. 7 Signifikante Perioden in der Temperaturprofilzeitreihe im 100 hPa-Druckniveau mit der Maximum-Entropie-Methode ermittelt.

#### 4.4. Trends im Strahlungsfluß und in den Temperaturprofilzeitreihen

Der für den gemessenen Spektralbereich berechnete Strahlungsfluß beträgt in der kalten Region nur etwa  $115 \text{ W/m}^2$  dagegen in der warmen Fleckenregion ca.  $175 \text{ W/m}^2$ . Die Abb. 8 verdeutlicht die unterschiedliche Tendenz des Strahlungsflusses im Verlaufe der gesamten Meßzeit in verschiedenen Breitenregionen. Während im unmittelbaren Polarbereich ( $85^\circ$  bis  $90^\circ$  Breite) eine Abnahme der Ausstrahlung existiert, kann für die mittleren Breiten ( $30^\circ$  bis  $50^\circ$  Breite) eine geringe Zunahme festgestellt werden. Eine erste vorläufige Analyse einiger Temperaturprofilzeitreihen für die gesamte Experimentzeit ergab für die tieferen Niveaus im Druckbereich zwischen 50 und 500 hPa in subpolaren und polaren Breiten ( $60^\circ$  bis  $90^\circ$ ) einen annähernd kontinuierlichen Temperaturabfall z.B.

speziell in 100 hPa um 10 K auf 230 K. Im gleichen Breitengebiet ( $70^{\circ}$  bis  $90^{\circ}$  auf der Tagseite,  $60^{\circ}$  bis  $90^{\circ}$  auf der Nachtseite) hat entsprechend entgegengesetzt eine Erwärmung um etwa 5 K in den darüber liegenden Druckschichten von 10 bis 0,1 hPa stattgefunden. In den mittleren Breiten ( $30^{\circ}$  bis  $50^{\circ}$  jeweils auf Tag- und Nachtseite) prägen sich demgegenüber in entsprechenden Höhen diese Temperaturtrends in umgekehrter Weise aus. In den Druckniveaus von 0,1 bis 10 hPa kühlt sich die Venusatmosphäre um 5 bis 10 K ab, dagegen steigen die Temperaturen zwischen 100 und 400 hPa um etwa 5 K.

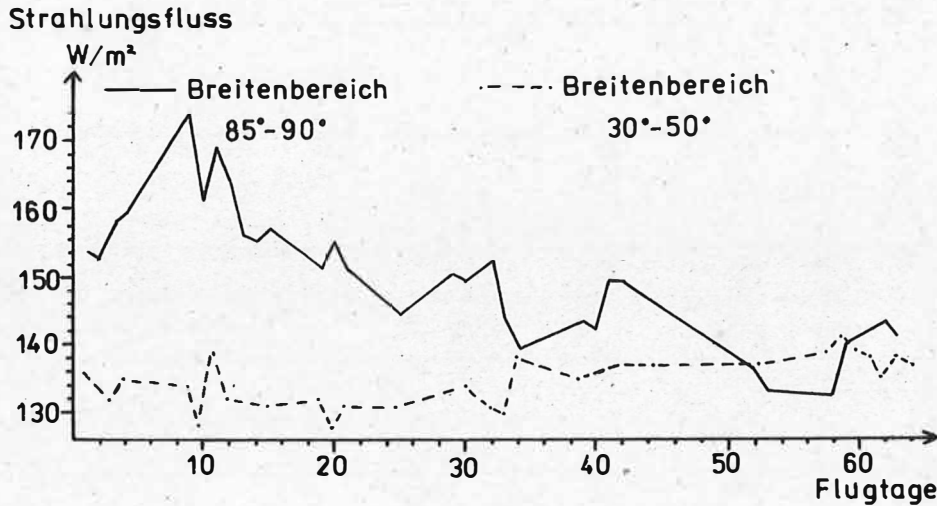


Abb. 8 Strahlungsfluß im Verlaufe der gesamten Experimentdauer im Polargebiet und in den mittleren Breiten.

##### 5. Zusammenfassung

Es konnten für die gemessenen Venusspektren nur die wichtigsten Interpretationsaspekte bezüglich der Informationsgewinnung für die thermische Sondierung dargestellt werden. Die erzielten Ergebnisse zeigen, daß die thermische Struktur der mittleren Venusatmosphäre auf der Nordhalbkugel zwar charakteristische Ähnlichkeiten in bestimmten Breitenregionen aufweisen, diese sich aber im Verlaufe der gesamten Meßzeit unterschiedlich stark bzw. auch z.T. gar nicht ausprägen. Die subpolaren und polaren sowie auch die mittleren Breiten sind durch eine in den verschiedenen Höhen unterschiedlich starke Variabilität der thermischen Schichtung gekennzeichnet.

Gegenwärtig konzentrieren sich die Anstrengungen darauf, den Informationsgehalt der gemessenen Spektren für die gleichzeitige Bestimmung von Temperatur und Aerosolzusammensetzung zu nutzen, so daß auch für die Schicht von 50 bis 500 hPa genaue Temperaturen und effektive Wolkendicken berechnet werden können. Dies erweitert wesentlich die Grundlage für alle anderen Interpretationsziele.

## Literatur:

- [1] OERTEL, D.; SPANKUCH, D.; JAHN, H.; BECKERROSS, H.; STADTHAUS, W.; NOPIRAKOWSKI, J.; DÖHLER, W.; SCHÄFER, K.; GÖLDNER, J.; DUBOIS, R.; MOROZ, V.I.; LINKIN, V.M.; KERZHANOVICH, V.V.; MATSGORIN, I.A.; LIPATOV, A.N.; SHURUPOV, A.A.; ZASOVA, L.V.; USTINOV, E.A.: Infrared Spectrometry of Venus from "Venera-15" and "Venera-16"  
Adv. Space Res. Vol. 5, No. 9, (1985), S. 25-36
- [2] SPANKUCH, D., u.a.: "Venus Spectra Obtained from Venera 15 and 16", IRS' 84: Current Problems in Atmospheric Radiation,  
Hrsg. Fiocco, G., Deepak Publishing, Hampton, Virginia, USA, 1984
- [3] CHAHINE, M.T.: A General Relaxation Method for Inverse Solution of the Full Radiation Transfer Equation  
J. Atmos. Sci., 29, (1972), S. 741-747
- [4] Шпенкух, Д., Инфракрасный эксперимент на АМС "Венера-15" и "Венера-16", Предварительные результаты восстановления температурных профилей.  
Космич. исслед., 23, (1985), с.206-220
- [5] SCHOFIELD, J.T.; TAYLOR, F.W.:  
Measurements of the mean, solar-fixed temperature and cloud structure of the middle atmosphere of Venus  
Quart. J. R. Met. Soc., 109, (1983), S. 57-80
- [6] MOROZ, V.I.; SPANKUCH, D.: Venus spacecraft infrared radiance spectra and some aspects of their interpretation.,  
Appl. Opt., 25, (1986), S. 1710-1719
- [7] AURASS, H.; DETLEFS, H.; KURTHS, J.: Statistische Analyse Geophysikalischer Zeitreihen - Algorithmen und Programme  
HHI-STP-Report, 19, (1983), Berlin

Prinzipien der Bildung und die Bedeutung abgeleiteter Merkmale für die Auswertung von  
Multispektralaufnahmen

H. WIRTH

Akademie der Wissenschaften der DDR  
Zentralinstitut für Physik der Erde

Zusammenfassung

Für die Lösung quantitativer numerischer Aufgabenstellungen der Fernerkundung ist die Elimination von störenden, aufnahmebedingten Einflüssen aus den Fernerkundungsdaten erforderlich. Beschrieben wird eine Methode zur Bildung von abgeleiteten Merkmalen auf der Basis von in der zu untersuchenden Szene enthaltenen Referenzobjekten. Eliminiert werden über die Szene konstante Einflüsse von Geräteparametern, atmosphärischer Transmission, additivem Luftlicht und Beleuchtungsbedingungen. Vorteilhaft erscheint, daß keine zusätzlichen Informationen benötigt werden.

Summary

For the extraction of quantitative numerical information from remote sensing data, the elimination of disturbing influences which occur during data collection is necessary. The author describes a methodology for the derivation of secondary features of natural objects using at least two reference objects within the scene. Over the whole scene, constant values of the data collecting equipment, atmospheric transmission, airglow and illumination conditions can be suppressed. This is advantageous for practical application because no additional information is necessary.

Резюме

Для решения качественных вычислительных задач дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) необходимо устранять помехи, вызванные условиями сбора данных, из данных ДЗЗ. Ниже описывается метод образования производных признаков на основе опорных объектов, содержащихся в исследуемой сцене. Устраняются постоянные влияющие факторы, связанные с параметрами приборов, атмосферной трансмиссией, аддитивным атмосферным излучением и условиями освещенности. Преимущество метода состоит в том, что для практического использования не требуется никаких дополнительных данных.



Für die Beurteilung des Zustandes land- und forstwirtschaftlicher Kulturen oder für die Bestimmung der Eigenschaften von Oberflächengewässern mit Hilfe von Fernerkundungsdaten wird in zunehmendem Maße die quantitative numerische Auswertung der spektralen radiometrischen Signaturen von Bodenobjekten erforderlich. Insbesondere müssen zum Nachweis von Veränderungen der Objekte anhand von Daten eines Aufnahmesystems zu verschiedenen Zeitpunkten bzw. aus Daten unterschiedlicher Aufnahmesysteme die Meßwerte auf das internationale Einheitensystem oder zumindest auf ein einheitliches Niveau bezogen werden.

Zur Gewinnung von Fernerkundungsdaten werden sowohl Scannersysteme als auch fotografische Aufnahmesysteme eingesetzt. Bei einem radiometrischen Vergleich beider Systeme ist zu beachten, daß die Scannermeßwerte proportional zur Beleuchtungsstärke ( $W_m^{-2}$ ) der Sensorfläche sind, während die optische Dichte der fotografischen Registrierung im linearen Teil der charakteristischen Kurve des Fotomaterials proportional zum Logarithmus der Belichtung ( $W_m^{-2}s$ ) ist. Die Umrechnung der registrierten Meßwerte in das internationale Einheitensystem ist erfahrungsgemäß gegenwärtig sowohl bei Scannerdaten als auch bei fotografischen Registrierungen mit dem nicht befriedigend gelösten Problem der radiometrischen Kalibrierung der Aufnahmesysteme verbunden und deshalb sehr aufwendig.

Die Zielstellungen der Auswertung von Fernerkundungsdaten sind jedoch nur in wenigen Fällen auf die Gewinnung der remittierten oder emittierten Strahlungsgrößen von Bodenobjekten ausgerichtet. Von allgemeiner Bedeutung sind vielmehr die aus den gemessenen Strahlungswerten ableitbaren Aussagen über objektspezifische Größen, wie Biomasse, Vitalität, Chlorophyllgehalt, Schwebstoffgehalt, Wassertiefe usw. Es ist offensichtlich, daß derartige objektspezifische Größen nur in Zusammenhang mit objektbezogenen physikalischen und chemischen Merkmalen stehen können, die unabhängig von den bei Gewinnung der Fernerkundungsdaten gegebenen schwer erfaßbaren Bedingungen sind. Beispielhaft für solche Bedingungen seien das Luftlicht, der Sonnenstand und die Transparenz der Atmosphäre genannt. Zur Minimierung des Einflusses dieser wenig kontrollierten Bedingungen auf die Auswertergebnisse werden aus multispektralen Fernerkundungsdaten abgeleitete Merkmale gebildet. Verbreitet werden die Quotientenbildung aus Daten zweier verschiedener Spektralbänder, die Bildung eines Kontrastwertes aus zwei verschiedenen Spektralbändern und die Normierung der Meßwerte einzelner Spektralbänder bezüglich der Gesamtenergie empfohlen

1. Quotient:  $Q_{ij} = M_i / M_j$
2. Kontrast:  $K_{ij} = (M_i - M_j) / (M_i + M_j)$
3. Normierung:  $N_i = M_i / \sum_{l=1}^L M_l$

Dabei bezeichnet  $M_i$  den Meßwert aus dem Spektralband  $i$ . Die Meßwertbildung bei Scannern erfolgt nach der Beziehung:

$$(1) \quad M_i = V(\lambda_i) E_B(\lambda_i)$$

$V(\lambda_i)$ : Verstärkungsfaktor des Bandes  $i$   
 $E_B(\lambda_i)$ : Die im Spektralband  $i$  vom Bodenobjekt auf den Sensor fallende Beleuchtungsstärke

Für fotografische Meßwerte gilt:

$$(2) \quad M_i' = 10^{-D(\lambda_i)} / \gamma(\lambda_i) = E_B(\lambda_i) t(\lambda_i)$$

mit  $D(\lambda_i) = \gamma(\lambda_i) \log [E_B(\lambda_i) t(\lambda_i)]$

- $D(\lambda_i)$ : Schwärzungsdichte des Objekts im Band  $i$   
 $\mathcal{Z}(\lambda_i)$ : Gradation des Films vom Band  $i$   
 $t(\lambda_i)$ : Belichtungszeit des Bandes  $i$

Man bemerkt sofort, daß bereits im idealen Falle, wenn keine der genannten störenden Einflüsse zu berücksichtigen sind, allein schon durch die Größen  $V$ ,  $\mathcal{Z}$  und  $t$  aufnahme-spezifische Anteile in den oben genannten abgeleiteten Merkmalen verbleiben können. Werden störende Einflüsse berücksichtigt, so stellt sich (1) für das Bodenobjekt  $B_k$  wie folgt dar

$$(3) \quad M_{iBk}(\lambda_i) = V(\lambda_i) \left[ \tau_A(\lambda_i) R_{Bk}(\lambda_i) E_0(\lambda_i) + L_A(\lambda_i) \right]$$

$\tau_A(\lambda_i)$ : Transmission der Atmosphäre

$L_A(\lambda_i)$ : Additiver Luftlichtanteil

$R_{Bk}(\lambda_i)$ : Spektraler Remissionskoeffizient des Bodenobjekts  $B_k$

$E_0(\lambda_i)$ : Beleuchtungsstärke des Bodenobjekts

In der Beziehung (3) ist der Remissionskoeffizient  $R_{Bk}$  das bei der Auswertung von Fernerkundungsdaten interessierende physikalische Merkmal, über welches man in Zusammenhang mit geometrischen Eigenschaften und anderen Informationen über das Objekt zu objektbezogenen Aussagen gelangt.

Angenommen, es liegen außer vom zu untersuchenden Bodenobjekt  $B_k$  noch Meßwerte von zwei anderen verschieden stark remittierenden Bodenobjekten  $B_1$  und  $B_2$  vor, so erhält man durch Differenzbildung im Spektralband  $i$

$$(4) \quad \begin{aligned} M_{iB1} - M_{iB2} &= V(\lambda_i) \tau_A(\lambda_i) \left[ R_{B1}(\lambda_i) - R_{B2}(\lambda_i) \right] E_0(\lambda_i) \\ M_{iBk} - M_{iB2} &= V(\lambda_i) \tau_A(\lambda_i) \left[ R_{Bk}(\lambda_i) - R_{B2}(\lambda_i) \right] E_0(\lambda_i) \end{aligned}$$

und durch die Bildung des Quotienten

$$(5) \quad r_{iBk} = \frac{M_{iBk} - M_{iB2}}{M_{iB1} - M_{iB2}} = \frac{R_{Bk}(\lambda_i) - R_{B2}(\lambda_i)}{R_{B1}(\lambda_i) - R_{B2}(\lambda_i)}$$

einen Ausdruck, der nur die spektralen Remissionskoeffizienten enthält.

In dem abgeleiteten Merkmal  $r_{iBk}$  sind alle im Bereich der aufgenommenen Szene konstanten Einflüsse von  $V$ ,  $\tau_A$ ,  $L_A$  und  $E_0$  eliminiert. Nicht eliminiert werden solche Effekte, wie z. B. Schattenbildungen durch einzelne Wolken über Teilen der Szene.

Zugleich wird mit (5) noch einmal die Bedeutung von Bodenmeßkomplexen in Testgebieten für die quantitative Auswertung von Fernerkundungsdaten unterstrichen. Sind nämlich die Remissionskoeffizienten der Referenzobjekte  $B_1$  und  $B_2$  an der Erdoberfläche im Band  $i$  gemessen worden, so können die spektralen Reflexionskoeffizienten in Band  $i$  aller anderen Bodenobjekte  $B_k$  aus  $r_{iBk}$  berechnet werden. Dabei bedeutet der Wert  $r_{iBk} = 0$ , daß  $B_k \equiv B_2$  ist und der Wert  $r_{iBk} = 1$ , daß  $B_k \equiv B_1$  ist. Die Beziehung (5) erlaubt fernerhin auch folgende praktisch nützliche Schlußfolgerung: Sind in der aufgenommenen Szene die Remissionskoeffizienten der Referenzobjekte  $B_1$  und  $B_2$  über längere Zeiträume konstant, so können mittels des abgeleiteten Merkmals  $r_{iBk}$  Veränderungen der Remissionseigenschaften anderer Bodenobjekte  $B_k$  relativ erfaßt werden. Für das Spektralband  $0,8 - 1,1 \mu\text{m}$  der FRAGMENT-Daten der Szenen F 48B1-1 vom 13. 1. 1981 und F 49B5 vom 20. 5. 1981 wurde die Umwandlung in das abgeleitete Merkmal  $r_{iBk}$  im Gebiet um die Bezirkshauptstadt Rostock an der Ostseeküste der DDR vorgenommen. Als Referenzobjekte dienten eine Wasserfläche in der unteren Warnow und eine dicht bebaute (versiegelte) Fläche im Stadtzentrum von Rostock.

Die Zahlenwerte des abgeleiteten Merkmals  $r_{iBk}$  können mit Hilfe eines Bildverarbeitungssystems z. B. über ein Filmausgabegerät wieder als Schwärzungen registriert werden. Bei Anwendung einer einheitlichen Übertragungsfunktion und gleichartiger fotochemischer Behandlung der Materialien, stehen dann für die visuelle Auswertung Bilder zur Verfügung, deren Schwärzungen direkt in quantitativem Zusammenhang mit den Remissionskoeffizienten der Bodenobjekte stehen (s. Abb. 1 und Abb. 2). Unter Berücksichtigung von (2) läßt sich aus fotografischen Fernerkundungsdaten

$$(6) \quad r_{iBk} = \frac{10^{-D_k(\lambda_i)/g} - 10^{-D_1(\lambda_i)/g}}{10^{-D_1(\lambda_i)/g} - 10^{-D_2(\lambda_i)/g}} = \frac{R_{Bk}(\lambda_i) - R_{B2}(\lambda_i)}{R_{B1}(\lambda_i) - R_{B2}(\lambda_i)}$$

bilden. Über das abgeleitete Merkmal  $r_{iBk}$  werden sowohl unterschiedliche Scanneraufnahmen untereinander als auch mit fotografischen Aufnahmen radiometrisch quantitativ vergleichbar.

Damit besitzt das hier beschriebene abgeleitete Merkmal genau jene Eigenschaft der Unabhängigkeit von dem Aufnahmesystem und den Aufnahmebedingungen, die für eine Gewinnung von eingangs genannten objektspezifischen Größen aus Fernerkundungsdaten zu fordern ist. Der Zusammenhang zwischen  $r_{iBk}$  und der gesuchten objektspezifischen Größe muß empirisch (z. B. durch Regressionsansätze) ermittelt oder aber aus Modellen theoretisch abgeleitet werden.

Als Beispiel für die letztere Vorgehensweise wird nachfolgend die Herleitung einer Relation zwischen  $r_{iBk}$  und der Tiefe  $z_b = T$  eines Gewässers skizziert. Ausgehend von diffusen Streuungsverhältnissen im Wasserkörper und am Gewässerboden beschreibt der Ansatz

$$(8) \quad \begin{aligned} dE_d &= (-f(z) dE_d) dz && \text{(abwärtsgerichtet)} \\ -dE_u &= (-f(z) dE_u) dz && \text{(aufwärtsgerichtet)} \end{aligned}$$

näherungsweise das Strahlungsfeld im Wasserkörper. Die Randbedingungen sind

$$(9) \quad \begin{aligned} E_d(z=0) &= E_{d0}, \\ E_u(T) &= R_B E_d(T), \end{aligned}$$

wobei  $f$  eine Dämpfungsfunktion und  $R_B$  der Reflexionskoeffizient des Gewässerbodens ist. Mit dem Reflexionskoeffizient des Wasserkörpers

$$R_w = \lim_{z \rightarrow \infty} E_u(z) / E_d(z)$$

erhält man für die aufwärtsgerichtete Strahlung direkt unter der Wasseroberfläche den Ausdruck

$$(10) \quad E_u(0) = E_{d0} \left\{ R_w + (R_B - R_w) e^{-(aT+bT^2)} \right\},$$

wenn für  $f$  z. B. eine lineare Funktion angesetzt wird. Berücksichtigt man noch die Transmission  $\tau_w$  der Wasseroberfläche und die an der Wasseroberfläche nach außen reflektierte Strahlung  $E_w$ , so erhält man direkt über der Wasseroberfläche

$$E_{u0}(0) = \tau_w E_u(0) + E_w.$$

Bildet man nun das abgeleitete Merkmal  $r_{iT}$  aus den Meßwerten  $M(T)$ ,  $M(T=0)$  und  $M(T \rightarrow \infty)$ , so ergibt sich

$$(11) \quad r_{iT}(T) = \frac{M(T) - M(T \rightarrow \infty)}{M(0) - M(T \rightarrow \infty)} \frac{R_{BT} - R_W}{R_{BO} - R_W} e^{-(aT + bT^2)}$$

Sind weiterhin die Reflexionskoeffizienten  $R_{BT}$  und  $R_{BO}$  des Gewässerbodens an den Meßstellen für  $T$  und  $T=0$  identisch, so wird mit

$$(12) \quad aT + bT^2 = -\ln \frac{M(T) - M(T \rightarrow \infty)}{M(0) - M(T \rightarrow \infty)}$$

eine für das Modell gültige Regressionsbeziehung erhalten, wobei die mit der vertikalen Schwächungsfunktion in Zusammenhang stehenden Parameter  $a$ ,  $b$  z. B. aus zwei "Eichtiefen" bestimmbar sind.

Die Beziehung (12) wurde auf einem 500 m langen Profil an der Ostseeküste unter Verwendung von Luftbildaufnahmen gegenüber echographischen Tiefenbestimmungen überprüft. Dabei ergab sich im Bereich zwischen 1 m und 5 m Wassertiefe eine mittlere Abweichung von  $\pm 0,1$  m und eine maximale Abweichung von  $+0,6$  m.

Die skizzierte Methodik der an die Meßwertbildung anknüpfenden Herleitung von abgeleiteten fernerkundungsspezifischen Merkmalen, die unabhängig von einer Reihe von Aufnahmebedingungen sind, erfordert im Prinzip keine Zusatzinformationen zu den Fernerkundungsdaten. Für praktische Anwendungen können in den meisten Fällen zeitlich hinreichend unveränderliche Referenzobjekte wie z. B. Wege, Straße, versiegelte Flächen und dichte Bebauung ohne Vegetation, z. T. auch Wasserflächen u. a. dienen. Aus den Betrachtungen geht hervor, daß zur Untersuchung eines möglichen gesetzmäßigen Zusammenhangs  $y=f(x)$  zwischen objektspezifischen Merkmalen ( $y$ ) und Fernerkundungsdaten aus den letzteren gebildete abgeleitete Merkmale ( $x$ ) herangezogen werden sollten. Falls keine so einfachen Modelle wie das für die Wassertiefenbestimmung aufgestellt werden können, ist zu empfehlen, graphische Darstellungen des Zusammenhangs vorzunehmen, wobei für  $x$  bzw.  $y$  auch unterschiedliche Maßstäbe (z. B. exponentiell, logarithmisch usw.) angesetzt werden können.

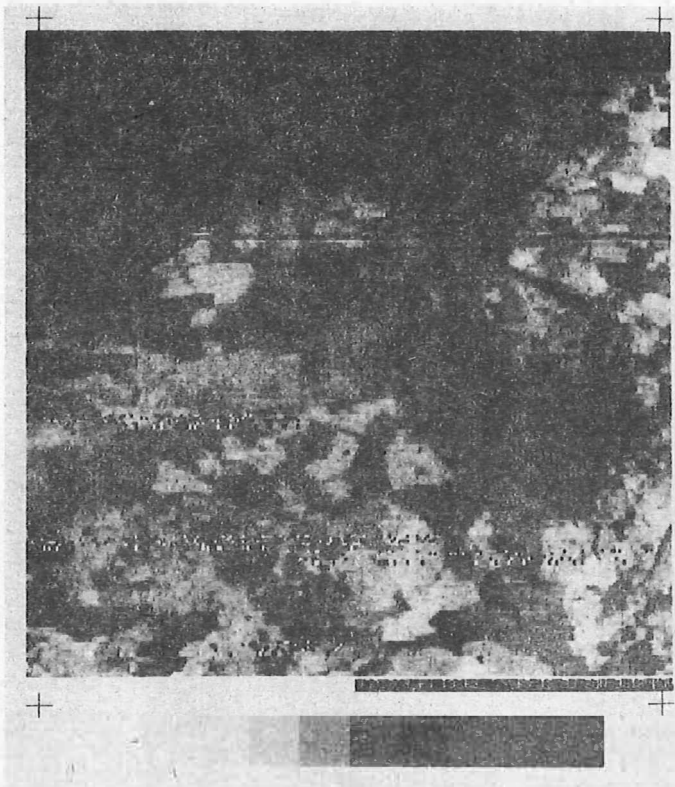


Abb. 1: Darstellung des abgeleiteten Merkmals  $\Gamma_{iBk}$  für die visuelle Auswertung eines Ausschnitts aus der FRAGMENT-Aufnahme F 4881 vom 13. 5. 1981 (K4: 0,8 - 1,1  $\mu$ m). Das Stadtgebiet von Rostock befindet sich in der Mitte der rechten Bildhälfte.

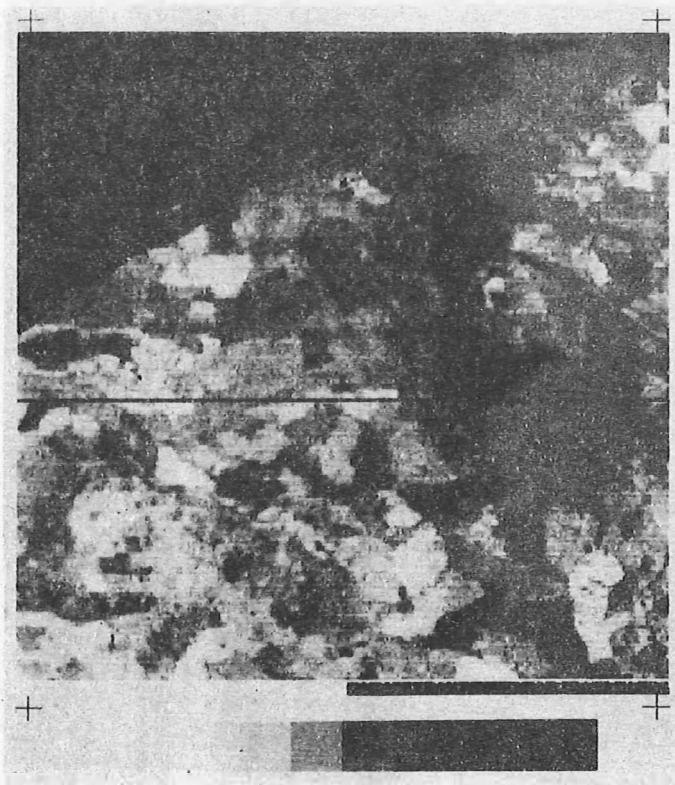


Abb. 2: Darstellung von  $\Gamma_{iBk}$  für das gleiche Gebiet aus der Aufnahme F 4985 vom 20. 5. 1981 (K4). Die fortgeschrittene Begrünung des städtischen Umlandes wird an der Zunahme heller Tönungen in der linken unteren Bildhälfte besonders deutlich.



Zur Ableitung von Merkmalen aus Powerspektren für die  
 Textur- und Strukturerkennung von natürlichen und  
 künstlichen Objekten

---

R. SÜLLNER, K. SCHMIDT, M. PRENA

Akademie der Wissenschaften der DDR  
 Zentralinstitut für Physik der Erde

**Z u s a m m e n f a s s u n g :**

Es werden zwei Schnellverfahren zur Analyse von Powerspektren vorgestellt. Das erste Verfahren prüft die nachgewiesene Textur bzw. Struktur auf isotropes bzw. anisotropes Verhalten. Mit Hilfe einer speziellen Empfängergeometrie (im Powerspektrum umlaufender Keil) wird zunächst ein Profil der normierten Intensitätssummen berechnet, aus dem die Extremwerte zu einem Kontrastmaß verknüpft werden. Der für ein Profil charakteristische Kontrastwert wird mit einem Schwellwert verglichen. Im Fall einer Überschreitung wird die Textur bzw. Struktur als anisotrop ausgewiesen.

Das Ziel des zweiten Verfahrens besteht in der Ermittlung von Merkmalen für die Anzahl und Schärfe der Ausprägung von Vorzugsrichtungen und -ortefrequenzen im Powerspektrum. Ausgangspunkt sind normierte Intensitätsprofile, die entweder mit einer Ring- oder Keilempfingergeometrie ermittelt werden. Im Gegensatz zur Keilgeometrie werden bei der zuerst genannten Methode unter Ausblendung des Mittanmaximums Ringe von innen nach außen über das Powerspektrum geführt. Die Methode selbst besteht in einem statistischen Vergleich benachbarter Profilintensitätswerte mit Hilfe des t-Tests. Dieser entscheidet, ob die in den Ring- und Keilprofilen auftretenden Sprünge auf einem bestimmten Niveau signifikant sind und die vorhandenen Vorzugsrichtungen und -ortefrequenzen als scharf ausgeprägte Merkmale klassifiziert werden.

Summary

Two fast-operating methods for power spectra analysis are presented. The first one checks the detected texture or structure for isotropic or anisotropic behaviour. By means of a special receiver geometry (a sector circulating the power spectrum) first a profile of the normalized sums of intensity is computed. The extreme values are derived from the profile and are combined to a contrast measure. The characteristic value for the profile given is compared with a threshold value. In case of exceeding the threshold value the texture or structure is classified as anisotropic.

The second method aims at the extraction of features for the number and sharpness of predominant directions and frequencies in Powerspectra. The starting-point are the normalized profiles of intensity which are computed by means of either a ring-shaped or a sector-shaped receiver geometry. Unlike the sector-shaped geometry, the first mentioned geometry operates with rings moving over the Powerspectrum from its inner parts (eliminating the centre maximum) to its outer parts. The procedure continues with a statistical comparison of neighbouring intensity values by means of the t-test. This test decides whether the "jumps" appearing in the profiles may be described as significant at a certain level of confidence, i. e. the existing predominant directions and frequencies may be classified as distinctly marked features.

### Резюме

Представлены два метода быстрого анализа спектров мощности. Первым методом выявление текстуры и /или/ структуры делится на изотропные или анизотропные. С помощью специального геометрического метода вычисления (движущийся по спектру мощности клин) вначале устанавливается вид кривой нормированных сумм интенсивностей. Значения экстремумов этой кривой используются далее для вычисления значения контраста. Это характерно для полученной кривой значение контраста сравнивается с пороговым значением. В случае превышения порогового значения текстура и /или/ структура классифицируются как анизотропные.

Задачей второго метода является определение признаков для установления количества и четкой выраженности преобладающих направлений и пространственных частот в спектре мощности. Исходным пунктом являются нормированные кривые интенсивности, которые определяются с помощью геометрических методов кольца или клина. В противоположность клиновому геометрическому методу, при кольцевом приеме вычисления происходит наложение колец на спектр мощности, начиная с внутренних его частей (исключая центральный максимум), по направлению к наружным частям. Сам метод заключается в статистическом сравнении соседних значений кривой интенсивности на основе критерия Стьюдента. С его помощью решается, являются ли на определенном уровне значимыми скачки, появляющиеся на "кольцевых" и "клиновых" кривых, и можно ли классифицировать преобладающее направление и пространственную частоту как имеющие четко выраженный характер.

**Textur- und Strukturanalysen in Bildebenen haben gegenüber den spektralen Objekteigenschaften den Vorteil, bzgl. Schwankungen in der Objektwiedergabe, wie zum Beispiel:**

- unterschiedliche Beleuchtungsbedingungen (Sonnenstand, Wolken),
- Blickwinkel sowie
- Neigung und Inhomogenitäten des Terrains

weitgehend invariant zu sein.

Unter Textur- und Struktur soll in diesem Zusammenhang die flächenhafte Verteilung der Grauwerte mit Periodizitäten und gegenseitigen Abhängigkeiten innerhalb der interessierenden Bildbereiche verstanden werden, wobei je nach dem Grad und Ausmaß der Regelmäßigkeit der Anordnung der einzelnen Komponenten (Elemente = Primitive) von einer Textur bzw. Struktur gesprochen wird. Für beide Begriffe gibt es verschiedene mathematische Ansätze zu ihrer Beschreibung. Die Ableitung von Merkmalen aus Texturen und Strukturen im Ortsraum, also im Originalbild, war Gegenstand einiger Vorträge und Publikationen auf den Fernerkundungskonferenzen in Weimar und Leipzig. Die Ergebnisse befinden sich in der entsprechenden Literatur. Mit der Extraktion von Merkmalen aus dem Frequenzraum soll sich dieser Vortrag befassen.

Bekanntlich haben Integraltransformationen, und dazu gehört die Fouriertransformation, den Vorteil, Textur- und Struktureigenschaften lageunabhängig bestimmen zu können. Beim Leistungs- oder Powerspektrum<sup>1)</sup> liegen die Ortsfrequenzen des Gleichanteils im Mittelpunkt, die höheren Ortsfrequenzen befinden sich in größerem Abstand vom Mittelpunkt. Beeinflusst werden die abgeleiteten Merkmale durch die Wahl geeigneter Radial- und Winkelsegmente der einzelnen Frequenzwertebereiche. Wird die Fouriertransformation numerisch, also nicht auf optischem Wege mit speziellen Vorrichtungen, realisiert, treten Störeffekte durch die endlichen Bildbereichsgrenzen auf. Diese störenden Frequenzanteile im Powerspektrum lassen sich durch Multiplikation des Bildausschnitts mit speziellen Gewichtsfunktionen unterdrücken. Als Beispiele seien genannt das Hemming- und das von-Hann-Fenster. Ohne näher darauf einzugehen, sollen im folgenden zwei Verfahren der Merkmalextraktion aus dem Powerspektrum vorgestellt werden, die sich alle durch relativ einfache und schnelle Algorithmen realisieren lassen.

1) welche mathematisch über folgende Beziehung zusammenhängt:

$$(1) |F(u,v)|^2 \text{ wobei } F(u,v) = \int_{-B}^{+B} \int_{-B}^{+B} f(x,y) e^{-2\pi i f_x x + 2\pi i f_y y} dx dy$$

Unter Voraussetzung, daß bei den Objekten eine Textur bzw. Struktur vorhanden ist, soll im ersten Verfahren untersucht werden, ob sie isotrope oder anisotrope Eigenschaften besitzen. Dies würde z. B. eine Aussage darüber gestatten, ob die Textur oder Struktur ausgeprägte linienhafte Elemente enthält. Praktisch verfährt man so, daß zuerst eine bestimmte Empfängergeometrie über das Powerspektrum gelegt wird und zwar die in der Literatur bekannte Keilgeometrie, bei der ein Sektor mit definierten Abmessungen (Winkel) eine halbe Umdrehung im Spektrum bewegt wird und dabei in jedem Winkelsegment die Grauwerteintensitätssummen berechnet werden. Nach anschließender Normierung auf die Anzahl Grauwerte in jedem Keilsegment entsteht so ein charakteristisches Profil. Aus seinem Verlauf werden die beiden globalen Extremwerte ermittelt und zu einem Kontrastmaß  $D$  verknüpft:

$$(2) \quad D = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad \text{wobei} \quad D = \text{Kontrastmaß} \quad \begin{array}{l} I_{\max} = \text{Maximum im Profil} \\ I_{\min} = \text{Minimum im Profil} \end{array}$$

Der Test auf Isotropie bzw. Anisotropie besteht im Vergleich des berechneten Kontrastmaßes  $D$  mit einem Schwellwert  $D_E$ , wobei im Fall

$D < D_E$  die Textur/Struktur isotrop, im Fall

$D > D_E$  anisotrope Eigenschaften besitzt.

Problematisch dabei ist die Wahl des Schwellwertes, mit dem das Kontrastmaß verglichen wird. Der Wert 0,2 wurde heuristisch aus der Überlegung abgeleitet, daß die beiden Objektarten gesunder und geschädigter Wald voneinander trennbar sein sollten und das Objekt Wasser als isotrop im Sinne der obigen Definition gilt. Die Ergebnisse für fünf sehr unterschiedliche Objekte zeigen, daß die Kreieringe und ein Ausschnitt des Atlantischen Ozeans isotrope Texturen aufweisen, die Objekte Wiesen, Autobahnunterführung und Brücke wegen ihrer linienhaften Elemente anisotrope Texturen. Wenn man die Frage nach der Isotropie von Texturen bzw. Strukturen beantwortet hat, kann man in einem zweiten Verfahren untersuchen, wie man die im Powerspektrum enthaltenen Vorzugsrichtungen und -ortsfrequenzen klassifizieren und so eine Aussage über die Schärfe der Ausprägung dieser Merkmale erhalten kann. Ausgangspunkt des Verfahrens ist auch in diesem Fall nicht das Powerspektrum selbst, sondern die Ring- und Keilintensitätsprofile, die mit Hilfe von entsprechenden Empfängergeometrien vorher berechnet werden müssen. Die Empfängergeometrien zerlegen das Powerspektrum in charakteristische Segmente, in denen bestimmte mathematische Berechnungen ablaufen. Im Falle der Keilgeometrie wird, wie schon erwähnt, ein vorher definierter Keil in einem Umlauf über das Powerspektrum bewegt. Bei Verwendung von Ringen als Empfängergeometrien werden definierte Ringe vom Mittelpunkt des Spektrums nach außen geführt, wobei der Startring unmittelbar an das (auszublenkende) Mittenmaximum anschließt und der letzte, äußere Ring durch die Abmessungen des Spektralfensters gegeben ist. In beiden Fällen werden in den einzelnen Ring- und Keilsegmenten die Grauwerteintensitätssummen ermittelt und auf die Anzahl Grauwerte normiert. Nach Berechnung der Ring- und Keilprofile erfolgt die Analyse ihrer charakteristischen Verläufe, insbesondere der Maxima und Minima sowie ihrer Zuordnung zu den im Powerspektrum enthaltenen Vorzugsrichtungen und -ortsfrequenzen. Es geht also um Ableitung solcher Merkmale, die die Ausprägung und Schärfe der Vorzugsrichtungen und -ortsfrequenzen bewerten. Dazu werden jeweils direkt benachbarte Ring- bzw. Keilsegmente miteinander verglichen. Dies geschieht mit Hilfe des in der Statistik bekannten t-Tests, welcher Mittelwerte aus zwei Stichproben mit möglichst gleichem Umfang auf das Vorhandensein signifikanter oder zufälliger Unterschiede prüft. Dieser Test ist im vorliegenden Fall deshalb anwendbar, da jeder Wert im Profil einen Grauwertmittelwert darstellt und ferner die Varianzen der Grauwertverteilungen in den Ringen und Keilen bekannt sind.

Aus den Angaben der Mittelwerte, der Varianzen und der Stichprobenumfänge wird eine Prüfgröße (PG) berechnet, die mit einer Testgröße (TG), (d. h. dem Wert der Student-Verteilung) verglichen wird. Die Testgröße ist tabelliert und hängt vom Freiheitsgrad (FG) und dem Signifikanzniveau  $\alpha$  (oder Irrtumswahrscheinlichkeit) ab. Erste Größe wird gleichfalls aus den Angaben der Profile berechnet, letztere hingegen vorgegeben (10 %, 5 %, 1 %). Je nach Ausgang des Tests, d. h.

$$PG < TG (\alpha)$$

oder

$$PG > TG (\alpha)$$

wird gegen oder für die Annahme der Nullhypothese entschieden, die besagt, daß beide Stichproben zur gleichen Grundgesamtheit gehören. Auf die Ring-Keilprofile übertragen heißt das, daß die Unterschiede benachbarter Intensitätswerte nur zufällig sind, entsprechende Maxima in den Profilen den Charakter von Schwankungen besitzen. Im Fall  $PG > TG (\alpha)$  sind die Differenzen der Intensitätswerte signifikant, im Profilverlauf treten "Sprünge" auf, entsprechende Maxima tragen ausgeprägten Charakter. Die Prüfgröße ergibt sich nach:

$$(3) \quad PG = (x_i - x_{i+1}) / \sqrt{s_i^2/n_i + s_{i+1}^2/n_{i+1}}$$

der Freiheitsgrad FG zur Bestimmung der Testgröße auf dem vorgegebenen Niveau nach:

$$(4) \quad FG = \frac{(s_i^2/n_i + s_{i+1}^2/n_{i+1})^2}{\frac{(s_i^2/n_i)^2}{n_i-1} + \frac{(s_{i+1}^2/n_{i+1})^2}{n_{i+1}-1}}$$

$x_i, x_{i+1}$  - jeweils benachbarter Intensitäts(mittel)werte von Ring- oder Keilprofilen

$s_i, s_{i+1}$  - Varianzen von  $x_i$  und  $x_{i+1}$

$n_i, n_{i+1}$  - Stichprobenumfänge benachbarter Ringe bzw. Keile sind.

Für den Test in den Ringprofilen ergibt sich die Forderung nach direkt benachbarten Segmenten zwingend, da der t-Test annähernd gleiche Stichprobenumfänge  $n_i$  und  $n_{i+1}$  vorschreibt, was nur im Fall nebeneinander liegender Ringe einigermaßen erfüllt wird. Bestehen die Profile aus  $n$  Intensitätswerten, lassen sich nach dieser Methode  $(n-1)$  benachbarte Ring-Keilkombinationen untersuchen. Da die Länge der Profile unterschiedlich sein kann, wurde der besseren Vergleichbarkeit wegen die Anzahl der signifikanten Segmente auf ihre maximal mögliche Zahl, also  $(n-1)$  bezogen. Diese Größen werden im folgenden als relevante Anzahl (oder prozentualer Anteil) signifikanter Ring- bzw. Keilkombinationen bezeichnet ( $n_{R1}, n_{Se}$ ). In Tabelle 1 sind die Werte für  $n_{R1}$  und  $n_{Se}$  auf der Basis des t-Tests für das 5 % Signifikanzniveau zusammengestellt. Untersucht wurden die Profile von 19 Powerspektren.

Bei der Interpretation der in den Profilen nachgewiesenen signifikanten Ring-Keilkombinationen wurde festgestellt, daß ihre Lage und Häufung dazu genutzt werden können, verschiedene Formen von Profilmaxima zu beschreiben. Bezüglich der Schärfe ihrer Ausprägung kann man drei Arten von Ortsfrequenzen und Vorzugsrichtungen unterscheiden:

- scharfe ausgeprägte Merkmale (a), die durch zwei direkt aufeinanderfolgende Sprünge mit entgegengesetztem Vorzeichen charakterisiert sind,
- breite ausgeprägte Merkmale (b), bei denen zwei Sprünge mit entgegengesetztem Vorzeichen auftreten, die jedoch nicht aufeinanderfolgen,

- ausgeprägte Merkmale (c), die im Maximum eine signifikante Ring-Keilkombination besitzen.

Allen drei Merkmalen ist demnach gemeinsam, daß ihre Profimaxima jeweils mindestens eine signifikante Ring-Keilkombination enthalten. In allen Fällen von (a), (b) und (c) können darüber hinaus weitere Sprünge an den Flanken der Maxima auftreten, was aber auf die Zuordnung der drei Merkmale keinen Einfluß hat. An Hand der 19 Bearbeitungsbeispiele wurden die in den Profilen vorhandenen Maxima in die drei Merkmalsgruppen eingeordnet. Das Ergebnis dieser Analyse ist für Ring-Keilprofile getrennt in den Spalten (a), (b) und (c) der Tabelle 1 dargestellt.

Beim Vergleich zwischen Ring-Keilprofilen fällt auf, daß in den ersten bis auf zwei Ausnahmen (Kreieringe und Testmire) keine scharfen und breiter ausgeprägten Ortsfrequenzen auftreten, sondern nur Merkmale der Gruppe (c). Demgegenüber trifft man bei den Keilprofilen alle drei Merkmale an. Dies legt den Schluß nahe, daß die meisten der hier untersuchten Bearbeitungsbeispiele vor allem durch die in ihnen enthaltenen Vorzugerichtungen bestimmt sind, weniger hingegen durch ihre Ortsfrequenzen. Besonders trifft dies für die natürlichen Objekte Autobahnunterführungen, Wiesen und Wohngebiete zu. Die fünf künstlichen Objekte stellen im Ortsraum charakteristische Texturen dar. So enthalten die Gittertextur, die vernetzte und verschlungene Textur ausgeprägte Vorzugerichtungen, während die Kreieringe durch scharfe Ortsfrequenzen charakterisiert sind. Bei der Beurteilung der Methode muß insgesamt beachtet werden, daß sie nur Merkmale aus dem Powerspektrum ableitet, die im oben beschriebenen Sinne ausgeprägtes Verhalten zeigen, d. h. die Signifikanz benachbarter Ring-Keilsegmente muß erfüllt sein. Beispiele, wo im Powerspektrum rein visuell Ortsfrequenzen erkennbar, mit der Methode jedoch nicht nachweisbar und klassifizierbar sind, liefern die Gittertextur sowie die vernetzte und verschlungene Textur.

Abschließend soll noch gezeigt werden, wie man aus den Ring- und Keilprofilen weitere Merkmale ableiten und diese grafisch darstellen kann. Da jeder Wert in einem Profil mit einem Mittelwert, der dazugehörigen Varianz und Stichprobenumfang gleichzusetzen ist, lassen sich formal die sogenannten gewogenen statistischen Größen ableiten. Für das gewogene Mittel ergibt sich

$$(5) \quad \text{GEWOG} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i x_i / \sigma_i^2}{\sum_{i=1}^k n_i / \sigma_i^2}$$

die gewogene Varianz lautet:

$$(6) \quad \text{GVAR} = \frac{\sum_{i=1}^k (n_i - 1) \sigma_i^2}{n-k}$$

$x_i$ ,  $\sigma_i$  und  $n_i$  wurden bereits geklärt,  $n$  ist die Summe aller Stichprobenumfänge, demnach die Summe aller Bildelemente, während  $k$  die Anzahl der einzelnen Mittelwerte bzw. die Länge der Ring- und Keilprofile angibt. Aus beiden statistischen Größen läßt sich der relative gewogene Variationskoeffizient  $\gamma$  bestimmen, so daß sich jedes Ring- bzw. Keilprofil durch einen einzigen Wert charakterisieren läßt. Trägt man die so ermittelten Werte für einige der 19 Bearbeitungsbeispiele in einem Diagramm (Abb. 1) gegeneinander auf, erkennt man auf den ersten Blick zwei Gruppierungen, die deutlich voneinander getrennt liegen. Die obere Gruppierung steht für die Objekte mit den ausgeprägtesten Vorzugerichtungen, während die untere Ballung Objekte kennzeichnet, die sowohl Vorzugerichtung als auch Ortsfrequenzen im Powerspektrum besitzen. Allerdings darf man nicht vergessen, daß jeder Punkt in diesem Merkmalsdiagramm die äquivalenten Werte für jeweils nur eine Operationseinheit wiedergibt und man für eine statistische Aussage mehrere Operationseinheiten aus einer gewissen Umgebung des Objektes (im Ortsraum) benötigt. Erst dann stellt jedes Objekt eine selbständige Gruppe dar, die nach Anwendung geeigneter Clusterverfahren zu weiteren Gruppierungen zusammengefaßt werden können.



Tabelle 1: t-Test für Ring- und Keilprofile ( $\alpha = 5\%$ )

Objektname	$n_{Ri}$ in %	Anzahl der Merkmale			$n_{Se}$ in %	Anzahl der Merkmale		
		(a)	(b)	(c)		(a)	(b)	(c)
1) 2)								
Gitter	7	-	-	1	53	4	-	-
vernetzt	2	-	-	-	81	5	-	3
verschlungen	2	-	-	-	44	2	-	4
Testmire	36	1	1	2	19	-	-	4
scharfe Kreisringe	70	4	-	3	3	-	-	1
1) 3)								
Wald	15	-	-	1	3	-	-	-
Ozean	32	-	-	-	14	-	-	3
Autobahnkreuz	9	-	-	-	14	2	-	-
Acker	18	-	-	2	14	2	-	-
3) 4)								
Wiesen mit Begrenzung	-	-	-	-	67	6	-	2
Apfelplantage	9	-	-	1	36	2	-	3
Wald mit Straße	3	-	-	-	22	2	-	1
Wald	10	-	-	2	17	1	1	-
Autobahnunterführung	5	-	-	-	56	5	-	2
Brücke über Fluß	5	-	-	1	31	1	2	-
Fluß	9	-	-	4	19	2	-	-
Potsdam Stadtgebiet	10	-	-	3	44	3	1	2
Wald gesund	12	-	-	3	6	-	-	2
Wald geschädigt	3	-	-	-	19	-	2	1

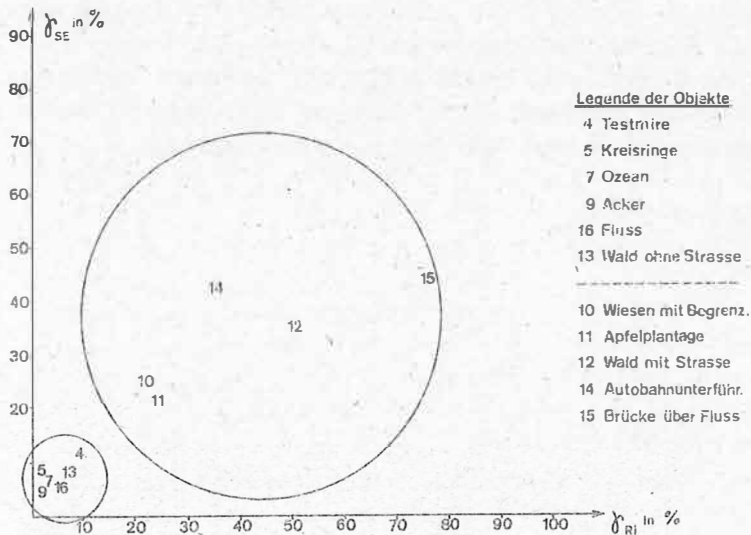


Abb. 1:  
Zusammenhang zwischen  
gewogenem Profilvaria-  
tionskoeffizienten für  
die Ringgeometrie ( )  
und dem für die Keil-  
geometrie ( )

Legende: 1) Powerspektren, fotogr. erzeugt; 2) künstl. Objekte; 3) natürl. Objekte;  
4) Powerspektren, numerisch erzeugt (mit Algorithmus FFT 128)

Beitrag zur Analyse von Fernerkundungsdaten im Sub-Pixel-Bereich

H. WIRTH, G. SCHILBACH, A. WIRTH

Akademie der Wissenschaften der DDR  
Zentralinstitut für Physik der ErdeZusammenfassung

Mit Hilfe eines neu entwickelten interaktiven überwachten Clusterverfahrens können Pixel als Mischpixel klassifiziert und es kann festgestellt werden, welche elementaren Klassen an ihrer Bildung beteiligt sind. Aufbauend auf diesen Informationen können aus Multispektraldaten die Mischpixelinformationen in die prozentualen Anteile ihrer elementaren Komponenten zerlegt werden. Am Beispiel einer Nutzflächenanalyse wird gezeigt, daß der zusätzliche thematische Informationsgewinn durch eine bessere Differenzierung komplizierter Nutzflächenklassen in vielen Fällen bedeutend ist.

Summary

A newly developed interactive supervised clustering algorithm is used for the determination of mixed pixels in multispectral remote sensing data. At the same time, the elementary classes participating in these mixed pixels are determined. Based on this information, the percentages of elementary components are calculated. An example of land use analysis demonstrates the possibilities of the derivation of additional thematical information according to the deeper differentiation of complicated land use classes.

Резюме

С помощью нового классификационного алгоритма интерактивной кластеризации ДЗЗ элементы изображения распознаются как смешанные по тематическому содержанию пиксели и определяются элементарные классы, участвующие в образовании смешанных пикселей. Исходя из этих информации вычисляются процентуальные вклады элементарных составляющих для смешанных пикселей. Приведенный пример анализа землепользования показывает, что на основе улучшенного анализа сложных классов землепользования вырабатывается значительная дополнительная тематическая информация.

## 1. Zur Entstehung von Mischpixeln

Die Existenz von Mischpixeln ist in Zusammenhang mit der digitalen Bildverarbeitung und der Auswertung von Fernerkundungsdaten eine allgemein bekannte Tatsache (SCHNEIDER (1979), BODECHTEL (1979), WIRTH, SCHILBACH, WEICHEL (1981)). Sie entstehen bei der analog-digitalen Bildwandlung durch die Notwendigkeit der Verwendung eines Sensor-meßfleckes mit nicht verschwindendem Flächeninhalt, der sogenannten Integrationsfläche des Bildwändlers bzw. das momentane Blickfeld eines Fernerkundungsscanners. Die innerhalb der Integrationsfläche in der zu wandelnden Szene örtlich vorhandenen Transparenz-, Remissions- und Emissionsunterschiede sind nach der Digitalisierung nicht mehr örtlich zu rekonstruieren, so daß diesbezüglich in dem gewonnenen Meßwert eine Mischinformation vorliegt. Man bezeichnet das digitalisierte Bildelement als Pixel und unterscheidet bezüglich des Informationsgehaltes so Pixel von homogenen Elementen in der Szene, die elementaren Pixel, von Pixeln inhomogener Bildelemente, den Mischpixeln oder MIXEL.

Bei den gegenwärtig angewendeten Methoden der rechnergestützten Analyse von Fernerkundungsdaten, wie z. B. bei Landnutzungsklassifizierungen, wirken sich die Mischpixel störend auf die Zuordnungsregeln aus und bewirken bedeutende Anteile an Fehlklassifikationen bzw. Rückweisungen von Pixeln. Vielfach werden die Mischpixel als begrenzendes Element für die Gewinnung praxisrelevanter Auswertergebnisse angesehen und daraus Forderungen nach immer besserer Bodenauflösung von Fernerkundungsscannern abgeleitet.

## 2. Methodik der Analyse von Mischpixeln

Für eine Reihe geowissenschaftlicher Probleme ist es aber völlig ausreichend, wenn ein Areal durch seine Inventarbestandteile unabhängig von der konkreten Lage derselben im Areal charakterisiert werden könnte. So sind z. B. für siedlungsgeographische Fragestellungen (KRÖNERT u. a. 1985) die prozentualen Anteile elementarer Objekte innerhalb einer Flächeneinheit genau die Informationen, die eine Einordnung der Flächen in solche Klassen wie Stadtkern, dichte Bebauung, Industriegebiet, Stadtgrün usw. ermöglichen. Zur Erläuterung sei einmal angenommen, daß in einem Bildelement solche elementaren Klassen wie Gebäudedächer (20%), Asphaltstraße (15%), Baumkronen (10%) und Rasenflächen (55%) vorhanden sind. Die Zusammensetzung (Abbildung 1) ist typisch für eine lockere Bebauung in städtischen Randzonen, z. B. Reihenhaussiedlung.

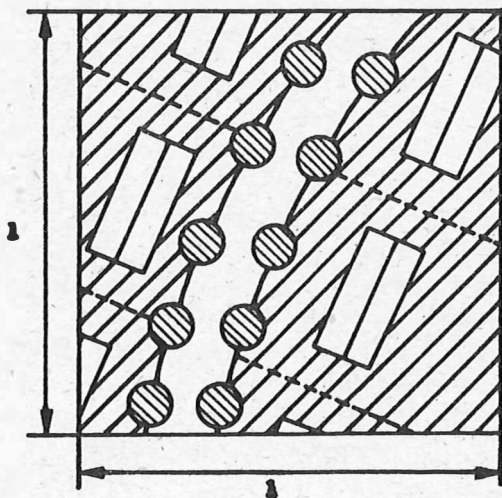


Abb. 1: Lockere Bebauung (Reihenhaussiedlung) als Mischung aus den Elementarklassen  
 (1) Gebäudedächer,  
 (2) Asphaltstraße,  
 (3) Baumkronen und  
 (4) Rasenflächen.

Die einzelnen elementären Klassen ( $i$ ) werden durch ihre mittleren, von der Lichtwellenlänge ( $\lambda$ ) abhängenden Remissionskoeffizienten  $\bar{R}_{i\lambda}$  charakterisiert. Der gemessene Mischreflexionskoeffizient  $\bar{R}_\lambda$  des Flächenelementes  $F = 1^2$  ergibt sich durch Linearkombination der  $\bar{R}_{i\lambda}$  (ITTEN (1979), SÜLLNER (1985)) in der allgemeinen Form

$$(1) \quad R_\lambda = \sum_{i=1}^N a_i \bar{R}_{i\lambda} ,$$

wobei  $a_i$  der gesuchte effektive prozentuale Flächenanteil der Klasse  $i$  in  $F$  ist. Als Nebenbedingung gilt so

$$(2) \quad 100 = \sum_{i=1}^N a_i .$$

Für verschiedene Spektralbänder  $\lambda_i$   $i = 1, 2, \dots; K$  stellen (1) und (2) ein Gleichungssystem von  $K+1$  Gleichungen dar und als Lösbarkeitsbedingung ergibt sich sofort  $N \leq K+1$ . Das bedeutet, daß bei Messungen in einem einzigen Spektralband nur Mischpixel bestehend aus 2 Komponenten analysiert werden können, bei 6 Spektralbändern (z. B. MKF-6) sind noch Mixel mit bis zu 7 verschiedenen Komponenten analysierbar.

Wesentlich für die Mischpixelanalyse ist, daß folgendes festgestellt werden kann:

1. Das vorliegende Pixel ist ein Mischpixel.

2. An der Mischung sind die Klassen X, Y, Z, ... beteiligt.

Diese Feststellungen sind als Hypothese aufzufassen, die abgelehnt werden muß, falls mindestens eines der berechneten  $a_i$  negativ ist.

Die Grundlagen für die Aufstellung der Hypothese können z. B. durch die Anwendung des Manuellen Clusterverfahrens auf elementare Etalonobjekte (SCHILBACH, WIRTH (1985)) geschaffen werden. Durch dieses Verfahren wird für jedes Pixel entschieden, ob es ein Mischpixel ist oder nicht; wenn ja - angegeben, welche Etalonobjekte an der Mischung beteiligt sind. Bei der auf das 1-Byte-Format orientierten digitalen Bildverarbeitung können 8 verschiedene elementare Klassen und alle möglichen aus ihnen kombinierbaren Elemente behandelt und eindeutig kodiert werden. Als Kodezahlen stehen für die elementaren Klassen die Zahlen 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 zur Verfügung. Die erforderlichen mittleren Remissionskoeffizienten  $\bar{R}_{i\lambda}$  für die Lösung des Gleichungssystems werden durch statistische Analyse der Cluster der elementaren Etalonobjekte als Schwerpunktkoordinaten der Cluster bestimmt (s. Abbildung 2). Falls wie im Beispiel der Abbildung 2 das Gleichungssystem für  $a_1$  und  $a_2$  überbestimmt ist, können die  $a_i$  durch lineare Ausgleichung berechnet werden. Bei der Bewertung einer Ausgleichungslösung ist zu beachten, daß die Bedingung (2) nicht immer streng erfüllt sein wird. Deshalb ist bei der Interpretation der Ergebnisse der Mischpixelanalyse eine gewisse Schwankungsbreite der Resultate bezüglich negativen Vorzeichens der  $a_i$  und auch einer Summe der  $a_i$  über 100 % mathematisch bedingt und dementsprechend zu berücksichtigen.

Das beschriebene Verfahren der Mischpixelanalyse ist auch ohne Vorklassifizierung mit dem Manuellen Clusterverfahren direkt als überwachtetes Klassifizierungsverfahren anwendbar. Allerdings ist dann die Anzahl der zulässigen Elementarklassen aus kleiner oder höchstens gleich  $K+1$  beschränkt. Als Ergebnis werden für jedes Bildelement wieder die prozentualen Anteile der Elementarklassen berechnet. Sofern nicht nur eine der Elementarklassen mit 100 % oder nahezu 100 % ausgewiesen wird, kann auch hier eine differenzierende thematische Interpretation unterschiedlicher Mischungsverhältnisse erfolgen.

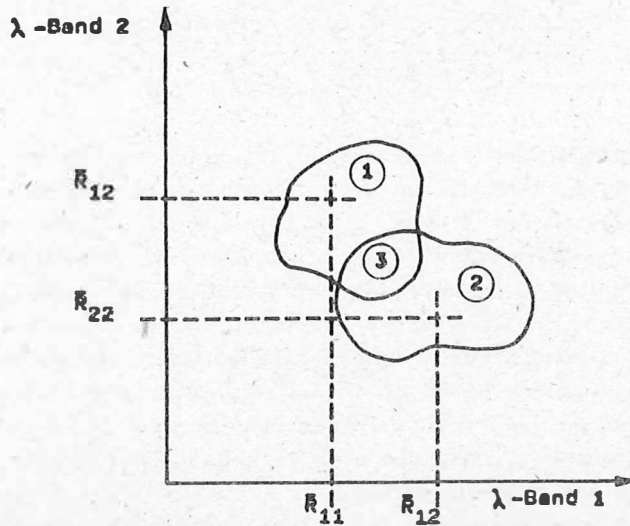


Abbildung 2: Beispiel für die Lage der Cluster zweier elementarer Klassen 1 und 2 im Merkmalsraum, die Lage der Clusterschwerpunkte und des Überlappungsbereiches der Mischpixel 3(=1+2).

### 3. Mischpixel einer Nutzflächenklassifizierung

Für die Anwendung des dargestellten Verfahrens ergeben sich, wie bereits angedeutet, zwei unterschiedliche Vorgehensweisen.

1. Falls in der zu analysierenden Szene insgesamt  $N \leq K+1$  verschiedene Elementarklassen enthalten sind, kann nach Vorgabe der  $\bar{R}_{i\lambda}$  die Berechnung der  $a_i$  vorgenommen werden. Dabei entfällt die Anwendung des Manuellen Clusterverfahrens zur Bildung von Überlappungsbereichen im Merkmalsraum. Die aus den  $\bar{R}_{i\lambda}$  gebildete Koeffizientenmatrix des Gleichungssystems (1) ist für die gesamte Szene nur einmal zu invertieren und die  $a_i$  ergeben sich aus dem Skalarprodukt der invertierten Matrix mit dem Vektor  $R_\lambda$  des zu analysierenden Pixels. Anhand des Ergebnisses können dann neben den Elementarklassen der Nutzflächen durch Gruppierung der prozentualen Anteile nach thematischen Gesichtspunkten für die Aussage relevante Mischklassen gebildet werden.
2. Falls in der Szene  $M \geq K+1$  Elementarklassen enthalten sind, sind unter thematisch relevanten Gesichtspunkten durch Festlegung der Cluster und ihrer Überlappungsbereiche die Mischpixel in der Szene und die beteiligten Elementarklassen mit Hilfe des Manuellen Clusterverfahrens zu bestimmen. Nach Vorgabe von  $\bar{R}_{i\lambda}$  der an der Mischung im Mixel beteiligten Klassen erfolgt dann die Berechnung der  $a_i$ . Dabei ist das Gleichungssystem (1) praktisch für jedes Mixel der Szene zu lösen. Die Anzahl und Art der als Mixel ausgewiesenen Pixel hängt von der Größe und Form der Überlappungsbereiche ab. Analog zum ersten Vorgehen können auch hier neben den  $M$  Elementarklassen thematisch relevante Mischklassen durch Gruppierung der Prozentanteile ausgewiesen werden.



Die erste Vorgehensweise erscheint in vielen Fällen ihrer Beschränkung auf  $N \leq K+1$  Elementarklassen wegen für die Analyse von Fernerkundungsdaten der Erde ungeeignet, da man bei den verbreitet verfügbaren Daten aus vier Spektralbändern die nicht reale Voraussetzung machen mußte, daß an der Entstehung der Szene nur maximal fünf Elementarklassen beteiligt sind.

Deshalb wurde für die Analyse der Flächennutzung in einem Ausschnitt aus der FRAGMENT-Aufnahme F 4881-1 vom 15. 5. 1981 die unter 2. beschriebene Vorgehensweise angewendet. Der bearbeitete Ausschnitt umfaßt ein ca.  $20 \times 16 \text{ km}^2$  großes Gebiet an der Ostseeküste der DDR mit der Bezirkshauptstadt Rostock im Zentrum. Die Umgebung der Hafen- und Industriestadt Rostock wird überwiegend landwirtschaftlich genutzt, Waldflächen sind nur in geringem Maße vorhanden. Die Bebauungsarten der Stadt reichen vom mittelalterlichen Stadtkern der Hansestadt mit Hafengelände über ländliche Siedlungen am Rande bis hin zu modernen großen Neubaugebieten. Als Hauptarten der elementaren Nutzflächen wurden Wasserflächen, dicht bebaute Flächen, locker bebaute Flächen, Grünflächen mit Baumbestand (Parks), unbegrünte Garten- und Ackerflächen, Waldflächen sowie grüne Land- und Ackerflächen gewählt.

In Vorbereitung der Flächennutzungsklassifizierung und Mischpixelanalyse wurden die in den Spektralbändern  $0,5-0,6 \mu\text{m}$ ,  $0,6-0,7 \mu\text{m}$ ,  $0,7-0,8 \mu\text{m}$  und  $0,8-1,1 \mu\text{m}$  aufgenommenen Scannerdaten mit einem momentanen Blickfeld von  $80 \times 80 \text{ m}^2$  einer Hauptachsentransformation unterworfen. Für die folgende Auswertung wurden nur die ersten beiden Hauptkomponenten verwendet.

Zur Bildung der Musterklassen für die genannten sieben Hauptnutzungsarten wurden die Etalonflächen 1 bis 13 interaktiv mit dem Cursor am Display ausgewählt und in der angegebenen Reihenfolge mit den Kodezahlen 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 bezeichnet. Anschließend erfolgte die Displaydarstellung des durch die ersten beiden Hauptkomponenten aufgespannten Merkmalsraumes, in der mittels Cursor die elementaren Cluster der Nutzungsklassen und deren Überdeckungsbereiche festgelegt wurden. Dabei wurde darauf geachtet, daß, entsprechend der in diesem Falle gegebenen Bedingung  $N=3$  ( $k=2$ ; 1. und 2. Hauptkomponente), die Überdeckungsbereiche nicht aus mehr als drei Elementarklassen gebildet werden.

Das Ergebnis des Manuellen Clusterverfahrens für die  $216 \times 256$  Pixel des Ausschnittes ist in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Tabelle 1: Häufigkeitsverteilung der Kodezuordnung nach dem Manuellen Clusterverfahren

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	<u>1212.</u>	<u>2536.</u>	<u>1224.</u>	52.	<u>6684.</u>	4.	1404.	12.	<u>5844.</u>	0.
10	0.	0.	4732.	0.	0.	0.	<u>9632.</u>	0.	0.	0.
20	1168.	0.	0.	0.	2420.	0.	0.	0.	528.	0.
30	0.	0.	<u>3748.</u>	0.	0.	0.	196.	0.	0.	0.
40	3852.	0.	0.	0.	84.	0.	0.	0.	0.	0.
50	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
60	0.	0.	0.	0.	<u>9112.</u>	0.	0.	0.	0.	0.
70	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
80	556.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
90	0.	0.	0.	0.	0.	0.	296.	0.	0.	0.
100	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.

Erläuterung: Zeile 30, Spalte 2 = Häufigkeit des Kodes  $30+2 = 32$ : 3748

Dabei stehen innerhalb des Rahmens die den Kodezahlen 0 bis 109 zugewiesenen Pixelzahlen. Die nichtklassifizierten, zurückgewiesenen Pixel erhielten die Kodezahl 0 (insgesamt 1212 Pixel). Die Pixelanzahl der Elementarklassen sind deuthcheithalber unterstrichen. Insgesamt sind bei der erfolgten Festlegung relativ großer Überlappungsbereiche ca. 25 % der Pixel der Szene als Mixel ausgewiesen worden. Dieser Wert dürfte bei Flächengrößen des Nutzungegefüges in der Größenordnung von 100 ha bei Aufnahmen mit dem oben angegebenen momentanen Blickfeld der Realität sehr nahe kommen.

Am häufigsten treten in dem bearbeiteten Ausschnitt Mischpixel mit der Kodezahl 12, bestehend aus den beiden Elementarklassen 4 (locker besaute Flächen) und 8 (Grünflächen mit Baumbestand), auf. Ihnen folgen dann Mixel mit dem Kode 40 aus 8 und 32 (Waldflächen) sowie mit dem Kode 24 aus 8 und 16 (unbegrünte Acker- und Gartenfläche). Der überwiegende Teil der Mixel mit dem Mischungsverhältnis 1:1 bildet einen Saum um größere geschlossene Gebiete elementarer Nutzklassen oder bildet in diesen Gebieten aus mehreren Mixeln bestehende eingeschlossene Flächen.

Die Anwendung der Mischpixelanalyse auf dieses Ergebnis weist 87 % aller Mischpixel im Ausschnitt den vorgegebenen Hypothesen entsprechend als zerlegbar aus. Als Beispiele seien die Analyseergebnisse für die Codes 12 und 3 in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Mischpixelzerlegung der Klassenkodes 12 und 3

Mischungsanteile		Pixelzahl	Pixelzahl
% a	% b	a=4 ; b=8	a=1 ; b=2
100	0	-	-
90	10	-	4
80	20	-	12
70	30	256	-
60	40	488	4
50	50	128	4
40	60	1032	-
30	70	1248	12
20	80	1036	8
10	90	544	8
0	100	-	-

Zerlegt wurden sämtliche Mischpixel dieser Codes, wobei die prozentualen Anteile in Intervallen von 10 % zusammengefaßt wurden. Die Majorität der Mixel mit der Kodezahl 12 ist demzufolge thematisch als lockere Bebauung (20 % - 40 %) mit überwiegender Flächenanteil von Grünflächen mit Baumbestand (60 % - 80 %) zu charakterisieren. Aus der Tendenz des Auftretens dieser Mixel als aus mehreren Pixeln bestehenden zusammenhängenden Flächenstücken kann gefolgert werden, daß sie eine eigenständige Nutzflächenklasse bilden.

Dem gegenüber sind die Mischpixel mit dem Kode 3 fast ausschließlich am westlichen bzw. südwestlichen Ufer der Warnow lokalisiert und in Zusammenhang mit den Hafenanlagen zu interpretieren. Sie bilden keine zusammenhängenden Flächenstücke und zeigen keinen ausgesprochenen Häufungspunkt in der prozentualen Zusammensetzung. Diese Mixel sind durch die Aufrasterung der kontrastreichen Grenzlinie zwischen dem Wasser und den dicht bebauten und versiegelten Flächen im Hafengebiet entstanden. Die aus der Mischpixelanalyse ermittelten Anteile der beiden Komponenten enthalten somit Informationen über den Verlauf der Grenzlinie innerhalb der Pixel. Aus dem Ergebnis der Mischpixelanalyse geht hervor, daß Mischungen aus zwei Elementarklassen den größten Anteil an Mischpixeln bilden. Im vorliegenden Beispiel sind nur 12 bzw. 528 Pixel der analysierten Szene den Mischkodes 7 (1+2+4) bzw. 28 (4+8+16), bestehend aus drei Elementarklassen, zugeordnet worden. Im Resultat der Klassifizierung und anschließenden Mischpixelanalyse wurden die aus zwei Komponenten bestehenden Pixel mit einem Mischungsverhältnis von ca. 1:1 als neue thematische Klassen ausgewiesen. Diejenigen Pixel, bei denen eine der Komponenten dominiert, wurden der dominanten Nutzflächenklasse zugewiesen. Insgesamt wurde damit eine tiefere thematische Gliederung der Szene ausgehend von den ursprünglich zur Belehrung verwendeten sieben Klassen in 14 thematisch relevante Klassen erreicht.

#### 4. Schlußfolgerungen

Das beschriebene Verfahren der Mischpixelanalyse ist bereits mit in wenigen Spektralbändern vorliegenden Fernerkundungsdaten anwendbar. In der Praxis treten, wie die Beispiele ergaben, Mischungen aus zwei bis drei Komponenten am häufigsten auf, so daß bereits bei 4 Spektralbändern eine Datenkompression sinnvoll ist. Durch die mit wenig Aufwand durchführbare Mischpixelanalyse werden für die thematische Auswertung wertvolle zusätzliche Informationen über die pixelinterne Zusammensetzung bereitgestellt. Dabei ist anzustreben, daß als Elementarklassen möglichst unkomplizierte und homogene Nutzflächenarten ausgewählt werden. Das beschriebene Anwendungsbeispiel zeigt, daß auch mit z. T. komplizierten Elementarklassen ein beachtlicher Informationsgewinn zu erzielen ist.

#### Literatur

- BODECHTEL, I.: Derzeitige Möglichkeiten und Grenzen automatischer Landnutzungsinterpretation; Schriftenreihe, Raumordnung des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn 1979
- ITTEN, K.: Großräumige Inventuren mit LANDSAT-Erderkundungssatelliten in der Schweiz; Habilitationsschrift, Zürich 1979
- KRÖNERT, R. u. a.: Rahmentechnologie zur Erkundung von Flächennutzungsstrukturen sowie Prinzipien zur Herstellung von Flächennutzungskarten aus Luft- und Satellitenbildern; Forschungsbericht, Institut für Geographie und Geoökologie, Leipzig 1985
- SCHILBACH, G., WIRTH, H.: Erfahrungen bei der rechnergestützten Analyse von Fernerkundungsdaten; Vermessungstechnik, Berlin 33(1985) 7, S. 221-225
- SCHNEIDER, S.: Zur Auswertung von Satellitenaufnahmen bei der Gewinnung von Flächennutzungsdaten für die räumliche Planung; Bildmessung und Luftbildwesen, 47(1979) 4, S. 179-182
- SÖLLNER, R.: Beiträge zur Automatisierung der Interpretation von Geofernerkundungsdaten Dissertation B, Potsdam 1984
- WIRTH, H., SCHILBACH, G., WEICHEL, H.: Rechnergestützte Analyse von MKF-6-Aufnahmen durch überwachte Klassifizierung; Vermessungstechnik, Berlin 28(1980) 6, S. 194-197

Zur rechnerinternen Modellierung dreidimensionaler Körper

K. OPPITZ

Akademie der Wissenschaften der DDR  
 Zentralinstitut für Physik der Erde

Zusammenfassung

Die Behandlung dreidimensionaler Gebilde in Computern erfordert u. a. geeignete mathematische Modelle und Repräsentationen, vor allem der Geometrie der Objekte, sowie Werkzeuge zur Bearbeitung der rechnerinternen Objektrepräsentation.

Mengenoperatoren (Vereinigung, Durchschnitt, Differenz) sind leistungsfähige Werkzeuge zur Gestaltung als Mengen aufgefaßter, räumlicher Objekte.

Ein an der Technischen Universität Dresden und am Zentralinstitut für Physik der Erde Potsdam entwickelter Programmmodul MOP ist eine Implementation der Mengenoperatoren für ebenflächig begrenzte, räumliche Objekte. Der Programmmodul zeichnet sich durch Universalität, kurze Operationszeiten und Portabilität (Einsatzmöglichkeit auch auf 16-Bit-Technik) aus.

Summary

Handling of rigid solid objects in computers needs suitable mathematical models and representations especially of the geometry of objects, and tools for processing object representations.

Set operators (union, intersection, difference) are powerful tools to design objects in terms of sets. The software module MOP developed at the Technical University of Dresden and at the Central Institute for Physics of the Earth is an implementation of set operators processing representations of plane face-bound objects. Special advantages of MOP are universality, short operation times and portability.

Резюме

Работа с трёхмерными объектами на ЭВМ (3D - графика) требует подходящих математических моделей и кодирования прежде всего геометрии объектов, а также соответствующих программных инструментов.

Операторы над множествами (объединение, пересечение, разность) являются эффективными средствами для обработки объектов, рассматриваемых как множества в трёхмерном пространстве.

Пакет программ, разработанный в Техническом университете г. Дрездена и в Центральном институте физики Земли АН ГДР, г. Потсдам, является реализацией операторов теории множеств для пространственных объектов, ограниченных плоскостями (полиэдры). Пакет отличается универсальностью, независимостью от конкретных ЭВМ (16 - и 32 - битовая техника) и коротким временем ответа.

## Zur rechnerinternen Modellierung dreidimensionaler Körper

### 1. Rechnerinterne Modellierung dreidimensionaler Körper

#### 1.1 Einführung.

Im rechnergestützten Entwurfsprozeß (CAD) lassen sich gewisse Denk- und Arbeitsweisen bei der Gestaltung und Untersuchung räumlicher Objekte (als Mengen aufgefaßt) mit Hilfe von Mengenoperatoren (Vereinigung, Durchchnitt, Differenz) unkompliziert nachvollziehen.

Beispiele sind die Ausführung beliebiger Schnitte durch räumliche Objekte, die Bearbeitung von Werkstücken, die Trassierung von Verkehrsbauten im Gelände (Dämme, Einschnitte).

Auf der Grundlage geeigneter rechnerinterner Repräsentationen implementierte Mengenoperatoren für räumliche Objekte erlauben folglich relativ einfach die Übertragung bestimmter Entwurfs- und Gestaltungsarbeiten auf Rechenanlagen.

Man kann einschätzen, daß sich in 3D-CAD-Systemen Mengenoperatoren als leistungsfähige Werkzeuge zur Erzeugung und Veränderung der repräsentierten räumlichen Objekte erweisen. Gleichzeitig gestattet eine rechnerinterne Repräsentation Berechnungen, Simulationen (z. B. Kollisionsprüfung) sowie die Ableitung von Fertigungsinformationen und ist Voraussetzung für die Erzeugung beliebiger Projektionen in der Computergrafik.

#### 1.2 Objekte und modifizierte Mengenoperatoren

Eine beabsichtigte Modellierung dreidimensionaler Gebilde wirft die Frage nach einem geeigneten mathematischen Modell auf, das gewünschte Eigenschaften der physischen Objekte beschreiben soll.

Eine allgemeine Möglichkeit besteht darin, die Objekte, als Mengen aufgefaßt, zu behandeln.

Die übliche Mengentheorie mit den bekannten Mengenoperatoren erweist sich für diesen Zweck als zu allgemein, denn es sind viele Entartungen zugelassen, die reale Körper nicht aufweisen.

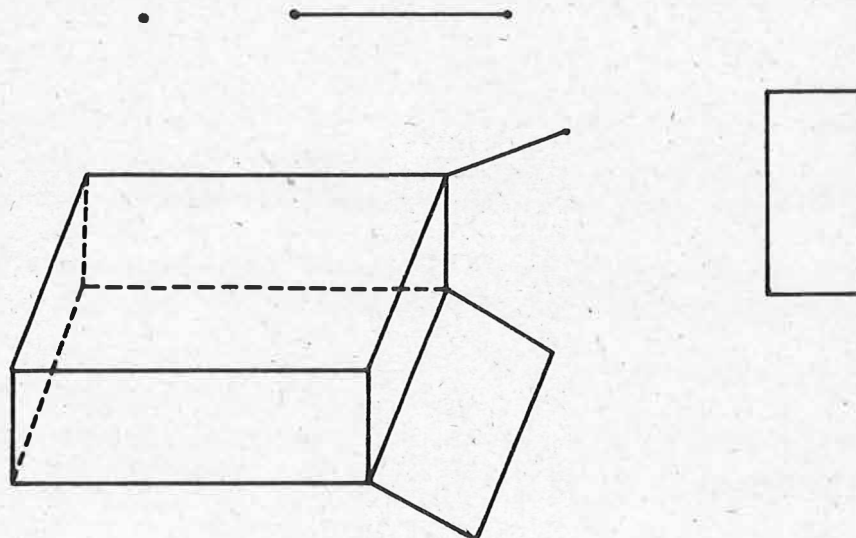


Abb. 1: Beispiele für entartete Polyeder



Da die Objekte, mit denen man zu arbeiten wünscht, idealisierte Abbilder realer Körper (3D) (bzw. 2D-Flächen) sein sollen, ist man bestrebt, Entartungen auszuschließen. Darüber hinaus sollen die Mengenoperatoren, auf eine Klasse nicht entarteter Objekte angewendet, keine Entartungen produzieren.

Von besonderem Interesse ist der Rand der Objekte, da er u. a.

- wichtig ist für eine Visualisierung,
- wenigstens implizit eine Beschreibung der Geometrie des Objektes ermöglicht,
- die Zuordnung ergänzender Informationen an Kanten und Seitenflächen gestattet,
- eine Beschreibung der Objekte durch niedrigdimensionale Objekte erlaubt.

Durch die besondere Rolle des Objektrandes ist man bestrebt, mit abgeschlossenen Mengen zu arbeiten.

Um unreafe Entartungen auszuschließen, verlangt man die mengenmäßige Regularität der Objekte, indem

$$A = r(A) = cl(int(A))$$

gefordert wird.

Die Entartung der Objekte infolge der Ausführung von Mengenoperationen verhindert man, indem die Mengenoperatoren modifiziert werden (ROCHLIN (1971), REQUICHA (1978)):

$$A \subseteq R^3 \wedge A = r(A), \quad B \subseteq R^3 \wedge B = r(B);$$

(modifiziertes) Komplement:	$cA = R^3 \setminus A$
modifizierte Vereinigung:	$A + B = r(A \cup B) = A \cup B$
modifizierter Durchschnitt:	$A * B = r(A \cap B)$
modifizierte Differenz:	$A - B = r(A \setminus B) = A * cB$

Man kann zeigen, daß bestimmte Teilmengen der regulär abgeschlossenen Mengen, z. B. ebenflächig begrenzte Polyeder, des  $R^3$  zusammen mit den Operatoren +, \* und - eine BOOLEsche Algebra bilden.

Die hier angedeutete Vorgehensweise ist zugeschnitten auf die Modellierung voluminöser (3D, bzw. flächenhafter - 2D) Gebilde. Andersartige Modellierungsanforderungen (z. B. Entwurf von Stabtragwerken oder Designaufgaben) verlangen u. U. andere mathematische Modelle.

### 1.3 Repräsentationsformen

Für die rechnerinterne Repräsentation von Objekten ist die Beschreibung dieser durch endliche Datenmengen **notwendig**. Zusammen mit der mengentheoretischen Basis ergibt sich ein 2-Ebenen-Zugang zur geometrischen Modellierung (REQUICHA (1980)):

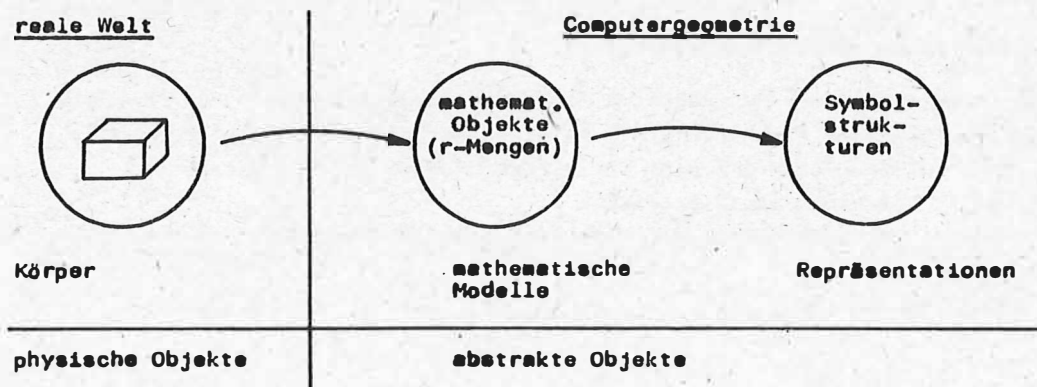


Abb. 2: 2-Ebenen-Zugang zur geometrischen Modellierung

Die modifizierten Mengenoperationen sind für die mathematischen Objekte ( $r$ -Mengen) erklärt. Damit besteht die rechentechnische Realisierung von Mengenoperationen in der Ableitung entsprechender Algorithmen, die die Mengenoperatoren über den Symbolstrukturen ausführen, und in der Implementierung dieser Algorithmen.

Die bekanntesten Methoden der Objektrepräsentation beruhen im wesentlichen auf den Formen der Repräsentation eines Objektes durch

- geometrische Grundkörper (Volumenelemente) und mengentheoretische Verknüpfung derselben (CSG),
- eine Darstellung des Objektrandes,
- Schiebeflächen bzw. Schiebekörper und Trajektorien,
- die Angabe einer Menge Voxel im 3D-Raster.

Ausführlich werden diese Methoden in (REQUICHA (1980)) verglichen.

## 2. Ein Programmsystem zur rechnerinternen Modellierung dreidimensionaler Körper

An der Technischen Universität Dresden und am Zentralinstitut für Physik der Erde Potsdam wurde auf der Grundlage des mathematischen Modells der regularisierten Mengenoperatoren über regulär abgeschlossenen Mengen (ROCHLIN (1971), REQUICHA (1978)) das 3D-Modellierungssystem MOP entwickelt, das im folgenden vorgestellt wird.

### 2.1. Anwendung der Randlepräsentation

MOP (Mengentheoretischer Operator für Polyeder) verarbeitet ebenflächig begrenzte, durch ihren Rand (d. h. ihre Oberfläche) repräsentierte Objekte.

Dargestellt sei eine kurze Bewertung der Randlepräsentation:

#### Vorteile einer Randlepräsentation

- sofortige Verfügbarkeit der Flächen- und Kantenrepräsentationen und der Beziehungen zwischen ihnen; dadurch besonders geeignet für
  - das Anfügen objekt-, flächen- und kantenbezogener Informationen,
  - den Einsatz in der Computergrafik,
- Prinzipiell können fast alle Flächenarten mit praktischer Bedeutung erfaßt werden.

#### Nachteile einer Randlepräsentation

- Große Datenmengen und Datenredundanz,
- komplizierte und umfangreiche Algorithmen für Mengenoperationen.

Aufgrund der genannten Vorteile in der Anwendung und zum Test neuartiger Prinzipien lokal begründeter Entscheidungen für schnelle Algorithmen nach (LUDWIG (1983), OPPITZ (1983)) wurde sich für die Randlepräsentation entschieden.

### 2.2. Prinzipielle Funktionsweise von MOP

Aufgrund der Komplexität der MOP zugrunde liegenden Algorithmen kann hier nur ein grober Überblick über den rechnerinternen Ablauf einer Operation gegeben werden.

Der Operator "-" wird auf den Operator "\*" zurückgeführt, indem temporär das Komplement des 2. Operanden gebildet wird.

In Abbildung 3 ist übersichtsmäßig der Algorithmus zur Realisierung der Mengenoperationen dargestellt.

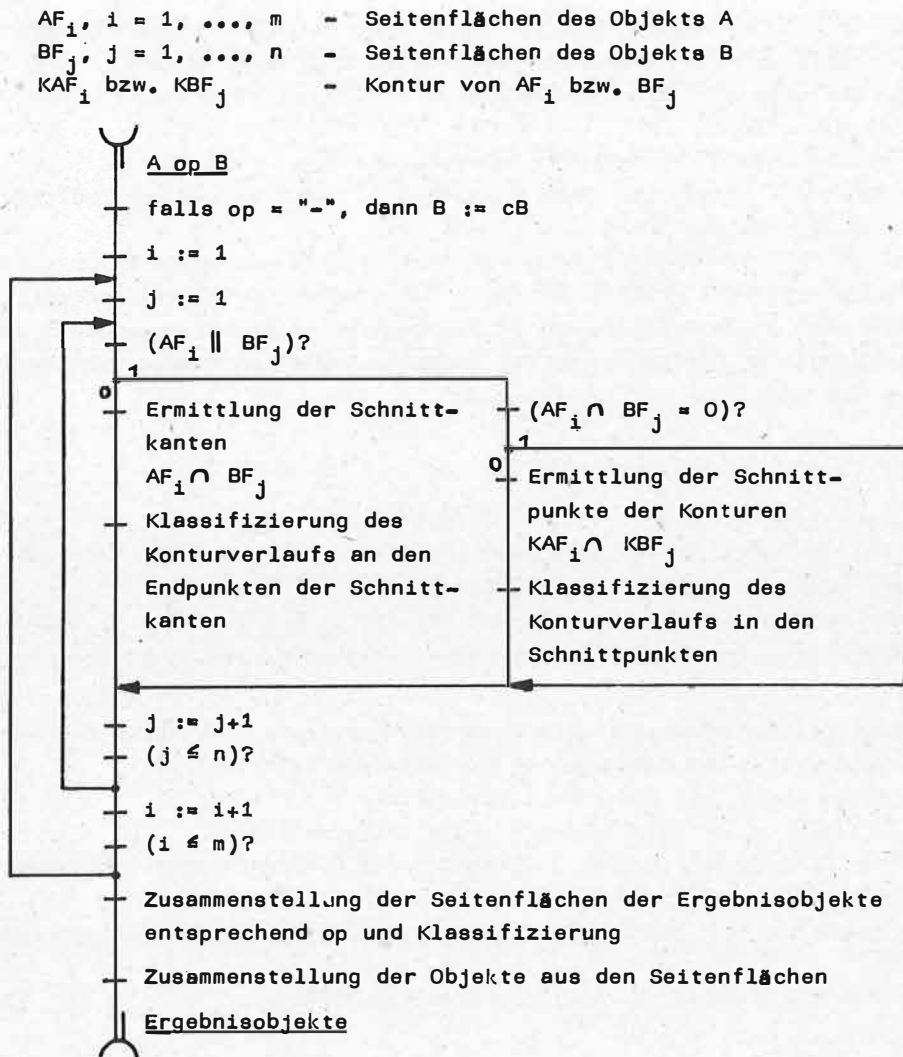


Abb. 3: MOP-Übersicht

### 2.3. Implementierung

Die abgeleiteten Algorithmen wurden vor allem mit dem Ziel, diese praktisch zu testen, implementiert.

Die Implementierung erfolgte unter den Gesichtspunkten

- Portabilität und
- Erzielung kurzer Rechenzeiten.

Portabilität wurde erreicht durch

- Programmierung in FORTRAN,
- Verzicht auf hardware-spezifische Vorteile,
- Kommunikation Anwender - MOP über eine Datenschnittstelle,
- Modularität und folglich Anpassungsfähigkeit der Software.

Grundsätzlich wurden die Algorithmen und deren Implementation rechenzeitmäßig zugunsten der erwartungsgemäß am häufigsten auftretenden Situationen optimiert.

Der Modul MOP ist (wie auch die anderen Moduln des Programmsysteme) in Form eines Unterprogramms einsetzbar.

Dadurch ist ein offenes Programmsystem gegeben, das durch weitere Moduln (z. B. Visualisierungsmodul, Datenbank, Berechnungsmoduln, Modellierungssprache) anwendungsspezifisch erweitert werden kann.

Auf EDVA mit 16 Bit Verarbeitungsbreite kann MOP Objekte mit maximal 100 Eckpunkten bearbeiten. Kompliziertere Objekte verlangen den Einsatz der 32-Bit-Technik.

Die Ausführungszeit einer Mengenoperation mit zwei 6-flächigen Operanden beträgt etwa (EDVA SM4-10) 1 s. Ein Ansteigen der Rechenzeit mit dem Produkt der Anzahlen der Seitenflächen der Operanden ist zu erwarten.

#### 2.4. Weitere Moduln des Programmsysteme

Die MOP zugrunde gelegte Datenstruktur zur Aufnahme der Objekte ist auch für andere Operationen gut geeignet. Da sie Hauptbestandteil der Schnittstelle Anwender - MOP ist, steht sie auch dem Anwender zur Verfügung.

Um die Nutzung der MOP-Datenstruktur zu unterstützen, ihre Vorteile zu demonstrieren und MOP in Richtung eines Modellierungssystems auszubauen, wurden weitere Moduln implementiert:

1. - Transformation der Objektdaten in eine redundanzfreie, komprimierte Form,  
- Rücktransformation und Eintragen in die MOP-Datenstruktur.
2. Verwaltungsfunktionen für die MOP-Datenstruktur  
(Garbage Collection, Bereitstellung von Zeigerlisten usw.)
3. Standardtransformationen (Drehen / Verschieben / Skalieren eines Objektes,  
einkrechte Parallelprojektion)
4. Erzeugung prismen- und pyramidenförmiger Objekte aus einer Darstellung ihrer  
Grundfläche
5. Grundfunktionen wie Inzidenz- und Orientierungsprüfungen.

#### 2.5. Konzepte von MOP

Aus der Sicht möglicher Anwendungen des Programmsysteme wurden verschiedene Einsatzkonzepte bei der Implementierung berücksichtigt:

1. Eine Modellierung im MOP setzt die rechnerinterne Repräsentation einiger Grundkörper (Volumenelemente) voraus. Diese können in Form von Dateien  
- auf einem Datenträger bereitstehen,  
- als prismen- oder pyramidenförmige Objekte aus ihrer Grundfläche erzeugt werden (s. 2.4., Punkt 4.)  
- durch Anwenderprogramme bereitgestellt werden.
2. Jedes Objekt, das infolge eines Modellierungsprozesses (n-malige Anwendung von MOP und von Transformationen auf eine Anzahl Grundkörper) entsteht, kann zum Grundkörper erklärt werden. Dadurch kann sich jeder Anwender eine seinen Vorstellungen entsprechende Menge von Grundkörpern für Modellierungen zusammenstellen.
3. Die topologische Struktur eines Objektes ist hauptsächlich durch seine Zeigerstruktur beschrieben. Folglich kann die Menge der Grundkörper reduziert werden. Beispiel: Aus dem Grundkörper "Einheitswürfel" ist durch Skalierung in x-, y- und z-Richtung jeder Quader erhältlich. Alle diese Quader haben die gleiche Zeigerstruktur.

Jeden seiner Grundkörper kann der Anwender durch eine angepaßte Softwarelösung mit Parametern variierbar gestalten. Diese Vorgehensweise bietet sich für Anpassungskonstruktionen und zur Rationalisierung von Objektarchiven an.

4. Jedes Objekt kann in Form einer Datei auf einem Datenträger repräsentiert werden. Über die Dateinamen können Datenverwaltungssysteme auf die Objekte zugreifen.
5. Von randrepräsentierten Grundkörpern ausgehend, kann der Anwender leicht eine Softwareumgebung schaffen, die die Grundkörper vorerst nur namensmäßig durch Mengenoperatoren verbindet. Das Ergebnis kann mit Hilfe eines Scan-Line-Verfahrens, z. B. für CSG (SOYKA (1986)), visualisiert werden. Sämtliche Grundkörper sind dabei noch in ihrer Form entsprechend den vom Anwender vorgesehenen Parametern (s. 2.4., Punkt 3.) und ihrer Lage variabel bzw. durch andere Grundkörper ersetzbar. Anschließend können die Ergebnisobjekte durch Ausführung der Mengenoperationen erzeugt werden.
6. Die MOP-Datenstruktur kann für andere als ebene Flächen so erweitert werden, daß MOP unverändert über der MOP-Datenstruktur operieren kann, falls die Operanden ebenflächig begrenzt sind. Der Test eines Operanden auf ebenflächig begrenzt besteht nur aus einer Abfrage der Flächenliste des Operanden und ist deshalb sehr schnell und einfach durchführbar.

### 3. Zusammenfassende Bemerkungen

Mit MOP steht ein universeller und portabler Mengenoperator für eine Klasse praktisch interessanter Objekte zur Verfügung.

Auf der Basis eines mathematischen Modells und unter Verwendung lokal begründeter Entscheidungen konnten für die Randrepräsentation schnelle Algorithmen abgeleitet und implementiert werden, die bereits auf 16-Bit-Minicomputern brauchbar sind.

Die mathematische Fundamentierung der Algorithmen sichert, daß MOP prinzipiell keine ungültigen Ergebnisse produziert. Das bedeutet, daß i. a. aufwendige Gültigkeitsprüfungen für die Ergebnisse entfallen können.

Die Leistungsfähigkeit und die Anwendungsfreundlichkeit der zugrunde gelegten und auch als Schnittstelle zu MOP dienenden Datenstruktur zeigte sich bei der Implementierung weiterer Moduln eines Geometrikerns.

Das Modellierungssystem MOP steht am Zentralinstitut für Physik der Erde Potsdam zur Verfügung und kann nachgenutzt werden.

### Literatur

- LUDWIG, M.: Modellierung geometrischer Objekte; Dissertation B, TU Dresden, 1983
- OPPITZ, K.: Ein Algorithmus für die Verknüpfung randrepräsentierter Objekte; TU Dresden, Schriftenreihe des WBZ MKR/IV, 66/83, S. 59-65
- REQUICHA, A. A. G.; TILOVE, R. B.: Mathematical foundations of constructive solid geometry: General topology of closed regular sets; Tech. Memo. No. 27a, Production Automation Project, Univ. of Rochester, 1978
- REQUICHA, A. A. G.: Representation of Rigid Solid Objects; Lecture Notes in Computer Science, No. 89; Springer-Verlag Berlin-Heidelberg-New York 1980.
- ROCHLIN, W. A.: Flächen- und Rauminhalt; in: Enzyklopädie der Elementarmathematik, Bd. 5, Geometrie, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1971 (Übersetzung aus dem Russischen)
- SOYKA, D.: Ein SCAN-Line-Verfahren für CSG; Symposium Computergeometrie, Johannegeorgenstadt 1986.



Zur Vorverarbeitung multispektraler Radiometerdaten

W. HERR, H. WEICHELT

Akademie der Wissenschaften der DDR  
Zentralinstitut für Physik der ErdeZusammenfassung

Es wird ein Verfahren vorgestellt, das die korrelativen Beziehungen zwischen den Spektralkanälen der reflektierten Strahlung nutzt, um eine Reduzierung der atmosphärisch bedingten Varianz der Strahldichtewerte zu erreichen. Diese Methode wird mit den bekannten Quotienten-, Kontrast- und Richtungskosinusverfahren verglichen. Die entwickelte Methode erweist sich im Verhältnis verbleibende Nutzinformation zur reduzierten atmosphärisch bedingten Störvarianz als überlegen und vermeidet gleichzeitig eine Objektabhängigkeit. Besonders geeignet ist diese Methode zur Einschätzung der Vitalität vegetativer Objektoberflächen.

Summary

A procedure is presented which uses the correlations between the spectral channels of the reflected radiation to reduce the atmospherically conditioned variance of the irradiance values. This method is compared with the known quotient, contrast and direction cosine procedures. The presented method occurs to be preponderant in the correlation of the remaining usable information to the reduced atmospherically conditioned perturbation variance. At the same time it avoids object dependence. This method is especially suitable to evaluate the vitality of vegetative object surfaces.

Резюме

Для уменьшения разброса значений спектральной яркости, обусловленного наличием атмосферы, авторы предлагают метод, основанный на использовании корреляционных связей между спектральными каналами. Этот метод сравнивается с известными методами частных, контраста и косинусов направлений. Преимущество разработанного метода проявляется в соотношении между оставшейся полезной информацией и помехами после уменьшения разброса, вызванного атмосферой. Метод одновременно исключает зависимость от объекта. Он особенно пригоден для оценки растительного покрова объекта.

## 1. Einleitung

Multispektrale Radiometerdaten (transformierte Strahldichtewerte) sind dadurch gekennzeichnet, daß sie neben den Remissionseigenschaften der Objekte am Boden auch die aktuellen Eigenschaften des Strahlungstransfers der Atmosphäre widerspiegeln, welche zeitlich und räumlich sehr variabel sein können. Sie hängen u. a. von der Art und der Verteilung der Bewölkung, der Feuchte, der Temperatur, dem in der Atmosphäre vorhandenen Aerosol und der Einstrahlungsgeometrie (z. B. Sonnenstand) ab.

Multispektrale Radiometerdaten können z. B. Bestandteil von mehr oder weniger ausgebauten Geoinformationssystemen sein. Sie sollen Informationen über die Remissionseigenschaften der Objekte am Boden liefern. Dazu ist es i. a. erforderlich, die atmosphärisch bedingte Variabilität dieser Daten zu reduzieren. Das Ziel dabei ist, eine vorgegebene Objektdifferenzierung bei möglichst kleiner Irrtumswahrscheinlichkeit zu erreichen. Zu diesem Zweck müssen in Geoinformationssystemen Daten zum Strahlungstransfer der Atmosphäre enthalten sein. Ideal wäre eine zeitliche und örtliche Auflösung für jeden Meßpunkt. Damit wäre die Berechnung eines spektralen Remissionskoeffizienten als Objekteigenschaft möglich. Wegen des damit verbundenen hohen Aufwands und auch aus methodischen Gründen ist eine derartige Auflösung derzeit nicht möglich und für viele Aufgaben auch nicht erforderlich.

Es wird daher hier ein Verfahren vorgeschlagen, welches mit vertretbarem Aufwand und den gegenwärtig verfügbaren Meßmitteln eine merkliche Verringerung der atmosphärisch bedingten Variabilität der Radiometerdaten gestattet. Für das entwickelte Verfahren werden die korrelativen Beziehungen der Spektralkanäle des atmosphärischen Strahlungstransfers genutzt, die relativ zeit- und ortsinvariant sind.

## 2. Entwicklung des Verfahrens

Aus der Literatur ist bekannt, daß die Eigenschaften des atmosphärischen Strahlungstransfers verschiedener Spektralkanäle korrelativen Gesetzmäßigkeiten unterliegen /4, 6/. Korrelative Beziehungen erlauben es, die multispektralen Radiometerdaten derart zu transformieren, daß die atmosphärisch bedingte Variabilität reduziert wird. Das bekannte Richtungskosinusverfahren z. B. transformiert die multispektralen Radiometerdaten so, daß die Daten auf die Gesamthelligkeit der Kanäle normiert werden. Beim Vegetationsindexverfahren wird ähnlich verfahren. Die Strahlungsdifferenz zweier benachbarter Kanäle wird auf ihre Summe normiert. Dabei tritt eine Reduzierung der atmosphärisch bedingten Variabilität ein. Es zeigte sich aber auch, daß diese Verfahren einige Schwächen besitzen. Beim Richtungskosinusverfahren geht z. B. die Helligkeitsinformation verloren und beim Vegetationsindexverfahren sind die transformierten Daten nur bei hinreichend vegetativen Objekten stabil. Die Entwicklung eines Vorverarbeitungsverfahrens ist ein Optimierungsproblem zwischen möglichst geringer atmosphärisch und möglichst großer objektspezifischer bedingter Variabilität. Zur verbesserten Lösung dieses Optimierungsproblems wurden die korrelativen Beziehungen der aus dem Halbraum einfallenden Strahlung in sieben Spektralkanälen im Bereich von  $0,45 - 2,35 \mu\text{m}$  untersucht. Dazu wurde die von einer Weißtafel ( $\rho_1 = 1$ ;  $\rho$ : Reflexionsgrad) reflektierte Strahlung für die sieben Kanäle quasisynchron zu verschiedenen Tageszeiten und atmosphärischen Bedingungen gemessen. Es zeigte sich, daß die Strahlungsquotienten von benachbarten Kanälen im Bereich von  $0,45 - 0,9 \mu\text{m}$  stark korrelieren.

Aus diesen Daten wurde folgende Transformation abgeleitet:

$$VM1 = X_2^2 / X_1 \cdot X_3 \quad X_i: \text{strahldichte proportionale Spannung des Spektralbereichs } i$$

$$VM2 = X_2 \cdot X_4 / X_3^2$$

Auf diese Weise war eine drastische Reduzierung der atmosphärisch bedingten Variabilität dieser Meßdaten möglich.

Für Vegetationsobjekte lassen sich die transformierten Merkmale VM1 und VM2 folgendermaßen deuten: Das erste Merkmal wird um so größer, je größer der Wert des grünen Spektralkanals ( $X_2$ ) im Bezug zum blauen ( $X_1$ ) und roten ( $X_3$ ) Spektralkanal wird. Betrachtet man die Remissionskurve einer Pflanzendecke so ist VM1 proportional zur Ausprägung des durch das Chlorophyll bedingten Grünpeaks. VM2 ist proportional zur Ausprägung des durch Chlorophyllgehalt und Zellstruktur der Pflanzendecke bedingten Rotabsorptionsmaximums. Dadurch sind die beiden Merkmale gut als Vegetationsmerkmale geeignet.

### 3. Reduzierung atmosphärisch bedingter Variabilität

Bei der Untersuchung der atmosphärisch bedingten Variabilität der Einstrahlung zeigt sich, daß mit größer werdender Wellenlänge der Variationskoeffizient zunimmt. Die Größenordnung des Variationskoeffizienten liegt im blauen Spektralbereich bei 20 bis 40 Prozent und im infraroten bei 20 bis 70 Prozent. Ein Beispiel für die hohe Variabilität der Einstrahlung ist in Abb. 1 dargestellt.

Zur Reduzierung der erheblichen Variabilität wurden folgende Verfahren untersucht:

- spektraler Strahldichtequotient  $Q_i = X_{i+1} / X_i$
- spektraler Strahldichtekontrast  $K_i = (X_{i+1} - X_i) / (X_{i+1} + X_i)$
- spektraler Richtungskosinus  $R_i = X_i / \sqrt{X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2}$
- Vegetationsmerkmale VM1 und VM2 (siehe Kapitel 2).

Einige für die jeweiligen Verfahren charakteristische Ergebnisse sind in Tab. 1 dargestellt. Neben der beträchtlichen Reduzierung atmosphärisch bedingter Variabilität zeigt sich bei allen Verfahren eine Abhängigkeit vom Atmosphärentyp. Beim Kontrastverfahren hängt die Varianzreduzierung zusätzlich von den Remissionseigenschaften der Objekte ab. Der oft gebräuchliche Vegetationsindex  $K_3 = (X_4 - X_3) / (X_4 + X_3)$  bleibt beispielsweise nur für sehr vegetative Objekte hinreichend stabil. So beträgt der Variationskoeffizient für einen dichten Gerstenbestand mit einem Vegetationsindex  $K_3 = 0,84$  nur 1,6 %, dagegen liegt er für unbedeckten Boden ( $K_3 = 0,12$ ) bei 37,3 %. Ähnliche objektbedingte Unterschiede treten auch beim Richtungskosinusverfahren auf.

Das hier entwickelte Vegetationsmerkmalsverfahren zeichnet sich neben einer guten Reduzierung atmosphärisch bedingter Variabilität dadurch aus, daß der Variationskoeffizient der transformierten Daten nahezu objektunabhängig ist. So ist für Boden der Variationskoeffizient für VM1 1,1 % und für VM2 2,6 %. Für den dichten Gerstenbestand sind die entsprechenden Werte 1,4 und 3,5 %.

#### 4. Güte der Verfahren

Die Reduzierung atmosphärisch bedingter Variabilität stellt nur die eine Seite des Optimierungsproblems dar. Ein weiteres Bewertungskriterium ist die Trennbarkeit der Objekte und die dabei auftretende Fehlerquote. Nach diesem Bewertungskriterium wird ein Vorverarbeitungsverfahren (Transformation) der multispektralen Radiometerdaten angestrebt, welches das Verhältnis des durchschnittlichen Objektabstandes im n-dimensionalen Merkmalsraum zur Gesamtvarianz der Merkmale vergrößert. Ein quantitativer Maßstab dieser Bewertung ist der relative Objektabstand d:

$$d_{AB} = |x_A - x_B| / \sigma_A \quad x_A: \text{Objektmerkmal von Objekt A bzw. B}$$

$$d_{BA} = |x_A - x_B| / \sigma_B \quad \sigma: \text{Varianz des Objektmerkmals von A bzw. B}$$

Werden kreisrunde Cluster angenommen ( $\sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_n$ , n = Dimension), so können auch Verfahren eingeschätzt werden, die mehrdimensionale Merkmale verwenden:

$$d_{AB} = \sqrt{d_{AB_1}^2 + d_{AB_2}^2 + \dots + d_{AB_n}^2} \quad n: \text{Merkmalsdimension}$$

Der relative Objektabstand für die Primärdaten ausgewählter Objekte ist in Tab. 2 dargestellt. Die mathematische Analyse dieser Größe zeigt, daß der relative Objektabstand für eine akzeptable Differenzierung der Objekte mindestens in der Größenordnung einer Zehnerpotenz liegen muß. Für viele Objektkombinationen liegt der relative Objektabstand in der Größenordnung von 1 bis 3, was eine Transformation der Daten erforderlich macht.

In Tab. 3 wurden die relativen Objektabstände der untersuchten Vorverarbeitungsverfahren auf die Objektabstände der Primärdaten bezogen. Damit werden die verfahrenstechnischen Verbesserungen der Vorverarbeitung ausgewiesen. Um einen Vergleich der Verfahren zu ermöglichen, wurde die gleiche Bezugsbasis verwendet. Der Vergleich der Vorverarbeitungsverfahren zeigt die unterschiedliche Güte der transformierten Daten. Innerhalb eines Verfahrens ist die Güteverbesserung objektabhängig. Bei einigen Verfahren kann es sogar zu einer Verschlechterung der Datengüte kommen, so bei dem Quotientenverfahren zwischen den Objekten "Boden trocken" und "Boden feucht". Bei dem vorgeschlagenen Vegetationsmerkmalsverfahren tritt diese Verschlechterung nicht auf. Für die untersuchten Objekte wird eine gute bis sehr gute Verbesserung der Datengüte erreicht. Die Mindestforderung des relativen Objektabstandes in der Größenordnung einer Zehnerpotenz wird für die meisten Objektkombinationen erfüllt (Tab. 4). Durch Optimierung der Klassengrenzen zwischen den Objekten kann darüber hinaus ihre Trennbarkeit ausgeglichener gestaltet werden.

#### 5. Anwendung der Vegetationsmerkmale VM1, VM2

Bei der Untersuchung atmosphärisch bedingter Variabilität konnte methodisch nur die Variabilität der Einstrahlung in unmittelbarer Bodennähe umfassender untersucht werden. Varianzeinflüsse der reflektierten Strahlung bei einer Meßhöhe h=10 m des Sensors über den Objekten, wie z. B. das kontrastmindernde Luftlicht, konnten nicht im gleichen Umfang berücksichtigt werden. Das erfordert ggf. eine Modifizierung der quantitativen, jedoch nicht der qualitativen Güteeinschätzung der untersuchten Vorverarbeitungsverfahren. Das belegen Trassenbefliegungen in ca. 100 m Höhe. Ein Beispiel einer Trassenbefliegung ist in Abb. 2 dargestellt.

Die Merkmale VM1, VM2 wurden durch einen hierarchisch arbeitenden Code verschlüsselt. Für die unterste Hierarchieebene wird eine Kette von Merkmalsvertrauensintervallen mit gewählter Irrtumswahrscheinlichkeit konstruiert, was einer Digitalisierung des Merkmalsraumes entspricht. Die Vertrauensintervalle werden aufsteigend nummeriert und stellen die Codenummern dar. In den nächsten Hierarchien werden jeweils zwei benachbarte Vertrauensintervalle zu einem Intervall zusammengefaßt. Im Beispiel wurde von einem konstanten Variationskoeffizienten für VM1 von 2,5 % und für VM2 von 3,5 % ausgegangen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit der Vertrauensintervalle der untersten Hierarchie wurde mit 40 % gewählt. Interpretiert man die Codenummer binär, so besitzt das niedrigste Bit eine gewählte Irrtumswahrscheinlichkeit von 40 %, die folgenden ergeben sich zu ca. 10 %, ca. 1 Promill und besser. Dadurch läßt sich die Genauigkeit der Objektdifferenzierung sehr gut darstellen.

Zur Einschätzung der Möglichkeiten der Objektdifferenzierung mit Hilfe der Vegetationsmerkmale VM1, VM2 wurde die Entropie der Merkmale für fünf Trassen über landwirtschaftlich genutzten Flächen berechnet. Es ergibt sich ein Informationsgehalt von ca. 5 bis 6 bit/Zeichen. In Abb. 1 sind die codierten Merkmale VM1 und VM2 eines Weißtafelprofils im Vergleich zu den strahlendichteproportionalen Spannungen dargestellt. Die atmosphärisch bedingte Variabilität der Einstrahlung (Durchzug von Haufengewolken) führte bei diesem Beispiel zu einer maximalen Strahlungsänderung von ca. 75 % Strahlungscontrast. Dagegen schwanken die codierten Vegetationsmerkmale VM1 und VM2 nur um eine Binärstufe.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß durch das vorgeschlagene Verfahren eine Reduzierung der atmosphärisch bedingten Varianz des Meßsignals erreicht wird, die gleich oder besser im Vergleich zu anderen bekannten und allgemein verwendeten Verfahren ist, dabei jedoch eine Objektabhängigkeit vermeidet. Die objektspezifische "Nutz-"information wird dagegen in allen untersuchten Fällen weniger beeinträchtigt. Die Anwendung für andere Fragestellungen (z. B. Untersuchung geologischer Körper) und in anderen Spektralbereichen ist prinzipiell möglich, dabei sollten jedoch jeweils in Voruntersuchungen das Verhältnis von reduzierter Störvarianz zu erhalten gebliebener Objektinformation speziell geklärt werden.



## 6. Literaturverzeichnis

- /1/ BARSCH, H.; WIRTH, H.: Landnutzungskartierung im Tiefland der DDR auf der Grundlage von Satellitendaten. Vermessungstechnik, Berlin 32 (1984) 7, S. 222 - 228
- /2/ CURRAN, P.: Relative reflectance data from preprocessed multispectral photography. Int. J. Remote Sensing, London 1 (1980) 1, S. 77 - 83
- /3/ KAZMIERCZAK, H.: Erfassung und maschinelle Verarbeitung von Bilddaten. Akademie-Verlag Berlin (1980)
- /4/ QUIEL, F.: Zur Vorverarbeitung multispektraler Daten. Bildmessung und Luftbildwesen Karlsruhe 44 (1976) 1 und 2, S. 42 - 44, 61 - 65
- /5/ ROSENFELD, A.: Digital Picture Analysis. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1976
- /6/ WINOGRADOW, B.: Distanzionnoe ismerenie fitomassü. Issledowanie semli is kosmosa, Moskva 3 (1982) 5, S. 36 - 45

Tabelle 1: Variabilität der spektralen Strahldichtequotienten  $Q_i$  und der Vegetationsmerkmale VM1 und VM2

(Untersuchungsobjekt: Weißtafel  $n = 1, i = 1 \dots 7$ )

Einstrahlungs- bedingungen	Variationskoeffizient (%)							
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	VM1	VM2
insgesamt	5,6	6,1	8,7	21,6	23,8	9,8	0,9	5,6
Situation a	6,8	7,6	5,7	14,4	6,2	7,0	1,0	5,6
Situation b	0,8	0,7	5,4	8,4	24,2	9,2	0,7	6,0

Situation a: Sonne, blauer Himmel mit einzelnen Haufenwolken

Situation b: stark dunstig, Sonne und Wolken wechselnd

Tabelle 2: Relativer Objektstand der strahldichte proportionalen Spannungen U (Primärdaten)

	1	2	3	4	5	6	7	8
Boden, trocken	-	0,99	1,32	1,08	3,11	2,02	4,76	1,34
Boden, feucht	1,29	-	1,25	2,61	4,14	2,79	6,71	2,89
Weizen, Standort 1	2,34	1,42	-	3,01	2,12	1,29	3,95	3,34
Weizen, Standort 2	0,83	1,55	1,67	-	2,86	1,96	3,97	0,95
Luzerne	5,54	4,04	1,84	5,56	-	0,88	2,03	6,76
Gerste, dünnere Bestand	4,07	2,98	1,21	4,02	0,89	-	1,96	5,00
Gerste, dichtere Bestand	3,57	2,87	1,76	3,30	1,37	1,18	-	4,22
Zuckerrübe	0,92	1,66	1,70	0,76	2,11	1,62	2,50	-

Tabelle 3: Relativer Objektabstand der verschiedenen Verfahren zur Varianzreduzierung, bezogen auf die Objektabstände der Primärdaten (Tab. 2)

	1		2		3		4		5		6		7		8	
1 Boden, trocken	-	0,7	0,7	19	12	4	4	44	9	38	13	29	6	5	4	
	-	1	3	25	101	11	27	19	312	25	290	12	237	8	12	
2 Boden, feucht	0,5	0,5	-	21	12	2	2	34	7	28	9	21	4	3	2	
	1	3	-	30	107	5	11	16	241	21	215	10	173	5	6	
3 Weizen, Standort 1	6	8	9	14	-	3	5	22	8	17	10	12	4	3	4	
	29	18	49	28	-	15	10	25	89	31	283	14	57	14	11	
4 Weizen, Standort 2	6	6	4	3	11	7	-	39	9	31	11	28	6	5	4	
	10	26	6	13	9	43	-	12	211	14	186	8	177	5	15	
5 Luzerne	5	16	7	22	9	22	4	14	-	8	13	1	0,7	4	10	
	22	9	31	12	29	18	18	8	-	17	13	0,6	5	15	7	
6 Gerste, dünnere Bestand	7	12	9	17	11	16	5	11	13	8	-	6	4	5	8	
	26	13	37	18	32	31	21	12	16	23	-	8	14	17	11	
7 Gerste, dichter Bestand	9	24	11	30	10	23	7	23	2	1	6	10	-	7	16	
	36	17	46	20	32	25	32	17	0,9	8	13	13	-	25	14	
8 Zuckerrübe	5	6	3	4	8	6	5	6	45	12	31	13	38	10	-	
	30	12	19	7	34	55	7	23	59	316	66	256	50	312	-	

a b a: Quotientenverfahren b: Kontrastverfahren  
c d c: Richtungskosinusverfahren d: Vegetationsmerkmale VM1 und VM2

Tabelle 4: Relativer Objektabstand der Vegetationsmerkmale VM1, VM2 (nicht normiert)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1 Boden, trocken	-	3	133	29	970	479	1128	16
2 Boden, feucht	3	-	134	29	998	600	1161	17
3 Weizen, Standort 1	42	40	-	30	189	365	225	37
4 Weizen, Standort 2	22	20	72	-	604	365	703	14
5 Luzerne	50	49	33	45	-	11	10	47
6 Gerste dünnere Bestand	53	54	38	48	21	-	27	55
7 Gerste, dichter Bestand	61	57	44	56	11	15	-	59
8 Zuckerrübe	11	12	94	18	667	415	780	-

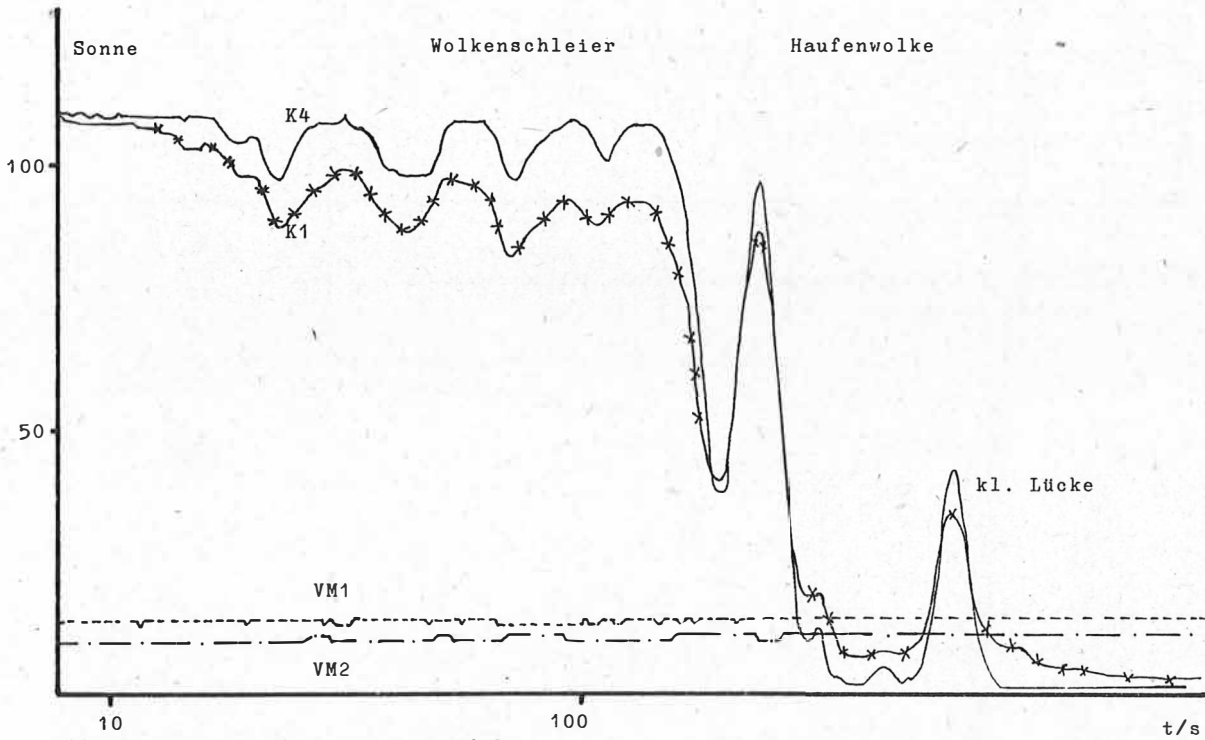


Abb. 1. Messung über der Weißtafel

K1: Kanal 1    Max. 3078 mV = 110  
 K4: Kanal 4    Max. 2196 mV = 110

Min. 1184 mV = 0  
 Min. 512 mV = 0

VM1: Vegetationsmerkmal 1, codiert  
 VM2: Vegetationsmerkmal 2, codiert

Variationskoeff. 2,5 %  
 Variationskoeff. 3,5 %



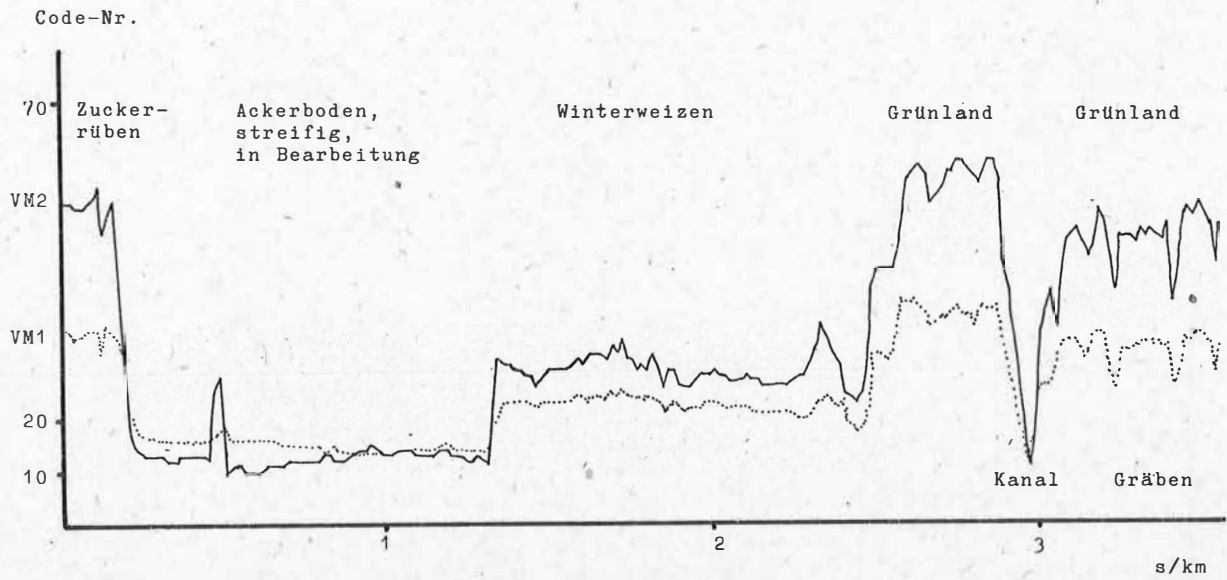


Abb. 2. Profil über landwirtschaftlich genutzte Flächen  
 Vegetationsmerkmale VM1, VM2, codiert  
 Meßfleck ca. 270 m<sup>2</sup>  
 Überdeckung ca. 32 %

Spektralfotometer BAS-M mit Mikrorechner

U. LEITERER, M. WELLER

Meteorologischer Dienst der DDR  
Aerologisches Observatorium LindenbergZusammenfassung

Ausgehend von den Erfahrungen auf dem Gebiet der gerätetechnischen Entwicklung und Kalibrierung von Spektralfotometern BAS wurde am Aerologischen Observatorium Lindenberg eine Mikrorechner-Generation dieses Gerätetyps geschaffen. Das als BAS-M bezeichnete Gerät besitzt das gleiche Meßprinzip und die robuste mechanische Konstruktion des Optikteils wie sein Vorgänger. Dagegen wurden die Elektronikeinheit zur Filterrad- und Kippspiegelsteuerung neu entwickelt und an eine Informationsverarbeitungseinheit auf der Basis der Zentralen Recheneinheit des Mikrorechners K 1520 angeschlossen.

In der Arbeit sind die Funktionsweise und die Baugruppen des Spektralfotometers sowie die Erfassung und Verarbeitung der Daten beschrieben. Darüber hinaus wird auf die Strahldichte- und Bestrahlungsstärkekalibrierung mit Hilfe der extraterrestrischen solaren Bestrahlungsstärke und auf die an diese angeschlossenen Laboretalone für Bestrahlungsstärken und Strahldichten eingegangen.

Die Autoren berichten über Erfahrungen beim Einsatz des Spektralfotometersystems unter extremen klimatischen Bedingungen und stellen einige Meßbeispiele vor.

Summary

Basing on the experience in the field of technical development and calibration of spectral photometers BAS, a new generation of that type with an integrated microcomputer has been created at the Aerological Observatory Lindenberg. This device which is called BAS-M, works on the same principle of measurement and is equipped with the same robust mechanical construction of the optical part as its predecessor. However, the electronic unit of the filtering wheel control and the tilting mirror control were newly developed and connected with an information processing unit on the basis of the Central processing unit of the micro-computer K 1520.

The authors report on their experiences for the application of the spectral photometer system under extreme climatic conditions and present some examples of measurements.

Резюме

Используя опыт в области приборотехнического развития и калибрования спектрального фотометра БАС, на аэрологической обсерватории в Линденберге создается новое поколение этого типа приборов с микро-ЭВМ /БАС-М/.

Этот прибор имеет тот же принцип измерения и такую же механическую конструкцию оптической части, что и предшествующий ему образец, а электронная часть для управления колесом фильтров и опрокидывающего зеркала создана заново и подключена к системе обработки информации на базе микро-ЭВМ К1520.

Авторы описывают применение системы спектрального фотометра в экстремальных климатических условиях и приводят некоторые примеры.

## 1. Einleitung

Der Grundgedanke für die Konzeption des Spektrometers BAS-M ist die unmittelbare Verwendung der extraterrestrischen spektralen Energieverteilung der Sonne als Kalibrierungsetalon. Damit umgeht man eine Reihe von Problemen, die bei der Benutzung von Normallampen der nationalen Büros für Standards auftreten. Die Sonne als Kalibrierungsquelle steht gleichermaßen jedermann auf der Erde zur Verfügung und ist die Beleuchtungsquelle der irdischen Objekte, die mit Methoden der Fernerkundung untersucht werden.

Benutzt man eine international empfohlene solare Energieverteilung (NECKEL und LABS, 1981), so reduziert sich das Problem der Kalibrierung auf die präzise Anwendung der LANGLEY-Methode (SHAW 1976). Mit dieser Methode und unter Einbeziehung einer experimentell ermittelten Korrekturfunktion erhält man die extraterrestrischen Spannungswerte für jeden Spektralkanal. Diese Methode wurde mit 4 verschiedenen Spektrometern des Typs BAS während 10 Expeditionen im Hochgebirge und in der Antarktis erprobt.

Die Kalibrierung erfolgt mit Hilfe eines Objektivs, dessen ebener voller Öffnungswinkel ca.  $1^\circ$  beträgt. Die wichtigsten Schritte bei der Kalibrierung (LEITERER u. a. 1982; LEITERER und MARKGRAF, 1983) sind:

- Die Bestimmung der "extraterrestrischen Spannungen" für jeden Kanal mit Hilfe der LANGLEY-Methode und Anwendung des BOUGER-LAMBERTSCHEN Gesetzes;
- die extraterrestrischen Spannungen werden den tabellierten spektralen Bestrahlungsstärken  $E_0$  ( $\mu\text{Wcm}^{-2}\text{nm}^{-1}$ ) zugeordnet und man erhält den Eichfaktor für Bestrahlungsstärken ( $\mu\text{Wcm}^{-2}\text{nm}^{-1}\text{V}^{-1}$ );
- der effektive Raumwinkel  $\omega$  für jeden Spektralkanal wird mit Hilfe spezieller optischer Messungen im Labor ermittelt;
- die extraterrestrischen Bestrahlungsstärken  $E_0$  werden durch den effektiven Raumwinkel  $\omega$  dividiert und man erhält den Eichfaktor für Strahldichten ( $\mu\text{Wcm}^{-2}\text{nm}^{-1}\text{sr}^{-1}\text{V}^{-1}$ ).

Die Kalibrierung anderer Objektivs des Spektralfotometers mit ebenen Öffnungswinkeln zwischen  $0,3^\circ$  und  $17^\circ$  erfolgt durch Vergleichsmessungen mit dem  $1^\circ$ -Objektiv vor dem Strahldichteetalon AOL-BaSO<sub>4</sub> im Labor.

Die Kalibrierung des Milchglasvorsatzes für Bestrahlungsstärkemessungen aus einem Öffnungswinkel von  $2\pi$  erhält man aus einer einfachen Vergleichsmessung mit dem kalibrierten  $1^\circ$ -Sonnenobjektiv mit Hilfe der natürlichen Sonnenstrahlung.

## 2. Technische Parameter und Eigenschaften

- Spektralbereich : sichtbarer und naher Infrarotbereich ( $0,38 - 1,12 \mu\text{m}$ ) mit etwa 40 Kanälen bei Halbwertsbreiten zwischen 10 und 15 nm
- Filter : Verlaufinterferenzfilter des Kombinats VEB Carl Zeiss JENA
- Arbeitsweise : Mikroprozessorbereich, d. h. 15 Kanäle pro Sekunde oder Kanalwahl durch Handauslösung
- Meßgrößen : Bestrahlungsstärke von punktförmigen (Sonne) und räumlichen Strahlungsquellen (Himmel) bis zu  $2\pi$  sr; Strahldichten unter Öffnungswinkeln zwischen  $0,3^\circ$  und  $17^\circ$
- Meßbereich : 1 bis  $200 \mu\text{Wcm}^{-2}\text{nm}^{-1}$  (Bereich der Globalstrahlung) und  $10^{-2}$  (Wasseroberflächen) bis  $10^6 \mu\text{Wcm}^{-2}\text{nm}^{-1}\text{sr}^{-1}$  (Sonnenscheibe)
- Genauigkeit : besser als  $\pm 0,5 \%$  für direkte Sonnenstrahlungsmessungen mit dem  $1^\circ$ -Sonnenobjektiv und  $\pm 2,5 \%$  für Strahldichtemessungen mit den  $17^\circ$ -Weitwinkelobjektiv
- Temperaturbereich:  $+ 40^\circ\text{C}$  bis  $- 40^\circ\text{C}$  Umgebungstemperatur

Der Meßkopf des BAS-M wiegt ca. 5 kg und ist durch ein max. 25 m langes Kabel mit dem Steuergerät und der Datenverarbeitungseinheit verbunden. Das Gewicht des gesamten Meßkomplexes beträgt ca. 70 kg einschl. wiederaufladbarer Akkumulatoren. Der Meßkopf wird mit der Kleinbildkamera B 200 (135 mm Teleobjektiv) gekoppelt, so

daß man zu den Spektrogrammen auch das Bild des Untersuchungsobjektes erhält.

Das BAS kann am Erdboden, von Schiffen und von Flugzeugen aus eingesetzt werden. Eine spezielle Unterwasser-variante erlaubt meeresoptische Untersuchungen bis 5 m Wassertiefe.

### 3. Aufbau und Funktionsweise der Baugruppen

Das Spektralfotometersystem BAS-M (SCHULZ und LEITERER, 1986) besteht aus dem Meßkopf (Abb. 1), dem Steuergerät für den Meßkopf, der Informationsverarbeitungseinheit und zwei separaten Stromversorgungsblöcken (Abb. 2). Die Strahlung fällt über die auswechselbaren Objektive (1, 2) bzw. die Milchglasscheibe (3) in den Meßkopf ein und wird über einen Kippspiegel (4) auf das mit Verlaufinterferenzfiltern bestückte Filterrad (5) gelenkt. Unmittelbar hinter dem Filterrad befindet sich die Meßblende (6) und in einem etwas größeren Abstand (der dem 20fachen Meßbländendurchmesser entspricht) der Siliziumdetektor. Der Siliziumdetektor SP 103 ist mit einer vierstufigen Verstärkereinheit gekoppelt, die die Messung von Strahldichten  $10^{-2}$  (Wasser) bis  $10^6$  (Sonne)  $\mu\text{Wcm}^{-2}\text{nm}^{-1}$  ermöglicht.

Das analoge Meßsignal wird durch einen Analog-Digitalwandler in ein binäres Datenwort von 10 Bit umgewandelt (Abb. 2) und als Ziffer auf einem LED-Display dargestellt. Parallel dazu wird zu jedem Datenwort über eine optisch-mechanische Codiertrommel auch ein BCD-Codewort für jede Meßposition erzeugt und angezeigt (Meßpositionsanzeige). Das Datenwort und die Code-Wörter für Meßposition und Verstärkerstufe werden parallel auf eine Multiplex- und Koppereinheit gegeben und von dort in drei Datenblöcken zu je 8 Bit in die Informationsverarbeitungseinheit eingespeist (Abb. 2). Der wichtigste Teil dieser Verarbeitungseinheit ist die Zentrale Recheneinheit ZRE (ZRE 2521.00) aus dem Mikrorechnersystem K 1520, die durch einen Operationsspeicher von 5 KByte (OPS K 3520), einen programmierbaren Festwertspeicher von 16 KByte (DFS K 3820) sowie eine Anschlußkoppereinheit (ADA K 6020) ergänzt werden. Zur Kommunikation mit der Verarbeitungseinheit stehen eine numerische Tastatur und eine numerische Anzeige zur Verfügung. Der Anschluß dieser peripheren Baugruppen an die ZRE erfolgt mit einer Tastatur- und einer Anzeige-Koppereinheit über den Koppelbus an die Zentrale Recheneinheit.

Für die Aufzeichnung der gewonnenen Daten zwecks späterer Weiterverarbeitung steht ein Kassettenmagnetbandgerät vom Typ "Mira" zur Verfügung, das über eine serielle Koppelstelle mit dem Systembus der Verarbeitungseinheit verbunden ist. Die alpha-numerische Ausgabe sowohl von Rohdaten als auch von bearbeiteten Daten erfolgt über die Anschlußkoppereinheit ADA 6022 und eine Druckersteuereinheit auf dem Thermostreifendrucker TSD 16 (STEINHAGEN 1984).

Zur Versorgung des Steuergerätes und des Meßkopfes mit 5 verschiedenen Spannungen steht ein Block aus Ni-Cd-Akkumulatoren mit einer eingebauten Ladeschaltung zur Verfügung. Er garantiert eine Betriebszeit von 15 Stunden. Die Versorgung der Verarbeitungseinheit mit den notwendigen Spannungen erfolgt über einen Stromversorgungsblock, der entweder mit einer Netzspannung von 220 V oder einer Gleichspannung von 24 V gespeist werden kann. Ein Akkumulator von 24 V mit einer Kapazität von 50 Ah garantiert eine Betriebszeit von ca. 10 Stunden. Die Verbindung der einzelnen Baugruppen des Systems untereinander erfolgt über Spezialkabel.

Die Informationsverarbeitungseinheit gestattet es, die Spektrometerrohdaten (Meßspannungen) nach verschiedenen Programmen zu verarbeiten. Als Ergebnis erhält man entweder strahlungsphysikalische Grundgrößen, wie

- Bestrahlungsstärken von punktförmiger (Sonne) und räumlicher Strahlungsquelle (Himmel) bis zu  $2\pi$  sr
- Strahldichten unter ebenen Öffnungswinkeln zwischen  $0,3^\circ$  und  $17^\circ$

oder unter Anwendung spezieller Auswerteprogramme berechnete Größen, wie

- spektraler Transmissionsfaktor der Atmosphäre
- spektrale optische Dichte der Atmosphäre
- spektral gerichteter Reflexionsgrad und spektrale Albedo beliebiger Objekte in der Natur und im Labor
- spektraler Kontrast beliebiger Objekte in der Natur und im Labor

#### 4. Einsatz des Spektralfotometersystems BAS-M unter extremen Expeditionsbedingungen

Das Gerätesystem ist in 2 Holzkoffern mit den Abmessungen 0,68 x 0,42 x 0,32 m untergebracht und wird bei Einsätzen bei sehr niedrigen Temperaturen noch zusätzlich thermisch isoliert. Der Meßkopf ist ebenfalls isoliert und kann im Bedarfsfall auf eine konstante Temperatur aufgeheizt werden. Auch ohne Stromversorgung aus einem 220 V-Netz, d. h. mit reinem Akkumulatorbetrieb, arbeitete das Gerät bei Außentemperaturen von  $-35^{\circ}\text{C}$  an der 3500 m hoch gelegenen Antarktisstation "WOSTOK" störungsfrei. Ebenso wurde das Gerät bei Schiffsexpeditionen in tropischen Gewässern bei Außentemperaturen von ca.  $+30^{\circ}\text{C}$  und einer relativen Luftfeuchtigkeit von über 90 % erfolgreich eingesetzt. Trotz harter Transportbedingungen auf Kettenfahrzeugen, Schiffen, Flugzeugen, Hubschraubern und Schlitten traten während des letzten 2jährigen Einsatzes keine Funktionsstörungen auf. Eine sorgfältige Wartung und Kontrolle einzelner Baugruppen, insbesondere der Kontakte der Steckverbindungen und des Zustandes der Akkumulatoren, ist aber erforderlich.

#### 5. Ausgewählte Meßbeispiele

Meßbeispiele, die mit dem Spektralfotometertyp BAS gewonnen wurden, sind schon in verschiedenen Zeitschriften publiziert (LEITERER und WELLER, 1983; LEITERER und WELLER, 1985). Auf Grund des großen Meßbereichs über 8 Größenordnungen, d. h. bei Strahldichtemessungen von  $10^{-2}$  bis  $10^6 \mu\text{Wcm}^{-2}\text{nm}^{-1}\text{sr}^{-1}$  und der Eigenschaft sowohl Strahldichtemessungen als auch Bestrahlungsstärkemessungen durchführen zu können, kann das BAS-M sehr vielseitig eingesetzt werden (insbesondere für Aufgaben der Fernerkundung, der atmosphärischen Optik und Aerosolforschung).

Abb. 3 gibt einen Überblick über die Strahldichten natürlicher Objekte bei Sonnenhöhen zwischen  $38,5^{\circ}$  und  $60^{\circ}$ . Die genaue Messung der Objektstrahldichte ist die wichtigste Größe bei Fernerkundungsexperimenten. Sie wird zur jeweils einfallenden Bestrahlungsstärke ins Verhältnis gesetzt, die man über die Milchglas-Streuscheibe mißt. Durch die Normierung auf die einfallende Bestrahlungsstärke ergeben sich dann untereinander vergleichbare spektrale Reflexionsgrade

$$\rho_{\lambda} = \frac{L_{\lambda} \tau}{E_{G\lambda}}$$

Abb. 4 und 5 sind Anwendungsbeispiele aus der atmosphärischen Optik. Der Transmissionsfaktor  $T_0$  (Abb. 4) der Erdatmosphäre variiert in weiten Grenzen, je nach geografischem Ort und Trübung der Luftmasse. Die Trübung der Atmosphäre wird durch die optische Wirksamkeit von Aerosolteilchen hervorgerufen, die als optische Dicke des Aerosols  $\tau_A$  bezeichnet wird. Die Kenntnis der optischen Dicke des Aerosols ist für viele Aufgaben wichtig; so im Rahmen der Fernerkundung der Erde (Korrektur des Atmosphäreinflusses auf Fernerkundungsdaten), als Eingangsparameter für Modellrechnungen zum Strahlungstransport der Atmosphäre und als Maßzahl für die Umweltüberwachung. Als letztes Beispiel zeigen wir in Abb. 5 die optischen Dicken des Aerosols aus dem sauersten Gebiet der Erde, der Antarktis. Mit Aerosoldicken von  $\tau_A = 0,03$  bis  $0,04$  ist in der Antarktis nur  $1/10$  bis  $1/20$  der mitteleuropäischen Aerosoldicke vorhanden. Die Messung dieser geringen Aerosoldicken war nur durch eine präzise Kalibrierung des Spektralfotometers BAS und die rechnergestützte Messung und Auswertung möglich.



Literaturverzeichnis:

- [1] LEITERER, U.; WELLER, M.; Händel, H. und BISCHOFF, K.-H.: Spektralfotometer BAS zur Fernerkundung der Erde.  
Feingerätetechnik 31. Jg., Heft 7 (1982)
- [2] LEITERER, U. und MARKGRAF, H.: Zur Strahldichtekalibrierung des Spektralfotometers BAS.  
Feingerätetechnik 32. Jg., Heft 4 (1983)
- [3] LEITERER, U. und WELLER, M.: Zur Messung von Strahlungsgrößen für Aufgaben im Rahmen der Fernerkundung der Erde - Demonstrieren einiger typischer Beispiele.  
Zeitschrift für Meteorologie 33. Jg., Heft 1 (1983)
- [4] LEITERER, U. und WELLER, M.: BAS - The project of an earth-atmosphere spectrometer for basic research.  
Acta Astronautica Vol. 12, No. 6, pp 419 - 429 (1984)
- [5] NECKEL, H. and LABS, D.: Improved data of solar spectral irradiance from 330 to 1250 nm.  
Solar Physics, 74, 231 - 250 (1981)
- [6] SCHULZ, K.-H. und LEITERER, U.: Spektralfotometer BAS-M mit Mikrorechner und dessen Erprobung unter antarktischen und tropischen Bedingungen.  
Manuskript für Feingerätetechnik 35. Jg. (1986)
- [7] SHAW, G. E.: Error analysis of multi-wavelength sun photometry.  
PAGEOPH 102, 1 - 14, Birkhäuser-Verlag Basel (1976)
- [8] STEINHAGEN, H.: Koppereinheit für den Thermostreifendrucker TSD 16.  
Radio-Fernsehen-Elektronik, Heft 11, S. 719 - 724 (1984)

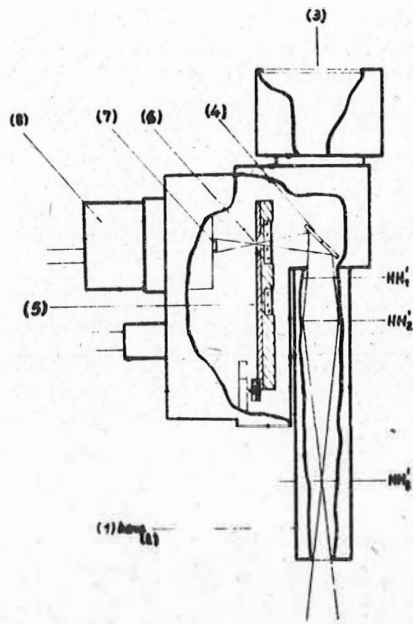


Abb. 1 Meßkopf des Spektralfotometers

- 1 Sonnenobjektiv
- 2 Weitwinkelobjektiv
- 3 Milchglas-Streuscheibe
- 4 Kippspiegel
- 5 Filtrerrad
- 6 Meßblende
- 7 Siliziumdetektor
- 8 Verstärker

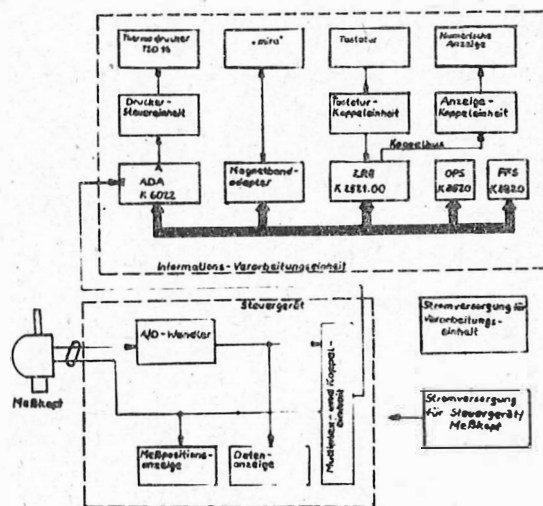


Abb. 2 Blockschaltbild des Spektralfotometers

Fernerkundungssoftware AMBA/R-RS

A. GESCHKE, A. SCHLOSSER

Robotron-Vertrieb Berlin

Zusammenfassung

Bei Beschränkung auf ein Format von 256 x 256 Bildpunkten für Multibilder und eine Informationsreduktion von 8 auf 6 bit zur Verarbeitung (Klassifikation) ist mit AMBA/R-RS eine Lösung für Fernerkundungsaufgaben mit dem BVS A6471 - AMBA/R geschaffen worden.

Diese Lösung scheint geeignet z. B. für experimentelle oder methodische Untersuchungen sowie für Schulungszwecke auf dem Gebiet Bildverarbeitung/Informatik.

Dem Nutzer stehen die Funktionen als Menüsystem oder als Programmbibliothek zur Verfügung. Es ist möglich, auf der gleichen Basis weitere Funktionen vom Anwender selbst zu erarbeiten und in das Menüsystem einzufügen.

Summary

AMBA/R-RS is a software package for remote sensing based on the image processing system BVS A6471 - AMBA/R. With this system you can process (classify) up to six (multidimensional) images each of 256 x 256 pixels, reducing the information from 8 to 6 bit per pixel.

The presented solution seems to be suitable e. g. for experimental or methodic investigations but also for studying and research in the field of image processing.

All the functions are available both in a menu system and in a program library. It is possible to create further functions and integrate them to the menu system by the user himself.

Резюме

Пакет программного обеспечения AMBA/R-RS позволяет решать задачи дистанционного зондирования Земли с помощью комплекса BVS A6471 - AMBA/R. При этом формат многозональных снимков ограничен 256 x 256 пикселями, а информация для обработки (классификации) сокращена с 8 до 6 битов.

Это решение может быть использовано, например, для экспериментальных или методических исследований, а также для целей обучения в области обработки изображений/информатики. Пользователю предоставляются в распоряжение функции в виде диалоговой программы или в виде библиотеки программ. Является возможной разработка самими пользователями дальнейших функций на той же основе и введение их в диалоговую программу.

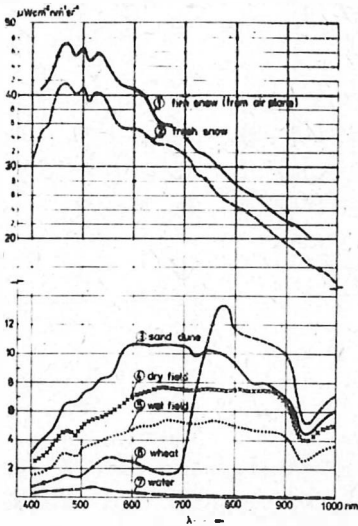


Abb. 3 Strahldichten für unterschiedliche natürliche Objekte

- 1 Firnschnee aus 6850 m Höhe;  $h_o = 54^\circ$  (15.4.1981)
- 2 frischer Schnee in 3000 m Höhe;  $h_o = 38,5^\circ$  (14.3.82)
- 3 Sanddüne in 1200 m Höhe;  $h_o = 47^\circ$  (12.4.1981)
- 4 trockener Ackerboden;  $h_o = 55^\circ$  (14.5.1981)
- 5 feuchter Ackerboden;  $h_o = 51,5^\circ$  (29.4.1981)
- 6 Weizen, 90 cm Halmlänge;  $h_o = 60^\circ$  (1.7.1981)
- 7 Wasser, Sichttiefe 2 m;  $h_o = 53^\circ$  (24.7.1980)

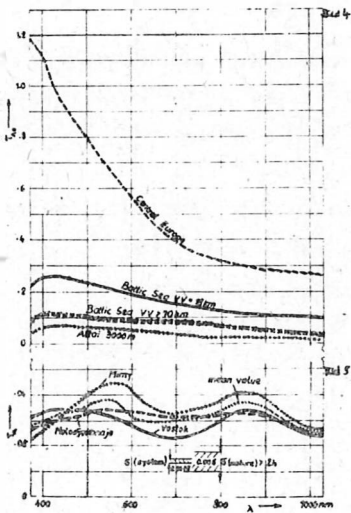


Abb. 4 Transmissionsfaktor  $T_0$  der Atmosphäre (für die Luftmasse  $m = 1$ ) in verschiedenen geographischen Regionen

- Mongolischer Altai; 3000 m Höhe (15.3.1982)  
Horizontalsicht 70 km
- Ostsee, Gotlandbecken (17.4.1982)  
Horizontalsicht 70 km
- Ostsee, Gotlandbecken (20.4.1982)  
Horizontalsicht 18 km
- Observatorium Lindenberg (26.5.1982)  
Horizontalsicht 27 km

Abb. 5 Mittel der optischen Dicke des Aerosols der antarktischen Atmosphäre an den Küstenstationen MIRNI und MOLODJOSNAJA (980 hPa) sowie der Inlandstation WOSTOK (620 hPa)

## 1. Einleitung

Das Bildverarbeitungssystem (BVS) A6471 stellt die kleinste Variante der Robotron-Bildverarbeitungssysteme dar /1/. Es ist u. a. ausgerüstet mit einer Rastergrafik des Formates 768 x 512 x 8 bit bei wahlfreiem Zugriff zu jedem Bildpunkt. Die praktische Arbeit mit dem A6471 wird softwareseitig unterstützt durch das Dialog- und Programmiersystem AMBA/R /2/. Dieses Softwaresystem enthält die spezielle höhere Programmiersprache LAMBA mit eigenem Editor und Compiler. Häufig benötigte Funktionen wurden als Parameterprozeduren gestaltet, welche Bestandteile der Sprache LAMBA selbst sind (etwa 100 Prozeduren).

Mit dem A6471 AMBA/R steht dem Anwender ein flexibles und effektives Mittel zur Erarbeitung von Bildverarbeitungsalgorithmen zur Verfügung /3/.

Für spezielle Aufgabenbereiche werden Pakete von LAMBA-Programmen als Lösungsvorschläge angeboten. Da LAMBA-Programme ausschließlich als Quellprogramme gepflegt werden, können vom Anwender selbst Änderungen in den Programmen vorgenommen werden, wodurch ihm die Anpassung bzw. Erweiterung eines Programmpaketes entsprechend seinen Wünschen ermöglicht wird.

Bei AMBA/R-RS handelt es sich um ein Softwarepaket zur Lösung von Fernerkundungsaufgaben (remote sensing). Das dabei verfolgte Konzept soll im weiteren dargestellt werden.

## 2. Das Konzept

Der für AMBA/R charakteristische Zugang zur Verarbeitung von Bildern besteht im direkten Zugriff zum Bildspeicher (Bildpunkt-Lesen, Bildpunkt-Schreiben, Matrix-Lesen, Matrix-Schreiben, Matrix-Setzen). Damit können trotz sequentieller Verarbeitungsform akzeptable Rechenzeiten selbst für aufwendige Algorithmen erzielt werden.

Eine Multibildverarbeitung wird ermöglicht durch die Aufteilung des Bildspeichers in sechs Quadrate der Größe 256 x 256 Bildpunkte (Abb. 1).

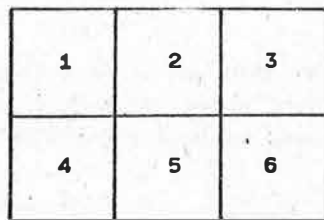


Abb. 1: Aufteilung des Bildspeichers zur Multibildverarbeitung



Damit ist die Größe multipektraler Bilder auf 256 x 256 Raeterpunkte beschränkt. Für viele Aufgabenstellungen (z. B. experimentelle oder methodische Untersuchungen) ist eine solche Bildgröße ausreichend. Andererseits können wesentlich größere Bildformate mit dem A 6471 auch nicht mehr effektiv bearbeitet werden.

Für die Bearbeitung eines einkanaligen Bildes steht der gesamte Bildepeicher zur Verfügung. Entsprechende Funktionen (z. B. Kontrastverstärkung, Histogrammberechnung) können daher auch auf Bilder der Größe 512 x 512 Bildpunkte angewendet werden (Bild 0; Abb. 2).

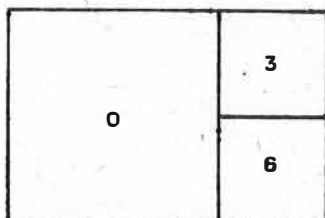


Abb. 2: Aufteilung des Bildspeichers zur Bearbeitung einkanaliger Bilder

Zur Bildeingabe sind folgende Möglichkeiten vorgesehen:

- Anschluß einer TV-Kamera und Übernahme von Bildern des Formates 512 x 512 x 6 bit oder 256 x 256 x 6 bit. Dabei belegt die Intensitätsinformation die oberen 6 bit eines Bildpunkt-Bytes, die unteren beiden bit werden standardmäßig mit Null belegt.
- Lesen eines Bildes des Formates 512 x 512 x 8 bit oder 256 x 256 x 8 bit von Magnetplatte.
- Lesen eines Bildes vom Magnetband.

Bei der Bearbeitung der Bildinformation wird angenommen, daß es sich um Bilder der Informationsstufe von 8 bit handelt, wobei nur die oberen 6 bit signifikant sind. Für Aufnahmetechniken, die 8-bit-Bilder liefern, liegen die unteren beiden bit nicht selten im Rauschbereich. Sind dagegen 8 bit signifikant, aber der Dynamikbereich des Bildes ist gering, kann durch eine Kontrastpreizung mittels Histogrammodifikation der Informationsverlust verringert werden.

### 3. Die Gestaltung von AMBA/R-RS

AMBA/R-RS stellt ein in LAMBA geschriebenes Menüsystem dar. Besonderer Wert wurde dabei auf eine modulare Struktur gelegt. Dazu konnte die von AMBA/R gebotene Möglichkeit genutzt werden, zur Laufzeit eines Programms weitere externe Programme zu starten (bis zu einer Schachtelungstiefe von 10).

Damit kann AMBA/R-RS auch verstanden werden als eine Bibliothek eigenständiger Programme, die hierarchisch strukturiert wurde. Der Nutzer kann sich also durch das Menü führen lassen, kann aber die einzelnen Funktionen auch außerhalb des Menüs abarbeiten.

Die Gestaltung des Menüs erfolgte unter folgenden Gesichtspunkten:

- Berücksichtigung technologischer Erfahrungen,
- selbsterklärender Dialog mit dem Nutzer,
- Robustheit gegenüber falscher Eingabe (Fingerfehler),
- Wiederholbarkeit von Verarbeitungsschritten (Backtracking),
- Problemorientierte und nutzerfreundliche Interaktivität.

Durch die Simplität des Softwarekonzepts und der Programmiersprache LAMBA wird ein Anwender in die Lage versetzt, Problemlösungen selbst zu erarbeiten. Neue Programme können mit geringem Aufwand in das Menüsystem eingebracht werden.

Mit dieser Softwarestrategie wird dem Nutzer entsprechend seinen Möglichkeiten die gesamte Palette des Arbeitsniveaus eröffnet:

- Menüsteuerung
- Programmbibliothek
- eigenes Programm.

#### 4. Funktionen

Die vorhandenen Programmkomplexe gehen aus den in Abb. 3 dargestellten ersten beiden Menüebenen hervor. Einige Funktionen sind in weiteren Ebenen inhaltlich stark unterteilt. So verbirgt sich hinter RSCCLASS:1 sowohl eine Clusteranalyse als auch die überwachte Klassifikation wahlweise mit rechteckigen oder beliebig geformten Trainingsgebieten.

START

```

-----
RSINP: PICTURE INPUT
S ... SCAN BY TV-CAMERA (RSSCAN)
D ... INPUT FROM MAGNETIC DISK (RSPINP)
M ... INPUT FROM MAGNETIC TAPE (RSATINP)

-----
RSGDH: GRAPHIC DEVICE HANDLING
B ... TRACKBALL USING (PRGTRCK)
P ... PSEUDOCOLORATION (RSPSEUDO)
C ... CONTRAST MODIFICATION (RSCONTRST)
M ... TEXT ON MONITOR (RSTEXT)
H ... HELP FUNCTIONS (RSHELP)

-----
RSARITH: PICTURE ARITHMETICS
O ... PICTURE OPERATIONS (RSOPERA)
I ... INDEX CALCULATIONS (RSINDEX)
S ... PICTURE STATISTICS (RSSTAT)
1 ... ONE-DIMENSIONAL HISTOGRAM (RSHG1)
2 ... TWO-DIMENSIONAL HISTOGRAM (RSHG2)
D ... DESTRIPIING (RSDESTRI)
M ... MEASUREMENT (RSMEASURE)

```

-----	<u>RSFLTR: 3 x 3 - FILTERING</u>
	D ... MEDIAN
	M ... MEAN
	A ... ARBITRARY LINEAR 3 x 3 FILTER (RSFIL3)
	G ... GRADIENT
-----	<u>RSAFFIN: GEOMETRICAL TRANSFORMATION</u>
-----	<u>RSCLASS: CLASSIFICATION</u>
	A ... PRINCIPLE COMPONENT ANALYSIS (RSPCA)
	V ... VISUALISATION BY MIX COLORATION (RSVISUAL)
	C ... COLOR TABLE SETTING (RSCTBL)
	1 ... STATISTICAL CLASS TRAINING (RSCLASST)
	2 ... BUILDING OF THE PARALLELEPIPED CLASSIFIER (RSCLASSL)
	3 ... CLASSIFICATION OF THE WHOLE IMAGE (RSCLASSC)
	M ... EDITING OF TRAINING FILES (RSEDT)
	P ... POSTTRAINING CLUSTERING (RSTCLUST)
	F ... FILE INFORMATION (RSFILE)
-----	<u>RSOUT: PICTURE OUTPUT</u>
	D ... ON MAGNETIC DISK (RSPOUT)
	P ... ON PRINTER (RSPRINT)
	M ... ON MAGNETIC TAPE
	STOP

Abb. 3: Die ersten zwei Menüebenen

Mit AMBA/R-RS erzielte praktische Ergebnisse werden in /4/ dargestellt. Dort sind auch Hinweise zur Klassifikationsstrategie und Angaben über Bearbeitungszeiten enthalten.

#### 5. Literatur

- /1/ KEMPE, V.; KENNER, F.; REBEL, B.; SCHULZE, W.; WILHELMI, W.  
Interaktives Bildverarbeitungssystem robotron A647x  
Neue Technik im Büro 26 (1982), 5, S. 131 - 137
- /2/ ROTH, K.; HUFNAGEL, P.; VOSS, K.; SCHLOSSER, A.; THEURICH, J.  
Hardware und Software des Bildverarbeitungssystems A6471 - AMBA/R  
Bild und Ton 12 (1984), 37, S. 358 - 361
- /3/ VOSS, K.; HUFNAGEL, P.  
Interaktive Softwaresysteme für die automatische Bildverarbeitung  
Bild und Ton 2 (1984), 37, S. 41 - 46
- /4/ GESCHKE, A.  
Klassifikationsergebnisse mit dem Bildverarbeitungssystem (BVS) robotron A6470  
Tagungsmaterial

Geometrische Vorverarbeitung von Bilddaten polumlaufender Satelliten in Real-Time

H.-H. VAJEN, H.-J. PANNOWITSCH

Akademie der Wissenschaften der DDR

Institut für Kosmosforschung  
Satellitenbodenstation NeustrelitzZusammenfassung

Es werden die wichtigsten Bildverzerrungen, die eine geometrische Vorverarbeitung notwendig machen, erläutert. Es werden die angewandten Algorithmen für die Entzerrung vorgestellt, die einer Hardware-Lösung gerecht werden. Für eine Empfangsstation im operativen meteorologischen Dienst wird die Konzeption eines Entzerrungsprozessors vorgestellt.

Summary

The most important image distortions which make necessary a geometric preprocessing are discussed. The applied algorithms are introduced for image correction with hardware. A conception of a real-time correction processor is introduced for application in weather image receiving and processing stations.

Резюме

Рассматриваются главные виды искажений изображений, требующие геометрической корректуры. Описываются применяемые алгоритмы трансформирования снимка. Для станции приёма данных оперативной метеорологической службы описывается процессор геометрического трансформирования.

## 1. Einleitung

Polumlaufende Satelliten auf sonnensynchronen Bahnen werden für die Meteorologie, die Fernerkundung, die Ozeanologie und für andere Zwecke genutzt. Größtenteils sind sie Träger von Zeilenscannern zur Erzeugung digitaler Bilddaten. Diese Bilddaten werden über eine schnelle Datenübertragungsstrecke in den verschiedensten Datenstrukturen an eine Bodenstation übertragen. Dort werden sie zwischengespeichert und vorverarbeitet an die Nutzer übergeben. Die digitalen Bilddaten der oben genannten Satelliten haben folgende Eigenschaften:

- Die Grauwertauflösung der Bilddaten beträgt meistens 8 bit
- die Empfangsdatenrate kann bis zu 1 Mbit pro Sekunde betragen
- die Bilddaten werden von Zeilenscannern mit großem Scanwinkel (bis zu  $\pm 55^\circ$ ) erzeugt
- die Besonderheiten der Satellitenbahn erlauben die Näherung, daß die Pixel einer Zeile eine gleiche geographische Breite besitzen.

Besonders die letzte Eigenschaft erlaubt eine Beseitigung der größten geometrischen Verzerrungen bereits während des Empfangs, wodurch speziell bei der Interpretation von Bilddaten meteorologischer Satelliten eine hohe Operativität erreicht werden kann. Bei den Verzerrungen von kosmischen Bilddaten unterscheidet man zwischen systematischen und zufälligen Verzerrungen, deren Ursachen in vier Ebenen zu suchen sind:

- im Zeilenscanner einschließlich seiner Steuerung
- im Satelliten als Träger des Zeilenscanners
- in der Atmosphäre als optischer Übertragungsstrecke
- in der Gestalt und der Bewegung der Erdoberfläche als Abbildungsobjekt

Die Vorverarbeitung soll die groben systematischen Verzerrungen beseitigen. Das sind die Panoramaverzerrung und die Verzerrung durch die Erdrotation. Für diese Verzerrungen ist ein Echtzeitentzerrungsprozessor zu schaffen. Die im Bild verbleibenden Verzerrungen werden durch die nachfolgende Feinentzerrung korrigiert.

## 2. Beseitigung der Verzerrung durch Erdrotation

Während des Ab tastens einer Zeile bewegt sich die Erde mit der Winkelgeschwindigkeit  $\omega_E$  weiter. Ein Punkt auf der Erdoberfläche legt während einer Umdrehung des Scannerspiegels die Strecke  $\Delta X$  seinem Breitenkreis zurück (Abb. 1).

$$\Delta X(\varphi) = \omega_E \cdot R_E \cdot \cos \varphi \cdot t_{UR}$$

$R_E$  - Erdradius

$\omega_E$  - Winkelgeschwindigkeit der Erde

$\varphi$  - geographische Breite

$t_{UR}$  - Umlaufzeit des Scannerspiegels

$\Delta X$  stellt hierbei den Absolutbetrag der Verschiebung dar. Für die Entzerrung ist jedoch nur die Größe der Verschiebung in Koordinaten des Ausgabebildes von Bedeutung. Das verwendete Rastermaß ist die mittlere Auflösung in Zeilenrichtung während des Überfluges. Unter der Voraussetzung, daß alle Pixel einer Zeile auf einem Breitenkreis liegen, ist  $\Delta X$  konstant. Das bedeutet, daß  $\Delta X$  nur zeilenweise berücksichtigt werden muß.  $\Delta X$  wird zeilenweise addiert. Falls die kumulative Verschiebung größer als ein Pixel wird, wird die folgende Zeile im Ausgabebild um einen Pixel verschoben. Dadurch wird die Verzerrung durch die Erdrotation im Ausgabebild kompensiert. Die zur Berechnung der Verschiebung  $\Delta X$  notwendige geographische Breite einer Zeile und die mittlere Zeilenauflösung werden aus der Bahnrechnung für den Satelliten ermittelt.



### 3. Panoramische Entzerrung

Die Gestalt der Erdoberfläche verursacht die panoramische Verzerrung von Satellitenbildern. Besonders störend ist das bei großflächigen Aufnahmen wie z. B. bei Wetterbildern. Abbildung 2 zeigt die Abbildungsverhältnisse. Es ist zu erkennen, daß die Länge der abgetasteten Strecke  $X(t)$  auf der Erdoberfläche nicht proportional dem Scanwinkel  $\alpha(t)$  ist.  $A$  ist die momentane Bahnhöhe des Satelliten. Für die Entzerrung eines Bildes wird eine mittlere Bahnhöhe aus der Bahnrechnung ermittelt. Die Funktion  $X(t)$  entspricht der Transformation einer Eingabezeile in eine Ausgabezeile. Für die Panoramaentzerrung wird die Länge der abgetasteten Eingabezeile in Teile gleicher Länge zerlegt. Diese Länge ist das Rastermaß des Ausgabebildes. Dadurch werden im Ausgabebild quadratische Pixel erzeugt. Da das momentane Blickfeld des Scanners bei großen Scanwinkeln bereits mehrere Pixel des Ausgabebildes umfaßt, entstehen pro Zeile mehr Ausgabepixel als Eingabepixel. Zur Panoramaentzerrung wird für jeden Eingabepixel ein Vervielfältigungsfaktor ermittelt, um eine Dehnung der Ausgabezeilen zu erreichen. Die Zuordnung der Vervielfältigungsfaktoren zu den Eingabepixeln einer Zeile wird als Entzerrungsfunktion bezeichnet. Diese Entzerrungsfunktion bleibt während des Überfluges für alle Bildzeilen konstant und kann daher bereits vor dem Empfang aus der Bahnrechnung ermittelt werden.

### 4. Vorverarbeitung in Real-Time

Die Korrektur der oben genannten Verzerrungen ist mit Standard-EDVA i. a. sehr zeitaufwendig und daher in Real-Time nicht zu realisieren. Dadurch wird die in vielen Bereichen notwendige Operativität von Wetterbildempfangsanlagen für hochauflösende Satellitenbilddaten eingeschränkt. Das bedeutet, daß für lokal eng begrenzte Gebiete z. B. Wetterwarnungen nur verspätet gegeben werden können.

Ziel der Echtzeitvorverarbeitung ist es, die auftretenden groben Verzerrungen schon während des Prozesses der Bildregistrierung zu beseitigen. Dazu wird vor den Speichertrakt ein Entzerrungsprozessor geschaltet. Dieser Vorverarbeitungsprozessor realisiert die Beseitigung der oben genannten Verzerrungen für multispektrale, pixelverschachtelte Scannerbilder polarorbitierender, sonnensynchroner Wettersatelliten während des Empfangs. Gleichzeitig sind in ihm noch andere, für den Satellitenbildempfang notwendige Funktionen enthalten, zum Beispiel das Selektieren von Telemetrieinformationen, Grauwerttransformationen mit separater Kennlinie für jeden Spektralkanal und Kanalschachtelung.

Der gesamte Prozessor umfaßt 8 Leiterkarten, von denen vier Standard-OEM-Baugruppen des Mikrorechnersystems K 1520 und vier im IKF entwickelte Spezialleiterkarten sind. Gearbeitet wird vorteilhaft mit der Tabellentechnik, um hohe Datenraten realisieren zu können. Die jeweils benötigten aktuellen Tabellen werden dem Vorverarbeitungsprozessor von einem übergeordneten Leitreechner über eine Standard-Interfaceeinheit übergeben. Die maximale Datenrate, die vorverarbeitet werden kann, hängt von der Telemetriestruktur des empfangenen Satelliten ab. Die Umstellung auf andere Satelliten bzw. Telemetriestrukturen ist ohne großen Aufwand realisierbar. Die Möglichkeit der wahlweisen Registrierung von Rohdaten bleibt erhalten.

### 5. Schlußfolgerungen

Der Vorverarbeitungsprozeß, der die beiden genannten Entzerrungen umfaßt, läßt sich in zwei voneinander getrennte Schritte zerlegen. Das ist einerseits eine Verschiebung zwischen aufeinanderfolgenden Zeilen um einen Pixel in größeren Zeitabständen. Dieser Zeit-

abstand umfaßt die Empfangsdauer mehrerer Zeilen. Andererseits ist es die Vervielfältigung der Pixel in einer Abtastzeile entsprechend ihrer Spaltennummer. Für beide Schritte lassen sich die Parameter für die Steuerung des Vorverarbeitungsprozesses mit hinreichender Genauigkeit a priori aus der Bahnrechnung ermitteln. Die Zerlegung des Vorverarbeitungsprozesses in zwei getrennte Schritte und die Einfachheit der benötigten Parameter erlauben eine günstige Umsetzung des Prozesses in eine entsprechende Hardware für Empfangsanlagen digitaler Bilddaten anfangs genannter Satellitentypen. Dadurch wird eine Real-Time-Vorverarbeitung bei hohen Empfangsdatenraten möglich und die Operativität bei der Interpretation digitaler kosmischer Bilddaten erhöht. Diese Vorverarbeitungsschritte können aber auch nach dem Empfang unter Softwaresteuerung auf einem BVS A 6470 durchgeführt werden, wobei durch die beschriebene Art und Weise kurze Verarbeitungszeiten garantiert werden können, die angesichts der naturgemäß großen anfallenden Datenmengen bei der digitalen Bildverarbeitung immer mehr in den Blickpunkt rücken.

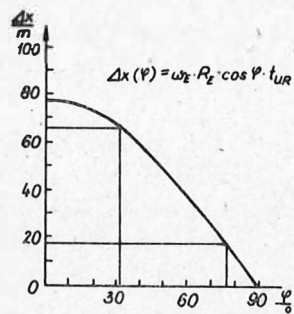


Abb. 1 Verschiebung zweier aufeinanderfolgender Zeilen in Abhängigkeit von der geographischen Breite

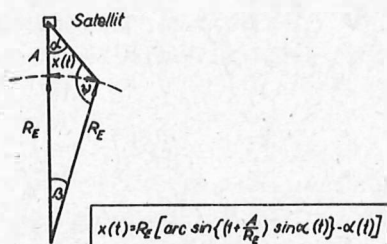


Abb. 2 Geometrische Abbildungsverhältnisse bei Abtastung der Erdoberfläche

Ein Datenbasissystem für Bilddaten

H.-J. GRUNDMANN

Akademie der Wissenschaften der DDR

Institut für Kosmosforschung,

Satellitenbodenstation Neustrelitz

Zusammenfassung

Es wird ein Datenverwaltungssystem für Bilddaten vorgestellt. Ein Abfrageformalismus realisiert die Schnittstelle zwischen Nutzer und Datenbasis. Mit ihm können die symbolischen Daten der Bilder manipuliert werden.

Summary

In this paper an image database system is presented. A query language as an interface between user and the database is developed. It is designed to manipulate symbolic data.

Резюме

В работе показана система управления данными снимка. Формализация опроса реализует сопряжение между потребителем и базисом данных. С её помощью можно также манипулировать символическими данными снимка.

1. Einführung

In einem Bildverarbeitungssystem für Wetterbilder fällt in relativ kurzer Zeit eine große Zahl von Bildern an, von denen ein Teil über längere Zeit zu Vergleichszwecken aufgehoben werden muß, der größere Teil jedoch nur kurzfristige Bedeutung erlangt. Dies erfordert sowohl ein häufiges Reorganisieren der Daten, um Platz für aktuelle Bilder zu schaffen, als auch eine effektive Verwaltung der im System verbleibenden Daten. Um diese Aufgabe zu lösen, ist die Verwendung eines Datenbasissystems für Bilddaten unumgänglich.

Unter einem Datenbasissystem wird eine Gruppe von Programmen zur Unterstützung der Datenbank verstanden, die eine integrierte Gesamtheit von Dienstleistungen anbieten und eine effektive Handhabung der Beziehungen, die zwischen den Daten in einer Datenbank existieren, erlauben /1/.

Eine Reihe bereits existierender Datenbasissysteme sind in ihrem Umfang zu aufwendig und (oder) der Spezifik von Bilddaten (relativ wenige aber große Dateien) nicht angepaßt. Es wurde darum notwendig, das Datenbasissystem für Bilddaten DASU 86 zu konzipieren, welches im folgenden beschrieben wird.

2. Das Datenbasissystem DASU 86

Um die im Bildverarbeitungssystem gespeicherten Bilder (auf Festplatten bzw. anderen Datenträgern) unterscheiden zu können, werden ihnen Daten zugeordnet. Diese Daten können sich auf die Quelle der Bilder (Satellitentyp), auf statistische Eigenschaften (mittl. Grauwert) oder auch auf die Anordnung auf Datenträgern (Gerätetyp, -nummer, Fileidentifikation) beziehen. Da diese Daten "Eigenschaften" von Bildern beschreiben, werden sie im weiteren Attribute genannt. Bilder und ihre Attribute bilden die Datenbasis des Bildverarbeitungssystems. Die Datenbasis besteht bei DASU 86 aus maximal 750 Bildern sowie deren Attributen. Die Attribute sind generierbar und werden in einem Attributhandler erstellt. Das Datenbasissystem kann mit maximal 32 Attributen arbeiten. Von diesen Attributen beziehen sich 16 auf numerische Daten (Gleitkomma) und 16 auf Zeichenketten (Strings). Um die Antwortzeit des Systems möglichst klein zu halten, wurde mit invertierten Daten gearbeitet.

### 2.1. Formulierung von Abfragen im Datenbasissystem DASU 86

Die Formulierung von Abfragen obliegt dem Benutzer. Durch sie verkehrt er über Suchroutinen mit der Datenbasis. Das Formulieren von Fragen in einer dem System verständlichen Form wird durch Abfrageroutinen unterstützt, die Suchargumente verarbeiten. Zur Formulierung von Suchargumenten und zur Bildung komplexer Ausdrücke können sowohl Vergleichsoperatoren (größer, gleich, kleiner) als auch der Boolesche Operator 'AND' verwendet werden. Eine sinnvolle Verknüpfung dieser Operatoren ist möglich; bei Zeichenkettenattributen ist nur der Vergleichsoperator 'gleich' sinnvoll. Der Boolesche Operator 'AND' wird durch die Anwendung der Vergleichsoperatoren auf verschiedene Attribute zur Formulierung komplexer Ausdrücke realisiert.

Ein Beispiel:

Gesucht werden alle in der Zeit von 07.30 bis 13.05 Uhr vom Satelliten M 1 empfangenen Bilder der Datenbasis, deren Bildmittelpunkte im Bereich der geographischen Längen von 13 Grad bis 53 Grad liegen und deren Bildnummer kleiner 50 ist.

Folgende Attribute der Datenbasis werden verwendet:

- 5 Bildnummer
- 6 Zeit
- 7 geograph. Länge
- .
- .
- .
- 17 Satellit

5,6 und 7 sind numerische Attribute, 17 ist ein Zeichenkettenattribut. Um den komplexen Frageausdruck zu formulieren, sind folgende Eigenschaften notwendig: (AB ist das Schlüsselwort für den Abschluß des Suchargumentes)

- 6 KL 1305. GR 0705. AB
- 7 GL 13. KL .53. AB
- 5 KL 50. AB
- 17 M 1

DASU 86 meldet sich nach Ablauf der Suchroutine mit der Zahl der Nachweise und bietet Funktionen an, die sich im allgemeinen auf die nachgewiesenen Bilder beziehen.

### 2.2. Funktion des Datenbasissystems

Aus der Menge der Funktionen von DASU 86 sollen hier nur einige kurz vorgestellt werden:

#### a) Sortieren:

Diese Funktion ermöglicht es, numerische Attribute der ausgewählten Bilder der Größe nach anzuordnen.

#### b) Löschen:

Die Löschfunktion fordert zunächst zur Eingabe eines Kennwortes auf und lehnt bei falscher Eingabe LösCHForderungen ab. Sie erkennt, ob bereits ein SortierunGSlauf durchgeführt wurde. Die Funktion "löscht" Bilder, indem es ihren Platz als frei deklariert.

#### c) Protokoll

Es werden die Attribute von Bilddaten ausgegeben.

### 3. Ergebnisse

Es wurde ein Datenbasissystem für Bilddaten entwickelt und auf einem Mikrorechner K 1630 implementiert. Die Antwortzeit des Systems bei Suchläufen liegt unter 15 Sekunden. Das Programmsystem ist an keine spezielle Hardware gebunden. Die Formulierung von Abfragen (wobei Vergleichsoperatoren und der Boolesche Operator 'AND' Verwendung finden) wird durch Abfrageroutinen unterstützt, so daß die Bedienung des Systems leicht erlernbar ist.

Zugriffsoptimierte Abspeicherung großer Bilddatenmassive auf Plattenspeichern

P. LIECKFELDT, K.-D. MISSLING, B. NEUMANN

Akademie der Wissenschaften der DDR  
 Institut für Kosmosforschung,  
 Satellitenbodenstation Neustrelitz

Zusammenfassung

Es werden Ergebnisse von Untersuchungen zur optimierten Abspeicherung großer Bilder auf Magnetplattenspeichern unter dem Kriterium des zeitminimierten Zugriffs auf beliebige Teilbilder von 512 x 512 Pixel angegeben. Dabei werden folgende Probleme behandelt:

Modell des Magnetplattenspeichers, optimierte Zerlegung des Gesamtbildes in Bildsegmente, effektive Strategien der Speicherung der Bildsegmente. Theoretisch läßt sich eine Reduktion der Zugriffszeit um 80 ... 84 % erwarten, eine hardwaremäßig realisierte Kompromißvariante für die echtzeitgerechte Abspeicherung mehrkanaliger Satellitenbilder läßt eine Reduktion um ca. 70 % zu.

Summary

The problem of minimization of the access time to any sub-image of 512 x 512 pixel which is a part of a large image stored on magnetic disk is investigated. We are dealing with the problems: mathematic simulation of the magnetic disk drive, optimal division of the image into image segments, advantageous strategy of disk storage of the segments. First results show that a reduction of the access time to any sub-image up to 80 ... 84 % is possible by optimal disk storage of the image. A special hardware processor for real time application in a satellite ground station gives a reduction of about 70 %.

Резюме

В работе представлены результаты исследований оптимального запоминания больших массивов видеоданных по критерию минимального времени доступа к любым сегментам изображения размером 512 x 512 элементов. Обсуждаются следующие проблемы: модель накопителя на магнитных дисках, оптимальное разложение изображения на сегменты, эффективные стратегии запоминания сегментов изображения. Теоретически можно ожидать сокращение времени обращения на 80-84 %. Технически реализованный вариант для запоминания в реальном времени многоканальных изображений позволил сократить время обращения на 70 %.

Für viele Aufgaben der Bildverarbeitung im operativen Dienst, wie z. B. bei der Fernerkundung oder der Meteorologie, ist das Problem des zeitminimierten Zugriffs auf Teilbilder aus großen Bilddatenmassiven zu lösen (Abb. 1). Diese Arbeit gibt erste Ergebnisse von Untersuchungen zur optimierten Abspeicherung großer Bilder auf Magnetplattenspeichern unter dem Kriterium des zeitreduzierten Zugriffs auf beliebige Teilbilder an. Es werden folgende Teilaufgaben behandelt:

- Modell des Magnetplattenspeichers
- optimierte Zerlegung des Gesamtbildes in Bildsegmente
- effektive Strategie der Speicherung der Bildsegmente



### Modell des Magnetplattenspeichers

Für die betrachtete Klasse von Plattenspeichern gelten folgende technische Gegebenheiten:

- Die kleinste adressierbare Einheit ist ein Sektor  $s$  mit einer Speicherkapazität von  $S$  Byte
- Jeder Sektor wird durch ein Koordinatentripel adressiert

$$s = s(X_1, X_2, X_3)$$

Abb. 2 zeigt die prinzipielle Funktion eines Plattenspeichers.

Zur Beschreibung des 3-dimensionalen Koordinatenraumes werden im weiteren diskrete Zylinderkoordinaten verwendet.

$$s = s(r, \varphi, z)$$

mit

$$r = 0, 1, \dots, R-1$$

$$\varphi = 0, 1, \dots, \Phi-1$$

$$z = 0, 1, \dots, Z-1$$

Es sind  $z$  - Zylinderadresse  
 $r$  - Spurendresse innerhalb des Zylinders  
 $\varphi$  - Sektoradresse innerhalb der Spur

Die Gesamtspeicherkapazität  $K$  eines Plattenspeichers beträgt damit

$$K = R \cdot \Phi \cdot Z \cdot S \quad \text{Byte}$$

Für die durchgeführten Untersuchungen sind die unterschiedlichen Zugriffskennlinien in den Koordinaten  $r, \varphi, z$  wesentlich. Die Zugriffszeiten  $t_z(s)$  auf einen beliebigen Sektor  $s$  ( $r_{i+1}, \varphi_{i+1}, z_{i+1}$ ) ergibt sich durch Addition der Positionierzeit  $t_{\text{pos}}$  ( $r_{i+1} - r_i, \varphi_{i+1} - \varphi_i, z_{i+1} - z_i$ ) und der Zeit für das Lesen des Sektors  $t_1(s)$

$$t_z(s) = t_1(s) + t_{\text{pos}}(\Delta r, \Delta \varphi, \Delta z)$$

Dabei steht der Index  $i$  für den  $i$ -ten Zugriff.

$$\Delta r = r_{i+1} - r_i, \Delta \varphi = \varphi_{i+1} - \varphi_i, \Delta z = z_{i+1} - z_i$$

sind dann die Differenzen in

den Koordinaten vom  $i$ -ten zum  $(i+1)$ -ten Zugriff.

$$t_1(s) = \frac{1}{\Phi \cdot U}$$

$U$ : Plattenumdrehung  $\cdot s^{-1}$

Für  $t_{\text{pos}}(\Delta r, \Delta \varphi, \Delta z)$  wurde folgendes angenommen:

Die Positionierung in  $\varphi$  erfolgt zyklisch sequentiell mit einer Zykluslänge von  $\Phi$ , d. h.:

$$\Delta \varphi = \begin{cases} \varphi_{i+1} - \varphi_i & \text{für } \varphi_i \leq \varphi_{i+1} \\ \varphi_{i+1} + \Phi - \varphi_i & \text{für } \varphi_i > \varphi_{i+1} \end{cases}$$

Die Positionierzeit innerhalb der Spur eines Zylinders ist dabei indirekt proportional der Plattenumdrehungsgeschwindigkeit  $U$

$$t_{\text{pos}}(r, \Delta \varphi, z) = \frac{\Delta \varphi \bmod \Phi - 1}{\Phi \cdot U}$$

Die Positionierung in  $r$  geschieht bei der betrachteten Gerätklasse rein elektronisch. Die Positionierzeit für beliebige  $\Delta r$  wird damit in diesem Modell vernachlässigbar klein:

$$t_{\text{pos}}(\Delta r, \varphi, z) = 0$$

Die Positionierung in  $z$  erfolgt durch einen elektromechanischen Antrieb. Die Kennlinie kann mit hinreichender Genauigkeit als linear angesetzt werden.

$$t_{\text{pos}}(r, \varphi, \Delta z) = \alpha / \Delta z + \beta (1 - \delta_{\Delta z})$$

mit

$$\delta_{\Delta z} = \delta_{z_{i+1}, z_i} = \begin{cases} 1 & \text{wenn } z_{i+1} = z_i \\ 0 & \text{wenn } z_{i+1} \neq z_i \end{cases}$$

Ist eine Positionierung in  $z$  erforderlich ( $\Delta z \neq 0$ ), so wird nach Abarbeitung der  $t_{\text{pos}}(r, \varphi, \Delta z)$  das Aufsuchen des adressierten Sektors in  $\varphi$  erforderlich. Für die folgenden Rechnungen wird in diesem Fall der Mittelwert des Abstandes von Ausgangs- und Zielsektor bei angenommener Gleichverteilung der Positionen  $\varphi_i$  und  $\varphi_{i+1}$  in  $\varphi = 0, 1, \dots, \Phi - 1$  eingesetzt:

$$t_{\text{pos}}(\Delta r, \Delta \varphi, \Delta z) = \frac{1}{\Phi \cdot U} \cdot \frac{\Phi^2 - 1}{3\Phi} + \alpha / \Delta z + \beta (1 - \delta_z)$$

#### Optimierte Zerlegung des Gesamtbildes in Bildsegmente

Ein Bild  $B_{NN}$  der Größe  $N \times N$  Pixel ist in Segmente  $O(a, b)$  der Größe  $a \times b$ ; ( $a \cdot b = S$ ); derart zu zerlegen, daß beim Bereitstellen eines beliebigen Teilbildes  $T_{\mu\nu}$  der Größe  $\mu \times \nu$  Pixel im Mittel die minimale Anzahl  $Q_{\text{min}}$  von Sektoren vom Plattenspeicher zu lesen ist.

Die mittlere Anzahl  $\bar{Q}$  von Sektoren, die zur Bereitstellung eines Teilbildes beliebiger Position in  $B_{NN}$  zu lesen ist, beträgt  $\bar{Q} = \bar{n}_a \cdot \bar{n}_b$ .

$n_a \times n_b$  ist die Anzahl der Segmente  $O(a, b)$ , die zum Aufbau von  $T_{\mu\nu}$  mindestens zu lesen ist (s. Abb. 3).  $\bar{n}_a$  und  $\bar{n}_b$  sind die Scharmittelwerte von  $n_a$  und  $n_b$  über alle möglichen Anfangspositionen von  $T_{\mu\nu}$  im linken oberen Segment, das Pixel von  $T_{\mu\nu}$  enthält.  $\bar{Q}$  wird minimal, wenn für  $a, b$  gilt:

$$a = \sqrt{\frac{\mu}{\nu} S} \quad b = \sqrt{\frac{\nu}{\mu} S}$$

Abb. 4 zeigt  $\bar{Q}^*$  über  $\omega = \left(\frac{a}{b} / \frac{\mu}{\nu}\right)$  mit dem Formparameter  $f = \frac{\mu}{\nu}$  des  $T_{\mu\nu}$ .  $\bar{Q}^*$  ist das auf eine Teilbildgröße  $\mu \cdot \nu = 512^2$  normierte  $\bar{Q}$ .

#### Untersuchte Speicherungsstrategien

Die konventionelle Strategie des unter Echtzeitbedingungen ablaufenden Abspeicherns eines zeilenweise von einer Datenquelle gesendeten Bildes besteht darin, jede einlaufende Bildzeile in Segmente der Größe  $S$  Byte zu zerlegen ( $O(a, b) = O(1, s)$ ) und diese Zeilensegmente fortlaufend bei Durchlaufen der Adreßvariablen ( $((\varphi), r), z$ ) wegzuspeichern (Abb. 5a).

Die Zylinderkapazität des Speichers beträgt  $R \cdot \Phi$  Sektoren  $\Phi$  S Byte. Eine andere Speicherungsstrategie zielt darauf ab, je Zylinder ein Bildfragment der Größe  $\gamma_a \times \gamma_b$  Segmente  $a \times b$  Pixel abzulegen und benachbarte Fragmente auf im Mittel möglichst nahen Zylindern anzuordnen (Abb. 5b).

In Abb. 6a sind die theoretisch ermittelten mittleren Zugriffszeiten auf ein beliebiges Teilbild der Größe  $512 \times 512$  Pixel gezeigt mit der Größe  $N \times N$  des Gesamtbildes als Parameter. Dabei zeigt  $\bar{t}_z$  die Zeiten für die Strategie nach 5a) und  $\bar{t}_z^*$  jene für die Strategie nach 5b). Dabei gilt die obere Grenze des schraffierten Gebietes  $\bar{t}_z^*$  für den Parameter  $N = 20.000$  und die untere Grenze für  $N = 2048$ ; für die übrigen  $N$  liegen die Kurven dazwischen.

Abb. 6b zeigt die im Vergleich dazu sehr gut übereinstimmenden Ergebnisse experimenteller Versuche mit dem Festplattenspeicher K 5501 für die Strategie nach 5a). Diese Ergebnisse wurden durch Mittelung aus 50 Versuchen mit zufälliger Lage des aufzusuchenden Teilbildes erhalten.

Die Arbeit zeigt folgende Ergebnisse:

- Bei optimaler Bildzerlegung in Segmente  $O(a,b)$  und günstiger Anordnung der Bildsegmente auf dem Plattenspeicher läßt sich die mittlere Zugriffszeit auf ein beliebiges Teilbild  $T_{\mu\nu} = 512 \times 512$  Pixel gegenüber der zeilenweisen Abspeicherung prinzipiell bei Bildgrößen von  $2048 \times 2048$  ...  $10.000 \times 10.000$  Pixeln auf ca. 16 ... 20 % reduzieren.
- Eine hardwaremäßig mit vertretbarem Aufwand realisierbare Kompromißvariante, die den hohen Echtzeitanforderungen beim Erfassen großer Bilddatenmassive in der Kosmosforschung gerecht wird, gewährleistet eine suboptimale Zugriffszeit.

$$t_{\text{sub}} \approx 1,4 t_{\text{min}} (\triangleq h^* = 2^9)$$

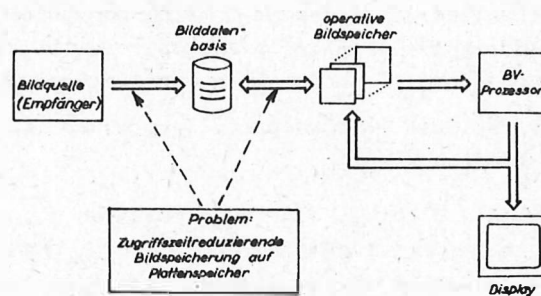


Abb. 1 Typische Struktur eines Systems der operativen Bildverarbeitung, z. B. in der Fernerkundung und Meteorologie

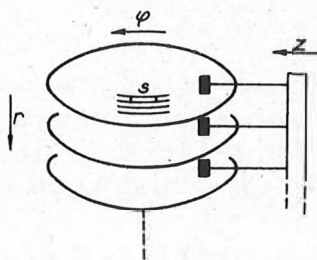


Abb. 2 Modell des Magnetplattenspeichers

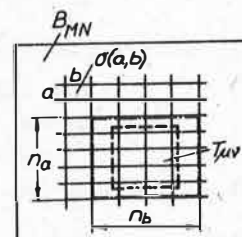


Abb. 3 Zerlegung des Gesamtbildes

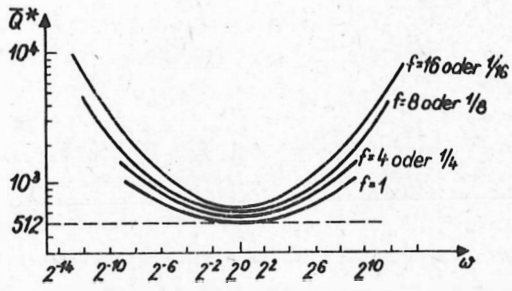


Abb. 4 Mittlere Anzahl zu lesender Sektoren für die Bereitstellung eines Teilbildes  $T_{\mu\nu}$  über  $\omega = \frac{\alpha \cdot \nu}{\sigma \cdot \mu}$  mit dem Formparameter  $f = \frac{\mu}{\nu}$  des  $T_{\mu\nu}$

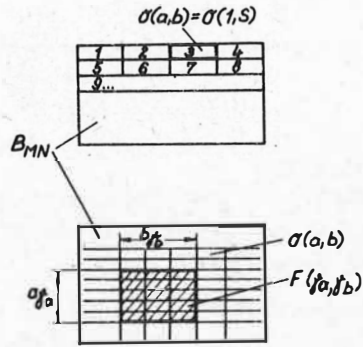


Abb. 5 Untersuchte Speicherungsstrategien;  
5a bildzeilenweise  
5b bildfragmentweise

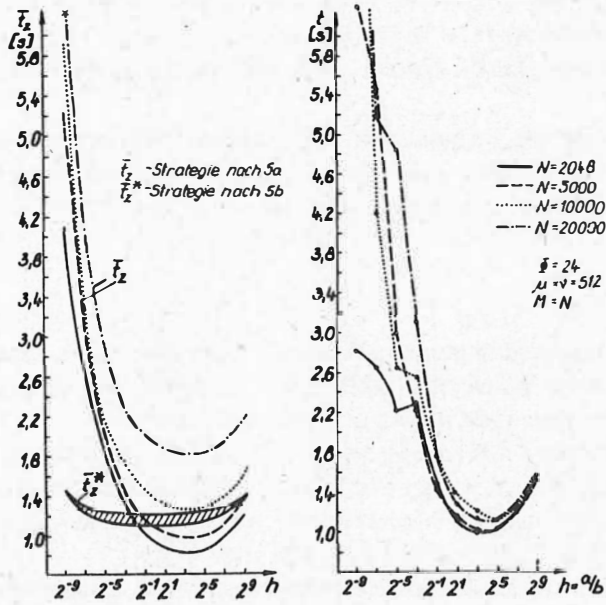


Abb. 6a Theoretisch ermittelte Zugriffszeiten

Abb. 6b Experimentell ermittelte Zugriffszeiten

Klassifikationsergebnisse mit dem Bildverarbeitungssystem (BVS) robotron A6470

A. GESCHKE  
ROBOTRON-VERTRIEB BERLIN

Zusammenfassung

Bei dem Vergleich der Klassifikationsergebnisse einer Satellitenszene Syriens mit dem Softwarepaket AMBA/R-RS (BVS A6471) und IPU (BVS A 6472) wurde eine Übereinstimmung bei 80 % aller Pixel festgestellt.

Da das Klassifikationsprogramm für das A6472 mit drei Quadern pro Klasse im Merkmalsraum arbeitet, ergaben sich bei gleich gewählten Streufaktoren spürbare Unterschiede im Verhältnis der rückgewiesenen zu den mehrfach klassifizierten Pixeln (A6471: 7 % bzw. 12,5 %, A6472: 18,8 % bzw. 3,7 %).

Das Ziel der Untersuchung bestand in der Optimierung der Klassifikationsstrategien. Bei AMBA/R-RS wurde eine Nechklassifikation gewählt, die bei ausreichender Schnelligkeit befriedigende Resultate liefert. Für das IPU des A6472 wurde eine neue Verfahrensweise erarbeitet, die implementiert wird.

Summary

The comparison of classification results of a satellite scene of Syria with the software package AMBA IR-RS (BVS A6471) and IPU (BVS A6472) yielded a coincidence for 80 % of all pixels.

As the classification programme for A6472 uses three parallelepiped per class in the feature zone, there were considerable differences in the ratio of the returned pixels and the repeatedly classified pixels (A6471: 7 % and 12.5 %, respectively; A6472: 18.8% and 3.7 %, respectively).

The aim of the investigation was to optimize, the classification strategies. An after-classification yielding satisfactory results with sufficient speed was chosen for AMBA/R-RS. For IPU of A6472 some new procedure was elaborated which is being implemented.

Резюме

При сравнении результатов классификации одной сцены изображения на космическом снимке района Сирии, проводимых с использованием ППП AMBA /R - RS /BVS A6471/ и ППП IPU/BVS A6472/ было получено, что 80% всех пикселей классифицировано правильно.

Так как программа классификации, используемая на BVS A6472, работает в пространстве признаков с тремя параллелепипедами для одного класса, то при одинаково выбранных факторах рассеивания получаются заметные различия в отношении распознанных пикселей к неклассифицированным пикселям / A6471: 7% и 12,5% A6472: 18,8 % и 3,7 %/.

Цель классификации состояла в оптимизации классификации. При применении AMBA/R - RS была выбрана последующая дополнительная классификация, которая при достаточной скорости обеспечивает удовлетворительные результаты. Для IPU A6472 разрабатывается новый метод, который может быть использован на этой системе.



## 1. Einleitung

Mit dem Bildverarbeitungssystem A6471 und A6472/73 waren bereits vor einigen Jahren die hardwareseitigen Voraussetzungen für eine effektive und relativ breite Bildverarbeitung in der DDR gegeben. Da die Hardware wiederholt beschrieben wurde (z. B. in /1/), soll hier nur kurz daran erinnert werden, daß die Systeme über einen 16-bit-Minirechner K1630 mit der üblichen Peripherie verfügen und durch eine Grafiktsteuerung (A6471) bzw. einen zusätzlichen Displayprozessor für die parallele Verarbeitung (A6472/73) ergänzt wurden.

Damit stehen dem Nutzer die Möglichkeiten der seriellen und damit relativ langsamen Verarbeitung oder der parallelen Verarbeitung offen. Die Entscheidung wird jeweils vom individuellen Kosten-Nutzen-Verhältnis und den primären Aufgaben abhängen.

Von Anbeginn waren die Bildverarbeitungssysteme auf die Lösung von Fernerkundungsaufgaben orientiert. Ausgehend von Ergebnissen bei einer der typischen Anwendungen, der Klassifikation von Satellitenszenen, werden die Bildverarbeitungssysteme verglichen und die Softwareysteme beschrieben.

## 2. Klassifikation mit A6471 und A6472

Das Ziel der Vergleiche besteht in der Verbesserung der Klassifikatoren auf der Basis einer detaillierten Analyse der Ergebnisse.

In der Vergangenheit wurden mit dem kommandosteuernten Softwarepaket IPU des A6471 verschiedene Klassifikationsergebnisse einer Satellitenszene des Sudan erhalten und miteinander verglichen /2/. Dabei wurden die Klassifikatoren aus denselben Trainingsgebieten belehrt. Einerseits erfolgte eine hierarchische Baumklassifikation, andererseits eine Bayesklassifikation. Die Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen betrug bei 7 Klassen 60 %. Die Hälfte der unterschiedlich klassifizierten Pixel bezog sich auf kritische Klassen, die von ihrer Natur her aus Mischpixeln bestand.

Im hier dargestellten Falle wurden ein und derselbe Ausschnitt aus einer Landsat-2-Szene Syriens (vom 28. 5. 1981) mit dem A6471 und dem A6472 klassifiziert. Dabei wurde, im Gegensatz zu den vorhergehenden Versuchen mit der Sudan-Aufnahme, ein sehr komplexer und stark zergliederter Landschaftsteil ausgewählt.

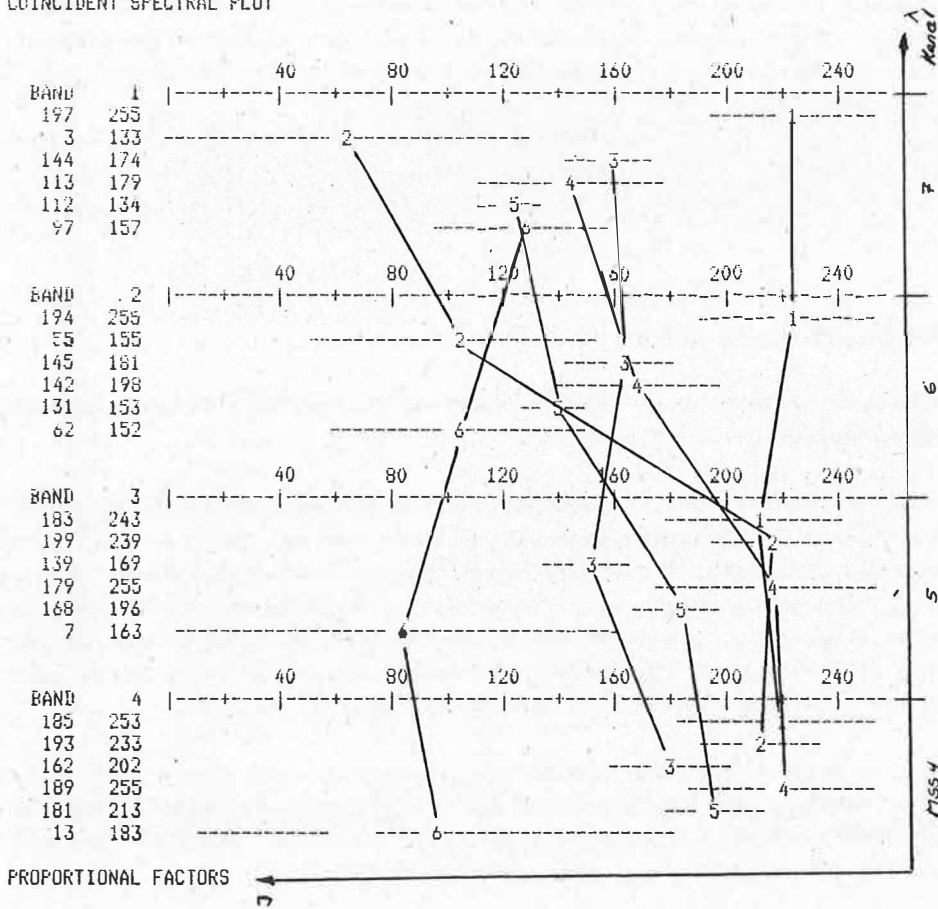
Nach der Hauptkomponentenanalyse wurden die ersten beiden Komponenten auf dem A6471 mit dem Softwarepaket AMBA/R-RS und auf dem A6472 mit POSDIP unter Steuerung von IPU klassifiziert. In beiden Fällen kam ein Quaderklassifikator zum Einsatz. Die Zahl der Klassen wurde auf sechs beschränkt, wobei pro Klasse bis zu vier Trainingsgebiete ausgewählt wurden. Die Form der Trainingsgebiete ist rechteckig, um (im Gegensatz zu beliebigen

Konturen) eine problemlose Übertragung auf das andere Bildverarbeitungssystem zu ermöglichen. Die Optimierung der am additiven Farbmischbild ausgewählten Trainingsgebiete erfolgte mit Hilfe des coincident spectral plot und der Fehlermatrix (d. h. der Wiedererkennungsgate innerhalb der klassifizierten Trainingsgebiete).

An Hand des coincident spectral plot der vier Ausgangsbänder konnte der grobe spektrale Verlauf der Reflexion der Trainingsgebiete bestimmt werden (Abb. 1). Daraus werden die Bezeichnungen für die 6 Klassen abgeleitet. Die Klassifikationsergebnisse sind in Abb. 2 dargestellt.

Abbildung 1

COINCIDENT SPECTRAL PLOT



Klasse	AMBA (6471)	POSDIP (6472)
Ø	12,5	3,7
1	6,8	6,3
2	5,3	5,0
3	14,3	16,4
4	49,0	45,5
5	4,3	3,8
6	0,7	0,6
15	7,1	18,8

Abb. 2: Klassifikationsergebnisse der Satellitenszenen Syriens

Entsprechend dem zweidimensionalen Histogramm der Trainingsgebiete und dem coincident spectral plot besteht die Klasse 6 aus zwei Unterklassen. Da die Klasse 6 jedoch mit 0,7 % die mit der geringsten Häufigkeit ist, wurde von einer weiteren Unterteilung abgesehen.

Im Gegensatz zu der relativ guten prozentualen Übereinstimmung bei den Klassen ergaben sich wesentliche Unterschiede im Verhältnis der rückgewiesenen zu den mehrfach klassifizierten Pixel. Während dieses Verhältnis beim A6471: 7 % bzw. 12,5 % betrug, war es beim A6472: 18,8 % bzw. 3,7 %.

Dies ist damit erklärbar, daß der Klassifikator des A6472 mit mehreren Quadern pro Klasse im Merkmalsraum arbeitet, um besser an die Klasse angepaßt zu sein. Dadurch sinkt die Zahl der mehrfach klassifizierten Pixel und die der nichterfaßten steigt. Die detaillierte Analyse der unterschiedlichen Zuordnung der Pixel beider Klassifikationsergebnisse bei den Rückweisungsklassen Ø (SW) und 15 (WS) aus der Vergleichsmatrix ergibt die in Abb. 3 und 4 aufgeführten Werte.

Der pixelweise Vergleich der beiden Klassifikationsergebnisse ergibt eine Übereinstimmung von 80 %. Dieser summarische Wert folgt aus der Auswertung der Vergleichsmatrix. Die visuelle Darstellung der Unterschiede zeigt, daß die Mehrzahl der unterschiedlich klassifizierten Pixel beim jeweils anderen Klassifikator in eine der Rückweisungsklassen fällt.

Von AMBA mehrfach klassifiziert: 12,5 % aller Pixel, davon

<u>fallen bei IPU in Klasse</u>							<u>mit IPU identisch (15)</u>
Ø	1	2	3	4	5	6	
12 %	6 %	-	20 %	37 %	-	-	25 %

Von IPU zurückgewiesen: 18,8 % aller Pixel, davon

<u>mit AMBA-identisch (0)</u>	<u>fallen bei AMBA in Klasse</u>						
	1	2	3	4	5	6	15
37 %	3 %	-	2 %	45 %	3 %	1 %	9 %

Abb. 3: Auszug aus der Vergleichsmatrix der Klassifikationsergebnisse

	Klasse	Pixel	% (Diagonale) der Pixel der Klasse	Bemerkungen
SW	0	560	3	
	1	3 405	20	- feuchter Boden 8 % AMBA Kl. 1 (IPU SW)
	2	696	5	
	3	749	2	
	4	23 129	18	- Vegetation und feuchter Boden 18 % AMBA Kl. 4 (IPU SW)
	5	1 227	11	
	6	278	16	- trockener Sand 16 % AMBA (mehrfach) (IPU SW)
WS	15	24 564	75	
	$\Sigma$	54 608		

Abb. 4: Auswertung der Fehlklassifikationen auf Pixel aufgeschlüsselt

Daraus folgt:

- Von den 20 % unterschiedlich klassifizierten Pixeln (ca. 54 600) entfallen 90 % auf Rückweisungen, fast 50 % auf die direkt mehrfach klassifizierten Pixel bzw. auf Klasse 4 (Mischklasse Vegetation und feuchter Boden), die in IPU rückgewiesen wurden.
- Die unterschiedlichen Klassifikationsergebnisse (3 Quader bei IPU, 1 Quader bei AMBA) zeigen, daß jede der Strategien methodische Mängel aufweist, die sich auf die Behandlung der Rückweisungen und Mehrfachklassifikation beziehen. Die prinzipiellen Grenzen des Quaderklassifikators sind erkennbar.
- Auf Grund der Besonderheiten der Verarbeitung (sequentiell bei A6471, AMBA und parallel bei A6472, IPU) müssen unterschiedliche Strategien zur Verbesserung der Klassifikationsergebnisse gewählt werden.

### 3. Strategien zur Verringerung der Rückweisungen

Für AMBA wurde eine Lösung zur Nachklassifikation rückgewiesener und mehrfach klassifizierter Pixel implementiert.

Die mehrfach klassifizierten Pixel (~~weiss~~) werden nach der Bayes-Regel zugeordnet.

Bei der Berechnung der rückgewiesenen (~~schwarzen~~) Pixel nach dieser Regel ergeben sich bei größeren Abständen im Merkmalsraum numerische Ungenauigkeiten bei der gegenüber der Gleitkommarechnung schnelleren Festkommarechnung. Eine Verbesserung ist nur auf Kosten der Rechenzeit möglich. Deshalb erfolgt die Zuordnung dieser Pixel nach der Minimum-Distance-Methode, die für die Mehrzahl der rückgewiesenen Pixel (die nur 7,1 % der Gesamtpixelzahl betrug) befriedigende Resultate liefert.

Es wird davon ausgegangen, daß auf diese Weise eine gute Näherung erreichbar ist.

Bei der Klassifikation mit Dieplayprozeessor auf dem A6472 ergeben sich auf Grund der Beschränkung der Bittiefe des Bildepeichers wesentliche Einschränkungen in der Genauigkeit, wenn die Bayesregel angewandt wird. Aus diesem Grund scheint entsprechend den Resultaten die Approximation der Klassenverteilung im Merkmalraum durch drei Quader eine gute Methode zur Annäherung an die Bayesregel zu sein. Um die große Zahl rückgewiesener Pixel zu verringern, sind zwei Wege vorstellbar:

1. Eine Vorklassifikation mit je einem Quader. Daraus würde sich ein Verhältnis der rückgewiesenen und mehrfach klassifizierten Pixel analog zu AMBA ergeben. Das heißt, die Zahl der rückgewiesenen Pixel würde auf einen mittleren Wert sinken, die der mehrfach klassifizierten stark ansteigen.

Bei einer Nachklassifikation mit 3 Quadern pro Klasse, die sich nur auf die mehrfach klassifizierte Pixel bezieht, ist eine Reduzierung ihrer Zahl auf den bereits bekannten Wert (d. h. auf ca. 30 - 40 % des bei AMBA erhaltenen Wertes) zu erwarten.

Der Nachteil dieser Methode und generell der Quadermethode liegt in der kritiklosen Zuordnung von Pixeln in den "Ecken" des Quaders, die gegenüber der realen Verteilung einen zu großen Abstand aufweisen.

2. Eine Vorklassifikation mit 3 Quadern pro Klasse, jedoch mit deutlich vergrößerter Streubreite. Dadurch würden die mehrfach klassifizierten Bildpunkte ebenfalls drastisch steigen, die Zahl der rückgewiesenen Pixel jedoch sinnvoll reduziert werden.

Bei der Nachklassifikation (mit auf das nach dem coincident spectral plot vorgeählte Streumaß) wird die Zahl der mehrfach klassifizierten Pixel wieder auf einen geringen Wert einken. Auch die Umkehrung, d. h. eine Vorklassifikation mit geringem Streuwert und danach eine Klassifikation mit vergrößerten Streugrenzen, scheint sinnvoll.

#### 4. Schlußfolgerungen und Ausblick

Der erste Vergleich zeigte die prinzipielle Obereinstimmung der Ergebnisse. Gleichzeitig werden jedoch auch die Grenzen und Mängel der gewählten Verarbeitungsstrategien sichtbar.

Bei AMBA ergibt sich für eine sequentielle Klassifikation ein guter Kompromiß zwischen erreichbarer Genauigkeit und Geschwindigkeit. Die Verarbeitungszeit für die reine Klassifikation einschließlich Nachklassifikation liegt bei 2 Kanälen und 6 Klassen bei etwa 7 Minuten. Die bereits realisierte Erweiterung der Klassifikationsmöglichkeiten von AMBA um das am ZIPE entwickelte manual clustering /3/, d. h. des interaktiven Abgrenzen der Klassen im zweidimensionalen Histogramm (der Trainingepixel) nach /3/, eröffnet weitere Möglichkeiten, kritische Klassen optimal zu trennen.

Für die Klassifikation mit dem Dieplayprozeessor ergeben sich Probleme aus der Hardwarestruktur. Da die Zeitdauer der Verarbeitung - in diesem Beispiel ca. 15 sek. - jedoch ziemlich unkritisch ist, kommt es auf die sinnvolle Verknüpfung von Algorithmen der Parallelverarbeitung an. Der erste Schritt mit der Approximation der Klasseengrenzen durch drei Quader brachte entsprechend gute Ergebnisse. Gegenwärtig wird der zweite Schritt für eine sinnvolle Zuweisung der rückgewiesenen Pixel implementiert. Eine



weitere Untersuchungsrichtung stellt die iterative Auswertung des zweidimensionalen Histogramme und die automatische Optimierung der Streugrenzen dar.

Im Ergebnis der bisherigen Untersuchungen kam klar zum Ausdruck, daß mit beiden Systemen sinnvolle Beiträge zur Klassifikation von Fernerkundungsszenen möglich sind. Die Stärke des AMBA/R-RS liegt bei methodischen Untersuchungen, wobei der Nutzer durch ein Menü geführt oder über Kommandos und selbst erstellte Programmteile stark interaktiv wirksam werden kann. Bei der parallelen Verarbeitung steht die Aufgabe, ein möglichst gutes Resultat durch eine größere Anzahl von Iterationsschritten zu erreichen, ohne dem Nutzer die Möglichkeit zum interaktiven Eingreifen zu verwehren.

## 5. Literatur

- /1/ KEMPE, V.; KENNER, F.; REBEL, B.; SCHULZE, W.; WILHELMI, W.  
Interaktives Bildverarbeitungssystem robotron A647x  
Neue Technik im Büro 26 (1982), 5, S. 131
  
- /2/ GESCHKE, A.; ULBRICH, P.  
Klassifikation einer Satellitenaufnahme mit Mehrstufenklassifikator  
Bild und Ton 38 (1985), 6, S. 173
  
- /3/ SCHILBACH, G.  
Untersuchung zur rechnergestützten Dechiffrierung von Daten der Fernerkundung  
der Erde, Promotion A  
ZIPE d. AdW d. DDR, Potsdam 1985

Rechnergestützte Dechiffrierung der Nutzflächenstruktur in Siedlungen mit digitalisierten MS-Luftbildern

H. STOYE, B. USBECK

Akademie der Wissenschaften der DDR  
Institut für Geographie und Geoökologie

Zusammenfassung

Der Artikel wendet sich an Einrichtungen des Städtebaus und der Territorialplanung mittlerer und unterer administrativer Ebene. Vorgestellt wird ein interaktives Verfahren, das geeignet ist, Nutzflächenstrukturen und Bodenbedeckungsarten in Siedlungen auf groß- und mittelmaßstäbigen digitalisierten MS-Luftbildern in ausreichender Genauigkeit zu dechiffrieren und zu bilanzieren. Diskutiert werden Probleme der geometrischen Auflösung, der Datenreduktion, der Verwendung von Bildmasken und geeigneter Klassifikationsvarianten. Am Beispiel eines Bildausschnittes werden die erreichten Ergebnisse demonstriert. Abschließend werden die Ergebnisse nach Genauigkeitsgesichtspunkten und Fehlerquellen eingeschätzt.

Summary

This article turns to local and regional administrative authorities of urban and territorial planning. An interactive procedure is presented to identify and to balance structures of land cover and surficial material properties in settlements with sufficient accuracy, using large- and middle scale airborne MS-images. Problems of geometric resolution, the reduction of the data rate, masking and the choice of suitable variants of classification are discussed. The results are demonstrated for a sector of an image scene. Finally, the results are assessed with regard to accuracy and error sources.

Резюме

Статья предназначена для учреждений градостроительства и территориального планирования среднего и подчиненного административного уровня. Описывается интерактивный метод, который пригоден для дешифрирования типов землепользования и видов покрытия почвы. С достаточной точностью дешифрируются крупно- и среднемасштабные цифровые многозональные самолетные снимки. Обсуждаются проблемы геометрического разрешения, редукции данных, употребления маски и надлежащие варианты классификации. На примере одного фрагмента снимка показываются достигнутые результаты. Проведена оценка точности результатов и возможных источников ошибок.

## 1. Zielstellung

Die Untersuchungen zur Nutzflächendeckung auf groß- und mittelmaßstäbigen multispektralen Luftbildern ordnen sich in eine Hauptforschungslinie des Institutes zur Intensivierung der Flächennutzung in Großstadtreionen ein. Aus methodischer Sicht geht es dabei vor allem um die Nutzung bzw. Entwicklung effektiver und rationeller Methoden und Verfahren zur schnellen Gewinnung, Bilanzierung und Speicherung von Flächennutzungsinformation. Für die Fernerkundung stehen besonders zwei Aspekte im Vordergrund:

1. schnelle Bereitstellung aktueller und ausreichend genauer groß- und mittelmaßstäbiger Flächennutzungsinformation für Einrichtungen der Planungspraxis (Städtebau, Territorialplanung)
2. Effektive Gewinnung von Flächennutzungsinformation für urbanökologische Grundlagenforschungen (Dechiffrierung mikroklimatisch unterschiedlich wirksamer Oberflächenbedeckungsarten).

Während Nutzen und Effektivität von Methoden der visuellen Luftbildinterpretation im Rahmen von Flächennutzungsuntersuchungen bereits mehrfach nachgewiesen wurden (vgl. DUVINAGE 1984, KRÖNERT u.a. 1985), steht die digitale, rechnergestützte Bildverarbeitung für Siedlungen in der DDR noch am Anfang. Sie besitzt gegenüber der visuellen Interpretation vor allem Effektivitätsvorteile bei der Bearbeitung größerer Areale, bei der Bilanzierung und der Datenspeicherung, wenngleich sie noch nicht die Genauigkeiten visueller und photogrammetrisch-kartometrischer Auswerteverfahren erreicht.

Es wird ein rechnergestütztes interaktives Verfahren vorgestellt, das unter Nutzung von am ZIPE der AdW der DDR entwickelten Bildverarbeitungsprogrammen (WIRTH u.a. 1984) sowohl die Dechiffrierung von Nutzflächenarten und Oberflächenbedeckungsarten als auch die Flächenbilanzierung beinhaltet. Das Verfahren wurde zugleich auf die Verwendung möglichst weniger Bilddaten orientiert.

## 2. Charakteristik des Verfahrens

Der Ablauf des Verfahrens ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt.

Als günstiger Bildmaßstab für Nutzflächendeckung in Siedlungen erweist sich ein Maßstab im Bereich 1:50 000. In diesem Maßstabsbereich wird eine ausreichend große Grundfläche erfaßt (ca. 3 km x 4,5 km) und die benötigte Information in konzentrierter Form dargeboten.

Abhängig von der photographischen Auflösung des Bildmaterials, von einem rationellen Speicherkapazitäts- und Rechenzeiteinsatz und den Genauigkeitsanforderungen ist die Digitalisierung durchzuführen. Die geometrische Auflösung beeinflußt die Ergebnisgenauigkeit in starkem Maße. Nach Untersuchungen zu den Größen- und Strukturverhältnissen der zu dechiffrierenden Flächenobjekte erweisen sich Bodenauflösungen von 2,0 m (in dicht bebauten, kleinflächig strukturierten Stadtgebieten) bis 5,0 m (in Stadtrandgebieten) als ausreichend, um die Objekte noch in "reiner" Ausprägung zu erfassen und den Mischpixelanteil in Grenzen zu halten. Diese Auflösungen sind auch bei Bildmaßstäben um 1:50 000 mit den verfügbaren Abtastsystemen erreichbar.

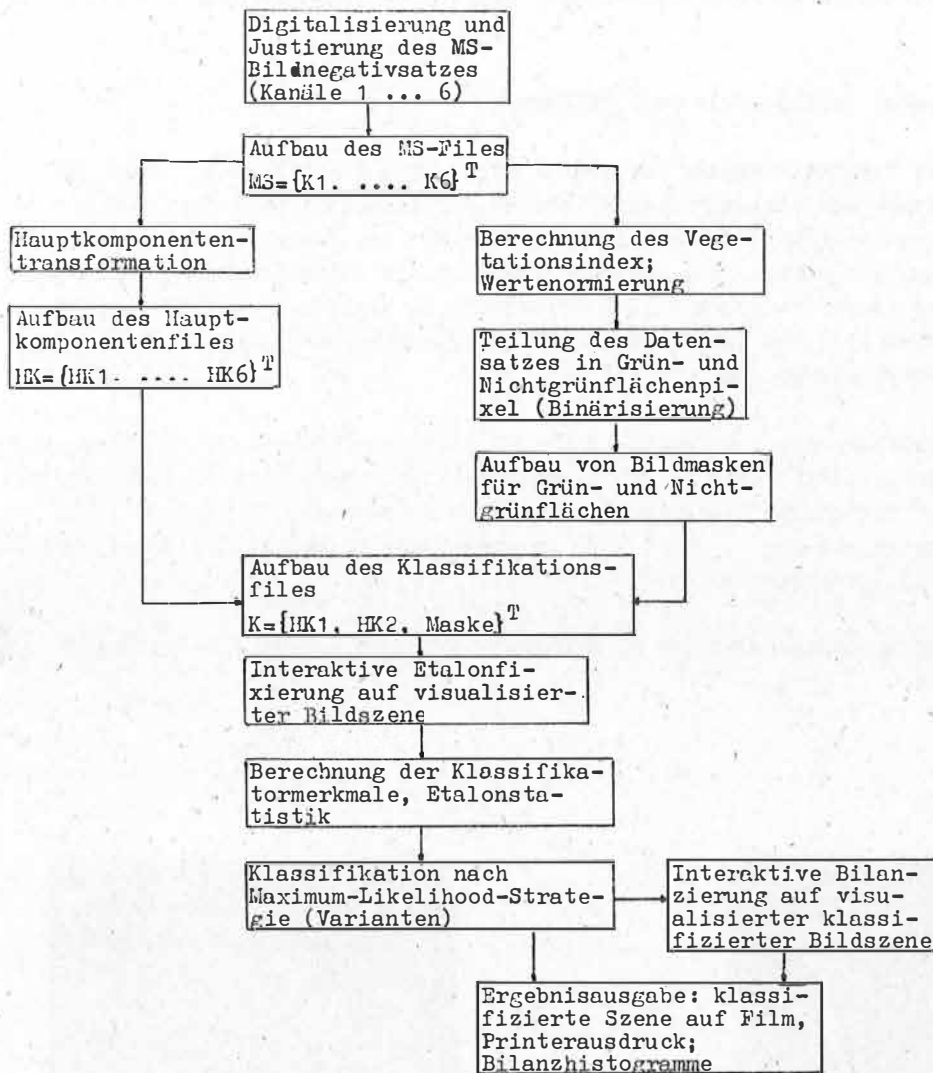


Abb. 1: Verfahrensablauf zur großmaßstäbigen Dechiffrierung und Bilanzierung der Nutzflächenstruktur in Siedlungen

Die Datenvorverarbeitung und -reduktion umfaßt zwei Teilschritte:

1. Datenreduktion durch Hauptkomponententransformation
2. Aufbau von Bildmasken für Grünflächen und "Nichtgrünflächen"

Die Hauptkomponententransformation mit dem Beispielbildsatz (LB Löbnig, Maßstab ~ 1:24 000) ergab, daß 93,5 % der gesamten Filevarianz in den ersten beiden Hauptkomponenten komprimiert wird. Dieses Ergebnis deckt sich mit ähnlichen Resultaten bei SÖLLNER und SCHILBACH (1980) u. a.. Da zudem Untersuchungen zum Objektklassentrennverhalten bezeugten, daß durch Einbeziehung weiterer Hauptkomponenten keine Verbesserung der Klassenseparierbarkeit erzielbar war, werden die ersten beiden Haupt-

komponenten als Klassifikationsmerkmale verwendet. Damit wird eine Datenreduktion um 67 % erreicht.

Der Aufbau von Bildmasken erfolgte aus zwei Gründen:

- Durch Verwendung des Vegetationsindex zur Grün - Nichtgrünflächentrennung (Binärisierung, Schwellenwert aus der Etalonstatistik) werden Wertebereichsüberschneidungen zwischen Objektgruppen eliminiert. die auch im Städtebau und der Territorialplanung teilweise gesondert behandelt werden. Die Trennung schränkt die Fehlklassifikationsrate ein. Der Vegetationsindex trennt zwischen beiden Objektgruppen recht genau. Allerdings zeigen Untersuchungsbeispiele, daß den Nichtgrünflächen zugeordnete Mischpixel bis zu 10 % Grünflächenanteil aufweisen können.
- Durch getrennte Klassifizierung der Grünflächen- und Nichtgrünflächenobjektklassen unter Verwendung der jeweiligen Bildmaske wird die rechentechnisch begrenzte Gliederungstiefe verdoppelt. Dies ist für einige Klassifikationsverfahren notwendig, da speziell für urbanökologische Untersuchungen i. d. R. eine weitreichende Objektdifferenzierung (große Objektklassenzahl) erforderlich ist.

In Abbildung 2 ist ein Bildausschnitt des LB Löbnig in analoger (Kanal 4) und binärisierter Form dargestellt.



Abb. 2: Bildbinärisierung nach dem Vegetationsindex

Originalbildausschnitt  
(Kanal 4)

binärisiert  
(schwarz = Grünflächen  
weiß und grau = Nichtgrünflächen)

freigegeben unter LFB-Nr. 32/84



Die Etalonauswahl, d.h. die Festlegung klassenrepräsentativer Lernstichproben, erfolgt auf der visualisierten Luftbildszene. Dabei sollten die Lernstichproben die zu unterscheidenden Objektklassen in möglichst typischer Ausprägung erfassen und über einen statistisch ausreichenden Pixelumfang verfügen. Da die Untersuchungsobjekte in städtischen Gebieten häufig sehr klein sind, empfiehlt sich eine Etalonstückelung (mehrere Etalons je Objektklasse) und eine Etalonfixierung auf vergrößerten Bildszenen (genaue Abgrenzung). Mittels Cursor werden die Etalons auf dem Monitor umgrenzt und als Konturfile gespeichert. Aus den Etalondaten werden die Klassifikationsparameter berechnet.

Klassifiziert wurde nach der bayesoptimalen Maximum-Likelihood-Strategie (s. SCHILBACH und WIRTH 1985). Getestet wurde die Standardvariante (A-priori-Wahrscheinlichkeiten 0,10; c-Faktoren 2,0) und eine Variante mit klassenspezifischer Festlegung der Klassenauftrittswahrscheinlichkeiten und c-Faktoren. Die Bestimmung dieser Parameter erfolgte anhand einer Wahrscheinlichkeitsschätzung des Klassenauftretens durch visuelle Bildinterpretation und anhand von Untersuchungen zur Klassenverteilung im Hauptkomponentenmerkmalsraum. Die Standardvariante brachte für die Grünflächenklassifikation (7Objektklassen) ausreichend genaue Ergebnisse; ca. 85 % der Pixel wurden richtig klassifiziert. Die Ergebnisse der zweiten Klassifikationsvariante waren nur unwesentlich genauer. Demgegenüber erwies sich die zweite Variante bei der Klassifizierung der 9 Objektklassen der "Nichtgrünflächen" um nahezu 10 % genauer. Mit der Standardvariante wurden 65 % der Pixel richtig zugeordnet, bei der zweiten Variante 74 %.

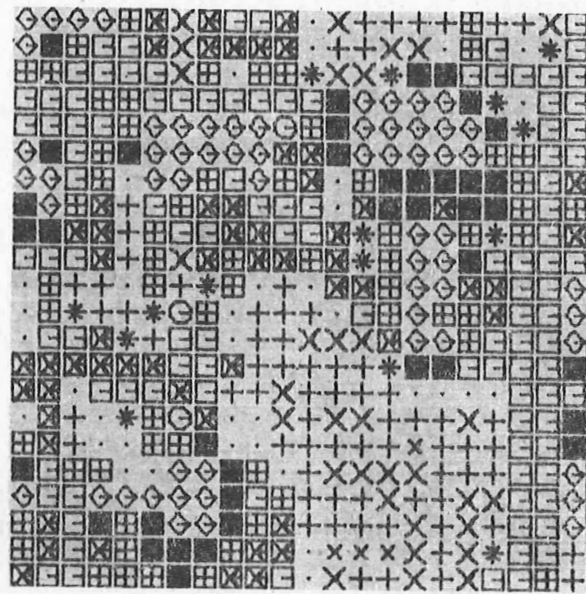
Auf den visualisierten Ergebnisbildern der Klassifikation erfolgt die interaktive Bilanzierung. Vergleichbar mit der Etalonfixierung werden die zu bilanzierenden Flächeneinheiten (Polygonzüge, Felder) mit Cursor konturiert und Verteilung und Anzahl der klassifizierten Pixel in der Bilanzfläche mittels Histogrammausdruck dargestellt. Bei bekannter Pixelgröße (im Beispiel 4,6 m) ist die Berechnung der realen Flächenanteile der Objektklassen dann problemlos.

In Abbildung 3 (siehe nächste Seite) ist ein Klassifikations- und Bilanzierungsbeispiel aus dem Luftbild Löbnig dargestellt (Ausschnitt aus einer Blockbebauungsstruktur).

### 3. Ergebnisdiskussion und Schlußfolgerungen

1. Die Ergebnisse weisen Klassifizierungsgenauigkeiten zwischen 74 % ("Nichtgrünflächen") und 85 % (Grünflächen) auf. Das ist eine ausreichende Genauigkeit für Analysen und Bilanzierungen auf Gebietsniveau, für urbanökologische u. a. Detailuntersuchungen sind allerdings höhere Genauigkeiten erforderlich.
2. Verbesserungen des Klassifikationsergebnisses sind durch eine höhere geometrische Auflösung, evtl. auch durch Einbeziehung von Texturmerkmalen zu erreichen. Eine inhaltliche Verbesserung des Ergebnisses ist auch durch visuelle Nachkartierung, z. B. durch Kennzeichnung der Gebäudeflächen erzielbar.
3. Die Grünflächen werden generell gut erfaßt. Während in den größeren Grünflächenarealen die Objektklassen eine Kombination von Deckungsgrad und Vitalität widerspiegeln, sind sie in den kleinflächigen bebauten Arealen vor allem Ausdruck unterschiedlicher Grünflächenanteile je Pixel. Diese Besonderheit bzw. auch der Einfluß von Baumschatten ist ein Hauptgrund für auftretende Fehlklassifikationen.

Abbildung 3: Klassifizierung und Bilanzierung (Beispiel)



Objektklassen	Bilanzierung		
	Anzahl Pixel	Fläche (m <sup>2</sup> )	%
<b>Grünflächen</b>			
✕ Großgrünflächen mittlerer Vitalität und Bestandsdichte	32	672	6,6
* Großgrünflächen geringer Bestandsdichte	4	84	0,8
⊕ Kleingrünflächen mittlerer Dichte	15	315	3,1
+ Kleingrünflächen geringer Dichte	70	1470	14,5
• Flächen mit sehr geringem Grünanteil	36	756	7,4
<b>Nichtgrünflächen</b>			
○ unbedeckter Boden, dunkel u. hell	3	63	0,6
◻ Asphaltflächen	105	2205	21,7
▣ Betonflächen u.a. helle versiegelte Flächen	62	1302	12,8
▤ Dachpappen- u. Teerflächen u.a. dunkle, z.T. beschattete versiegelte Oberflächen	57	1197	11,8
◊ Ziegelflächen (z.T. beschattet)	61	1281	12,6
■ Schattenflächen	39	819	8,1
	<b>484</b>	<b>10164</b>	<b>100,0</b>

4. Die Nichtgrünflächen sind schwerer differenzierbar aufgrund ihrer kleinflächigen Struktur. Eine Vergrößerung der Auflösung auf ca. 2,0 m scheint für diese Objektklassen-Gruppe wesentlich günstiger zu sein, zumal damit der recht hohe Mischpixelanteil (ca. 50 %) reduziert würde. Gezielte Mischpixelanalysen müssen diese Aussage jedoch erst verifizieren. Die Einbeziehung von Form- und Kontextmerkmalen würden sich auf jeden Fall günstig auf das Klassifikationsergebnis auswirken. Fehlklassifikationen treten in Verbindung mit Schattenflächen (Gebüdeschatten, besonnte und beschattete Seite von Satteldächern) und Übergängen von dunklen zu hellen versiegelten Oberflächen auf.
5. Ungelöst ist das Problem der Schattenflächen. Unter Verwendung spektraler Merkmale können die Schattenflächen lediglich in Schatten über hellen versiegelten Oberflächen und Schatten über Grünflächen separiert werden. Daraus erwächst vor allem für die Bilanzierung ein Genauigkeitsproblem. Durch Verwendung von Zusatz- und Kontextinformation im Klassifizierungsprozeß, durch visuelle Nachinterpretation oder - als Ergebnis weiterer Analysen und Verallgemeinerungen - durch Einführung bebauungs-spezifischer Korrekturfaktoren lassen sich diesbezüglich Ungenauigkeiten reduzieren.
6. Das vorgestellte Verfahren stellt einen brauchbaren Ansatz zur Klassifikation und Bilanzierung der städtischen Nutzflächenstruktur dar. Weitere Untersuchungen mit unterschiedlichen, auch mehrstufig aufgebauten Klassifikatoren, zur Verwendung von anderen spektralen, Textur- und Formmerkmalen und zum Problemkreis Objektklassenseparierbarkeit/geometrische Auflösung/Mischpixelanalyse sollen das Verfahren und seine Ergebnisgüte qualifizieren.

#### Literatur

- DUVINAGE, P. : Zur Erfassung von Flächennutzungselementen und -arten in Siedlungsgebieten und deren Umland aus multispektralen Hochbefelegungsaufnahmen und Ableitung von stadtplanerischen und stadtökologischen Aussagen  
Diss. (A), PH Potsdam; Potsdam 1984
- HABERÄCKER, P. : Untersuchungen zur Klassifizierung multispektraler Bild-daten aus der Fernerkundung  
Inaug.-Diss.; Oberpfaffenhofen 1978
- KRÖNERT, R.; u. a. : Rahmentechnologie zur Erkundung von Flächennutzungsstruktu-ren sowie Prinzipien zur Herstellung von Flächennutzungs-karten aus Luft- und Satellitenbildern  
F/E-Bericht, IGG der AdW der DDR; Leipzig 1985
- SCHILBACH, G.; WIRTH, H. : Erfahrungen bei der rechnergestützten Analyse von Ferner-kundungsdaten  
Vermessungstechnik 33 (1985) 7, S. 221 - 225
- SÜLLNER, R.; SCHILBACH, G. : Ergebnisse der Hauptkomponententransformation an MKF 6-Auf-nahmen  
Vermessungstechnik 28 (1980) 3, S. 78 - 80
- WIRTH, H.; u. a. : Rahmentechnologie zur Gewinnung und Darstellung thematischer Sachverhalte aus Fernerkundungsdaten  
F/E-Bericht, ZIPE der AdW der DDR; Potsdam 1984

Bildverarbeitung mit dem BVS A6470 und Möglichkeiten einer On-line-Bildverarbeitung

P. MEISTER

Akademie der Wissenschaften der DDR

Institut für Kosmosforschung

Zusammenfassung

Ausgangspunkt für die Hardware-Entwicklung des BVS A6470 in der Akademie der Wissenschaften der DDR war die Notwendigkeit, ein leistungsfähiges Bildverarbeitungssystem zur Analyse und Interpretation von multispektralen Aufnahmen der Erde für die Verwendung in Meteorologie, Kartographie und Geofernerkundung zu schaffen. Mit dieser Aufgabenstellung eng verknüpft ist die Erarbeitung einer leistungsfähigen Software. Dazu zählen auch effektive Algorithmen zur Datenvorverarbeitung, weil z. B. die o. g. Probleme die punkt- und zeilenweise Berechnung großer Datenmengen erfordern, so daß im allgemeinen von bereits reduziertem/rekonstruiertem Datenmaterial ausgegangen werden muß.

Als weitere wichtige Detailfragen werden im vorliegenden Beitrag die Echtzeitbildaufnahme und -verarbeitung (speziell für CCD-Sensoren) Schaltungslösungen zum Labeln von Bildern und der Filterablauf nach der Transformationsmethode angesprochen.

Summary

The starting point of research in the Academy of Sciences was the development of a big picture processing system for analysis and interpretation of multispectral, meteorological and cartographical pictures of the earth. Another problem is the scan-line processing of information e. g. coming from a CCD. Today computer-aided design systems are available for a number of tasks, from mechanical engineering to digital system design. It has also been found that the interpretation of geometrical or structural relationships cannot be done efficiently on the basis of merely local features. These problems are far too complex, requiring context-dependent operations and advanced classification procedures as provided e. g. in A 6470-systems.

After the gray value skeleton we make such data compression for CAD-solutions (images for the construction, lay-out etc.) by line reconstruction and approximation of a microprocessor.

Резюме

Задачей исследований в ГДР явилась разработка большой системы обработки изображений для проведения анализа и интерпретации многозональных изображений для использования в метрологии, картографии и дистанционном зондировании Земли.

Одну из проблем представляет собой построчная обработка данных, поступающих от ПЗС. В настоящее время используются ответные системы на базе ЭВМ для решения множества задач, включающих механические задачи и цифровое проектирование системы.

Кроме того, было установлено, что интерпретация геометрических или структурных отношений эффективно не может быть проведена на базе локальных операторов. Эта проблема слишком обширная, и требует операций, зависящих от контекста, а также согласованной классификации, как это предусмотрено, напр., в системе A6470.

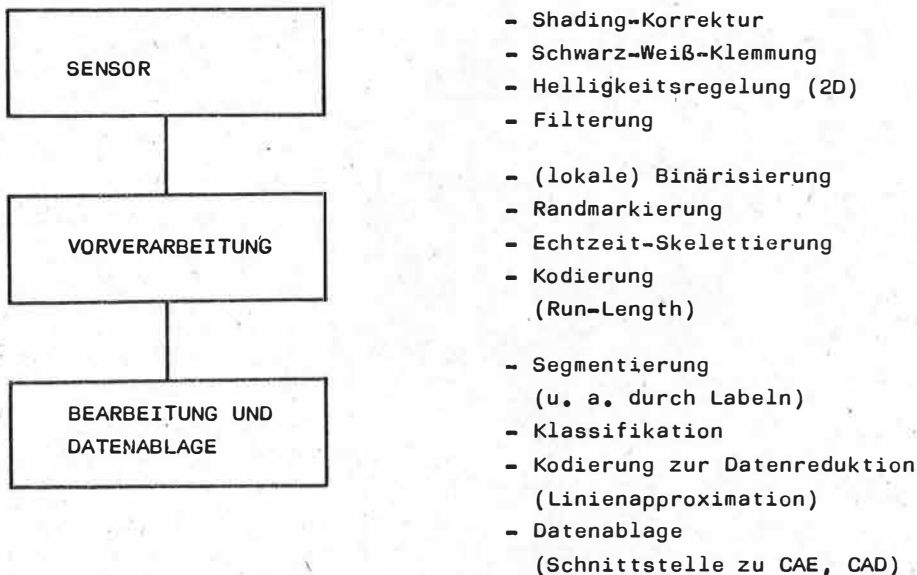
Мы решили эту проблему сжатия данных по шкалированию серых цветов для применения в системах автоматизированного проектирования (CAD, напр., схем, плат и конструкций) путём воспроизведения и аппроксимации линий на базе микропроцессора.

Grauwertige Rasterbilder werden durch punktweise Abtastung einer Szene und anschließende A/D-Wandlung der Rasterpunkte generiert. Die in den Bildern dargestellten Objekte heben sich vom Untergrund durch Regionen mit unterschiedlichen Grauwerten bzw. durch Grauwertkanten ab (Texturen). Für die verbesserte Erkennbarkeit solcher Objekte werden die Bilder einer Grauwertverarbeitung unterzogen, mit der Bildglättung, Rauschunterdrückung, Kontrastverstärkung, Kantendetektion usw. ausgeführt werden. Bildverarbeitungsoperatoren mit diesen Eigenschaften lassen sich durch Funktionen über den Grauwerten der Rasterpunkte eines Fensters definieren, das zeilenweise über das Rasterbild bewegt wird. Dabei kann der diese Funktion repräsentierende Algorithmus auch rekursiv sein.

Der Bildverarbeitungs-komplex A6470 wurde in der AdW entwickelt und hat in seinen Gerätekonfigurationen A6471...A6473 bereits viele Anwendungsgebiete neben der Fernerkundung der Erde und interplanetarer Missionen, wie in diesem Frühjahr bei der VEGA-Mission, auch für die Mikroskopbildanalyse (AMBA) und die Prozeßautomatisierung gefunden. Daneben sind abgerüstete Versionen für eine erdgebundene Echtzeit-Datenerfassung bekannt. Da die Entwicklung des BVS speziell für die Fernerkundung erfolgte, lassen sich in der Grundkonfiguration nicht alle komplexen Algorithmen elegant lösen (bedingt durch die zeilen- und punktweise Bearbeitung).

Der Aufbau und die Handhabung des BVS ist mit der eines seriellen Standardrechners vergleichbar. Das Rechenwerk stellt der Displayprozessor mit seinen drei parallelen Verarbeitungskanälen dar. Die Bildspeicher 0...7 übernehmen die Funktion des Datenspeichers. Das Steuerwerk wird durch das für den DIP entwickelte Steuerprogramm DSR übernommen. Programmspeicher ist der Speicher des Host /3/.

In Abb. 1 ist die Komplexität der Erfassung bildhafter Daten erläutert. Viele Anwendungsbereiche der Bildverarbeitung gehen von bereits rekonstruierten Bildmaterialien aus, um Algorithmen, z. B. Skelettierung, Flächenbestimmung u. ä., durchführen zu können. Für die Vorverarbeitung wird daher eine Adaption an den Aufnahmesensor, z. B. eine Filterung, nötig.



BASIS : - CCD  
 - Spezialhardware  
 - Multi-Mikrorechner (BC, PC, K1520 o. ä.)

Abb. 1 : Prozeß der Echtzeitaufnahme und Verarbeitung



Je nach Art der Störung werden die unterschiedlichsten Ansätze durchgeführt (Linearphasenfilterung, Median, ...). Für eine gute Implementierung sowohl auf dem BVS als auch für viele Echtzeitanwendungen läßt sich die Transformation nach McClellan anwenden. Wie bereits in /1/ beschrieben, stellt die Transformationsmethode eine gute Möglichkeit dar, Filter höherer Ordnung zu realisieren. Am Beispiel der Bewertung eines Filters 3x3 mit einem Vektor 3x1 und der Implementierung auf dem DIP des A6472 sei dies beschrieben. Nach /2/ erhalten wir

$$H(z_1, z_2) = a_0 - a_2 + z_1 F(z_1, z_2) + 2a_2 F^2(z_1, z_2) \quad \text{mit}$$

$$F(z_1, z_2) = \begin{bmatrix} 1 & z_1 & z_1^2 \\ b_{10} & b_{11} & b_{12} \\ b_{20} & b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ z_2 \\ z_2^2 \end{bmatrix}$$

$$F(z_1, z_2) = \begin{bmatrix} 1 & z_1 & z_1^2 & z_1^3 & z_1^4 \\ & & & & M \\ & & & & z_2 \\ & & & & z_2^2 \end{bmatrix}$$

M hat die Ordnung (5,5). Jeder Koeffizient c der Matrix M ist ein Polynom von  $b(i,j)$ . Das Ergebnis entsteht somit aus einer Reihen- und Parallelschaltung mit unterschiedlicher Bewertung der Teilergebnisse. Unter Benutzung eines Filter-Moduls 3x3 ergibt sich die Struktur nach Abb. 2 /4/.

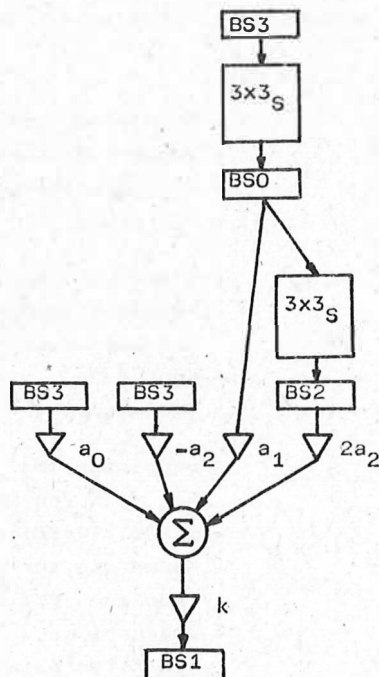


Abb. 2: Filterablauf nach der Transformationsmethode  
(Fenster-Sonderform 3x3 mit Vektor 3x1 bewertet)

Solche Arten der Implementierung lassen sich auch günstig in einer speziellen Hardware realisieren, die direkt im Aufnahme-prozeß integriert ist. Der Vorteil dieser Bearbeitung ist der geringe Zwischenspeicherbedarf. Da die Sensoren alle seriell arbeiten, sind die Speicher als Schieberegister mit ein paar Anzapfungen zu betrachten. Bei einer Abarbeitungsfolge können darum immer gleich aufgebaute Module im Pipeline-Regime verwendet werden /5/.

Für die Datenerfassung unterschiedlichster Szenen wird oft eine hohe Auflösung benötigt. Im Bildinhalt ist jedoch bei sehr vielen Daten eine hohe Redundanz enthalten. Zur Datenreduktion lassen sich eine Reihe unterschiedlicher Methoden anwenden /6/. Mit Hilfe der statistischen Kodierung erhält man durch Ausnutzung der Ungleichmäßigkeit in der Häufigkeit des Auftretens der einzelnen Werte des quantisierten Signals eine beträchtliche Einsparung am Umfang der digitalen Bildbeschreibung. Von den Methoden der digitalen Kodierung kann die Linienverfolgung, die z. B. mit Hilfe der Signalgradienten erfolgt, als besonders effektiv hervorgehoben werden. Für die Kartographie ist sie nach Rekonstruktion der Abbildung (Linien = Straßen; Flächen = Acker z. B.) darum u. a. sehr günstig.

Bei Grauwertbildern ist für eine pegelorientierte Binärisierung im allgemeinen keine feste Schwelle definierbar, durch die ein Objekt von seinem Untergrund isoliert werden könnte. Eine variable Schwelle ist ohne ein Modell des Objektes bzw. des Untergrundes nur unter besonderen Bedingungen an Kantenform, Untergrundverlauf und Bildrauschen befriedigend bestimmbar. Zur Anwendung von Operatoren auf Grauwertbilder müssen daher Umdeutungen vorgenommen werden, die eine Binärisierung im direkten Sinne nicht benötigen. Eine eindeutige Trennung zwischen Vorder- und Hintergrundinformation ist damit nur bei Kenntnis des gesamten Teilbildes möglich, wenn man die Schrägbeleuchtung sowie unterschiedliche Reflektanzen mit berücksichtigen will. Ziel muß es sein, möglichst aus dem Graubild heraus bei der Datenaufnahme eine lokale Binärisierung durchzuführen. Dazu wurden verschiedene Möglichkeiten untersucht, die, wie bereits oben erwähnt, nur bei einer bestimmten Szene gute Ergebnisse lieferten, um im einlaufenden Prozeß eine Kantendetektion mit anschließendem Füllen der durch die Kontur eingeschlossenen Linie rekursiv durchführen zu können. Mit dieser Maske im Hintergrund lassen sich dann auch "Gebirgswanderungen" auf der Grauwertkontur rekursiv bestimmen, die damit ein Skelett erzeugen. Für viele technische Anwendungen ist dieses Verfahren sehr einfach und läßt sich als Hardwaremodul zum BVS zusätzlich einfügen. Das gleiche gilt auch für ein weiteres Modul, das das Labeln von Objekten in einer Bearbeitungsszene vornimmt (Abb. 3). Die Abläufe und Algorithmen dazu sind bereits in /7/ erläutert worden.

Abschließend kann festgestellt werden, daß das Gebiet der Bildverarbeitung heute bereits die unterschiedlichsten Einsatzgebiete gefunden hat und daß es uns als Nutzern und Entwicklern darauf ankommen muß, diesen Problemkreis ständig zu erweitern und einer effizienten und aufgabenbezogenen Anwendung zuzuführen. Damit ergeben sich neben dem Einsatz großer Systeme wie z. B. dem BVS auch eine Vielzahl von speziellen Hard- und Softwarelösungen, die sowohl für Aufgaben der Fernerkundung aber auch für den Industrieinsatz gedacht sind, wobei den Fragen der Echtzeitverarbeitung und deren Implementierungen (VLSI) immer größere Beachtung geschenkt werden muß.

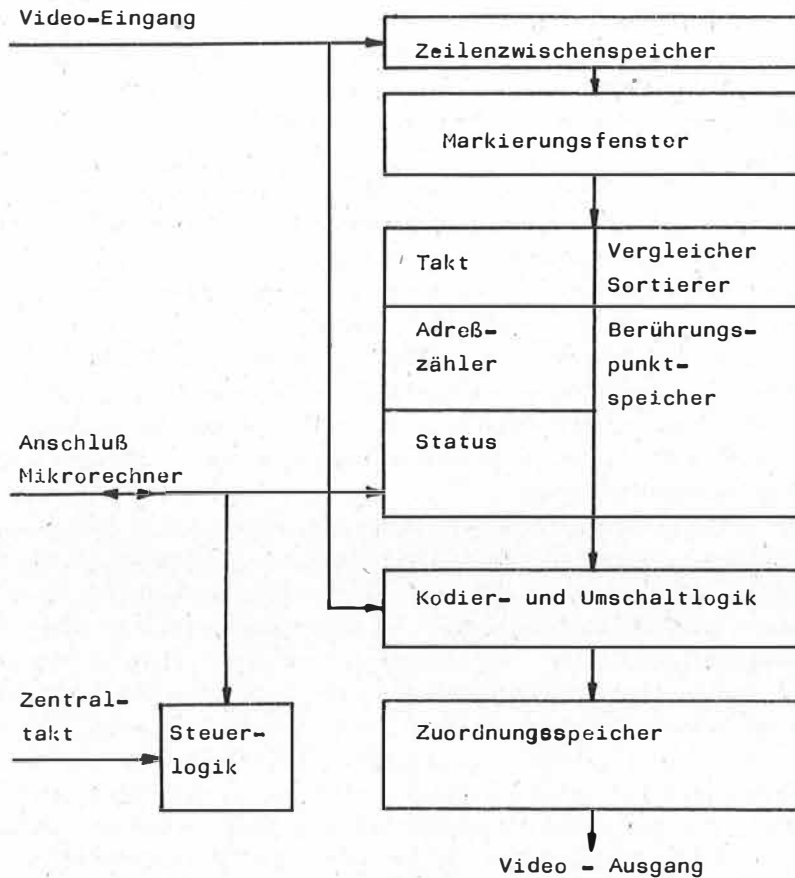


Abb. 3: Blockschaltbild für Schaltungsanordnung zum Labeln von Bildern

#### Literatur:

- |     |               |   |
|-----|---------------|---|
| [1] | Meister       | Beiträge zur 2D-Filterung unter Berücksichtigung eines speziellen Prozessors (unveröff. Dissertation 1984)                      |
| [2] | Huang         | 2D-Digital Signal Processing, Springer-Verlag Berlin 1981   |
| [3] |               | Betriebsdokumentation "BVS A6470" (DIP 1.31.700501.0/61)  |
| [4] | Meister       | Implementierung von 2D-FIR-Filtern auf einem Pipeline-prozessor; messen, steuern, regeln 28 (1985) 11                           |
| [5] | Roesler u. a. | Lokale Bildoperatoren zur Manipulation von Grauwertobjekten und ihre Implementierung durch den Prozessor GIPP EIK 21 (1985) 7/8 |
| [6] | Jaroslavski   | Einführung in die digitale Bildverarbeitung; VEB Dt. Verlag der Wissenschaften 1984   |
| [7] | Meister       | Meßwertverarbeitung von bildhaften Signalen Vortrag zum Problemseminar "Digitale Bildverarbeitung"                              |

Mikrorechnergestützte Lösungen in der Vorverarbeitung von Daten flächenhafter Abbildungen

B. SCHILDWACH

Akademie der Wissenschaften der DDR  
 Institut für Kosmosforschung,  
 Satellitenbodenstation Neustrelitz

Zusammenfassung

Die Analyse von Daten opto-elektronischer Sensoren kann in der Datenvorverarbeitung durch die Reduzierung der aufzunehmenden Daten, d. h. durch die Trennung von relevanten Bildanteilen von nicht interessierenden Bildanteilen und durch die Reduzierung der zu untersuchenden Grauwerte (Reduzierung von Quantisierungsstufen) beschleunigt werden. Eine weitere Erhöhung der Analysegeschwindigkeit kann erreicht werden, wenn die Sensordaten in der Vorverarbeitung im Echtzeitbetrieb bereits so geordnet werden, daß globale Untersuchungs-Algorithmen angewendet werden können. Dies kann beispielsweise durch eine gezielte Platzierung der Sensordaten in einem Arbeitsspeicher erreicht werden. Bei dem Aufbau dieses Arbeitsspeichers als Wechselspeicher, kann eine kontinuierliche Analyse des Speicherinhalts durch den Analyse-Rechner erfolgen. In diesem Beitrag werden dazu Schaltungsanordnungen, die sich in der praktischen Arbeit bewährt haben, angegeben.

Summary

This paper summarizes some possibilities to increase the analysis speed in the field of pattern classifiers by data organisation and special electronic circuits in the pre-processing phase. The analysis speed of data transmitted from CCD-sensors can be increased by reduction of these data. A reduction is possible by separating relevant from non-relevant data of a picture in the phase of data generation by the sensor and by decreasing quantization steps of the pixel data. The application of global classifier algorithms has also some influence on the analysis speed. For example, the storage of every sensor pixel in a memory (RAM) as the interface between sensor and microcomputer is decisive for the analysis time. A dual-buffer system can thus provide continuous analysis by microcomputer.

Резюме

Ускорение проведения анализа данных оптоэлектронных датчиков в предварительной обработке возможно уменьшением принимаемых данных, т.е. отделением релевантных частей изображения от нерелевантных частей изображения, а также уменьшением исследуемых серых значений (уменьшением степеней квантования). Дальнейшее повышение скорости анализа может быть достигнуто в случае, если данные датчиков в процессе предварительной обработки в истинном масштабе времени упорядочиваются таким образом, чтобы могли быть применены глобальные исследовательские алгоритмы. Это может быть достигнуто целенаправленным размещением данных датчиков в оперативной памяти. Организация этой оперативной памяти в качестве ЗУ на сменных дисках позволяет провести непрерывный анализ содержания ЗУ с помощью соответствующей ЭВМ. В этом докладе приведены схемы, которые оправдались на практике.

## 0. Einleitung

Neben der Software zur Bearbeitung von gewonnenen Bilddaten in einem Rechner mit ihrer für den konkreten Anwendungsfall benötigten Verarbeitungsgeschwindigkeit und Rechengenauigkeit, spielt im Gesamtprozeß der Bildgewinnung und Bearbeitung in Form von digitalen Daten die eingesetzte Gerätetechnik vom opto-elektronischen Sensor bis zum Rechnereingang eine voraussetzende Rolle. Es ergeben sich dabei folgende Probleme:

- a) die Beherrschung des opto-elektronischen Sensors, einschließlich der optischen und mechanischen Probleme,
- b) die Anpassung des Datenvorverarbeitungs-Prozesses an die durch den opto-elektronischen Sensor und durch die spezielle Anwendung bestimmte Datenrate, unter der Berücksichtigung der Hardware-Struktur des eingesetzten Mikrorechners,
- c) die optimale Gestaltung der Software zum Auswerten der gewonnenen Bilddaten entsprechend der notwendigen Geschwindigkeit bei Beachtung des zur Verfügung stehenden Rechners.

Die Priorität der mit den Punkten a), b) und c) aufgeworfenen Zusammenhänge wird sich im konkreten Anwendungsfall unterscheiden. In allen Punkten wird es in der Zukunft eine Entwicklung in Richtung der Erhöhung der Verarbeitungsgeschwindigkeit geben. Bis zum Jahr 1995 können folgende internationale Entwicklungstendenzen in der Hardware gegeben werden:

- Durchgehender Einsatz von 16- und 32-Bit-Rechnerarchitekturen für den operativen Einsatz (PC) mit einem minimalen Operationstakt von 4 MHz, bzw. mit minimal 1 MIPS auf der Basis von VLSI-Technik,
- Beginn der Anwendung von VHSI-Systemen, die für einen Operationstakt im Bereich von 25 bis 100 MHz geplant sind,
- Nutzung der GaAs-Technik mit einem Operationstakt von 500 MHz.

Die für diese Systeme benötigten Speicherbauelemente werden zur Zeit bereits in einigen Laboratorien der Welt getestet. So entsteht in GaAs-Technik ein VHSIC-Speicher mit einer Zugriffszeit von 3 ns, bzw. von 0,9 ns bei einer Kühlung auf 77°K. [1]

Aus dieser Entwicklung wird deutlich, daß sowohl neue Lösungen in der Bauelemente-Entwicklung, als auch auf dem Gebiet der System-Entwicklungen benötigt werden. Es werden nachfolgend einige Systemlösungen vorgestellt, mit denen der Prozeß der Datenverarbeitung durch eine Datenreduktion und durch eine rechnerangepasste Strukturierung der Daten beschleunigt wird. Dabei ist es auch das Ziel dieser Lösungen, sich den notwendigen Datenraten opto-elektronischer Sensoren anpassen zu können.

## 1.0. Beschleunigung der Datenverarbeitung durch Datenreduktion

### 1.1. Verringerung von Quantisierungsstufen

Der aus dem opto-elektronischen Sensor ausgegebene digitale Wert  $D_A$  repräsentiert den analogen Wert  $U_S$  der Helligkeit eines Punktes der abgetasteten Fläche. Allgemein gilt:

$$D_A = f(U_S, U_R) \quad (1)$$

$$U_S = U_R \cdot D_A \pm \varepsilon \quad (2)$$

$U_R$ : Referenzpegel

$\varepsilon$ : Quantisierungsfehler



Danach wird ein Dualwert  $D$  mit  $2^n$  Quantisierungsstufen und der entsprechenden Wichtung bezüglich des Referenzwertes  $U_R$  für eine lineare Umsetzungsfunktion aus dem ADU ausgegeben:

$$D = d_{n-1} \cdot 2^{-1} + d_{n-2} \cdot 2^{-2} + \dots + d_0 \cdot 2^{-n} \quad (3)$$

$$d_1 = (1,0)$$

Bei der Reduzierung von  $D$  erhält man den Dualwert  $D_R$  mit  $2^m$  Quantisierungsstufen, wobei  $m < n$  ist. Im günstigsten Fall kann zur Auswertung des Dualwertes mit  $m$ -Bit ein einziges Binärsignal verbleiben:

$$D_{Rideal} = d \cdot W \quad (4)$$

Dabei stellt der Faktor  $W$  die Wichtung der Schwelle für diese Binärwert-Entscheidung dar.

### 1.2. Datenreduktion durch die Begrenzung der abgetasteten Fläche

Bei der Untersuchung von Texturen kommt es nicht darauf an, eine vollständige Abbildung zu bearbeiten, sondern es muß sich auf das interessante Gebiet konzentriert werden. Es muß eine Vorauswahl und damit eine Reduzierung der Daten vor der Verarbeitung in einem Rechner erfolgen. An einem Beispiel soll deutlich gemacht werden, wie unter Ausnutzung von a-priori-Kenntnissen eine Fläche auf hervortretende Strukturen untersucht wird. Für die Analyse der in Abb.1 dargestellten Fläche zur Ermittlung von hervortretenden Strukturen ist ein opto-elektronischer Sensor eingesetzt, der die in X-Richtung bewegte Fläche (relativ zum Sensor) in Y-Richtung abtastet.

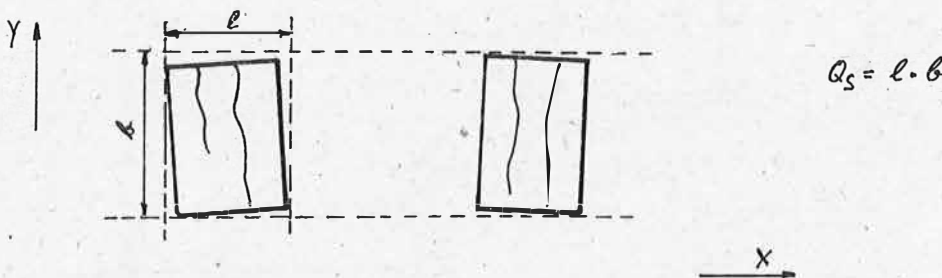


Abb. 1: Abtastung strukturierter Flächen

Zur Beschleunigung des Analyseprozesses wird mit der Schaltungsanordnung in Abb.2 ein direkter Speichertransfer (DMA) zwischen dem Sensor und einem Wechselspeicher verwendet. Darüber hinaus werden mittels a-priori-Kenntnissen nur die Daten gespeichert, die die Fläche mit den interessierenden Strukturen darstellen. Damit wird nicht nur eine Datenreduktion möglich, sondern es entfällt auch die Objektrennung im Analyse-Rechner. Die Erkennung der zu speichernden Fläche erfolgt über die Auswertung von bekannten flächenbegrenzenden Merkmalen innerhalb einer Abtastzeile. Wird bei der Auswertung der vorgegebene Parameter "Fläche" erreicht, so beginnt der Prozeß der Datenspeicherung mit einer festgelegten Datenmenge  $Q_s$ , die als a-priori-Kenntnis vorliegen muß. Dabei kann der in der Steuerbaugruppe der Abb.2 eingesetzte Mikrorechner bereits Vorinformationen

über das Auftreten einer Struktur gewinnen und an den Analyse-Rechner übermitteln. Durch den Einsatz der Wechselspeicher-Anordnung kann die Datenerfassung unabhängig vom Analyse-Prozess erfolgen und eine kontinuierliche Datenanalyse zur Beschleunigung des Gesamtprozesses gewährleistet werden. Eine Synchronisation zwischen dem ablaufenden Prozess von der Datenaufnahme durch den Sensor bis zur Datenanalyse muß dabei gewährleistet werden.

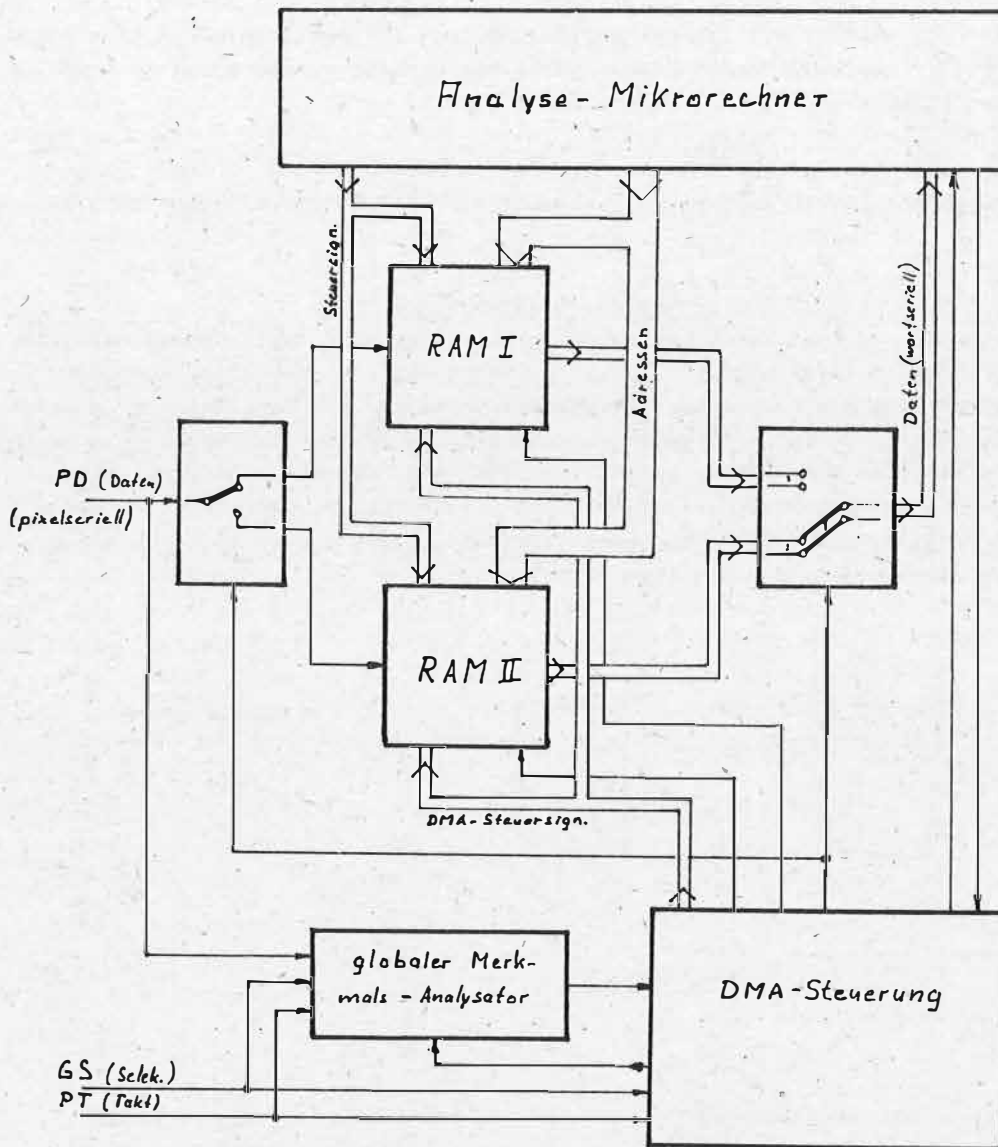


Abb. 2: Wechselspeicher-Anordnung mit globaler Merkmalserkennung

## 2.0. Beschleunigung der Datenverarbeitung durch eine dem Rechner angepaßte Datenstruktur

Eine weitere Erhöhung der Auewertegeschwindigkeit kann erreicht werden, wenn die Binärdaten im Wechselspeicher der Vererbeitungsstruktur des Analyse-Rechners angepaßt sind. Diese Anpassung muß nicht nur die Hardware dieses Rechners, sondern auch seine Software-Möglichkeiten berücksichtigen. Somit bedarf die Schaffung dieser optimalen Datenstruktur eine enge Zusammenarbeit zwischen den Bearbeitern der Soft- und der Hardware.

Eine Erhöhung der Analysegeschwindigkeit ist beispielsweise möglich, wenn im Analyse-rechner die Mehrzahl der Operationen in der Wortbreite der eingesetzten CPU erfolgen kann und Bitoperationen vermieden werden. Diese Vermeidung von Bitoperationen kann durch eine Speicherplatz-Organisation nach Abb.3 erreicht werden. Dabei werden die pixelorientiert in den Speicher geschriebenen Binärdaten bereits während des DMA-Vorganges so geordnet, daß einmal Wörter in der Verarbeitungsbreite des Rechners entstehen und andererseits die Pixel in dieser Struktur so geordnet sind, daß globale Untersuchungen an diesen Strukturen vorgenommen werden können. Somit können Software-Lösungen mit geringen Laufzeiten gefunden werden. Für den Aufbau des Speichers sind zwei Wege möglich:

- Einsatz von bitorientierten Speichern
- Einsatz von byteorientierten Speichern

Der Vorteil des Einsatzes von byteorientierten Speicherschaltkreisen besteht in ihrer hohen Packungsdichte. Allerdings muß zur pixelweisen Beeinflussung des Speicherinhalts jeder Schreibzyklus mit einem Lesezyklus eingeleitet werden und es wird eine weitere Schaltungsanordnung zum Zwischenspeichern des gelesenen Speicherwertes benötigt, der den genannten Vorteil wieder aufhebt.

Die schnellste Möglichkeit zum Speichern von Daten stellt unter den genannten Bedingungen der Einsatz von bitorientierten Speicherschaltkreisen dar. Beim Einsatz von 8-Bit-Rechnern werden zur Realisierung einer solchen Anordnung, die in der Abb. 4 zu sehen ist, wenigstens acht Halbleiterspeicher benötigt. Demzufolge werden beim Einsatz eines 16-Bit-Rechners wenigstens 16 Halbleiterspeicher für eine schnelle Abarbeitung des Speicherinhalts benötigt. Die Datenaufzeichnung erfolgt über eine spezielle DMA-Schnittstelle, wie sie auch in [2] beschrieben wurde. Dabei erfolgt die DMA-Adressengenerierung in einer Hardware-Zählerbaugruppe, und die notwendigen Steuersignale werden mit dem Pixel-Übernahmetakt synchronisiert erzeugt. Da zum Speichern eines Pixels nur jeweils ein Speicherbaustein selektiert werden muß, kann bereits beim Schreibvorgang eine Verteilung der einzelnen Pixel auf beliebige Speicherplätze der einzelnen Schaltkreise erfolgen. Die speicherbare Datenrate ist damit nur von den Zugriffszeiten, bzw. den Zykluszeiten (Zugriffszeit+Erholzeit) abhängig. Nach dem Abschluß des DMA-Vorganges erfolgt die Umschaltung auf das Lesen durch den Rechner. Dieser greift dann mit seinen Adressen parallel auf alle Speicherschaltkreise zu. Es ist also zur Ausnutzung der Eigenschaften dieser Schaltungsanordnung notwendig, Kenntnisse über die Auswertungs-Algorithmen im Rechner zu besitzen, um diese Speicherplatz-Manipulation beim Schreibvorgang vornehmen zu können.

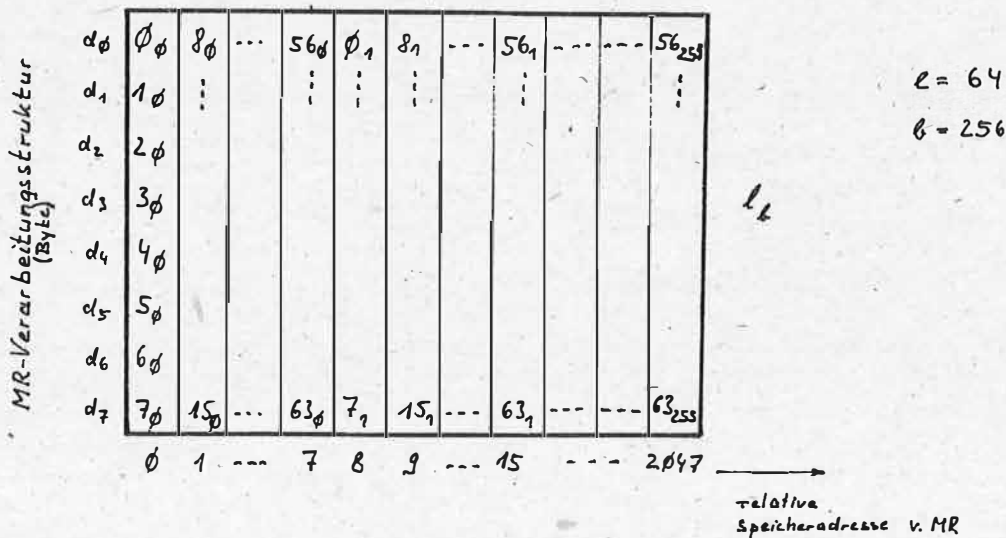


Abb. 3: Binärwertablage im RAM

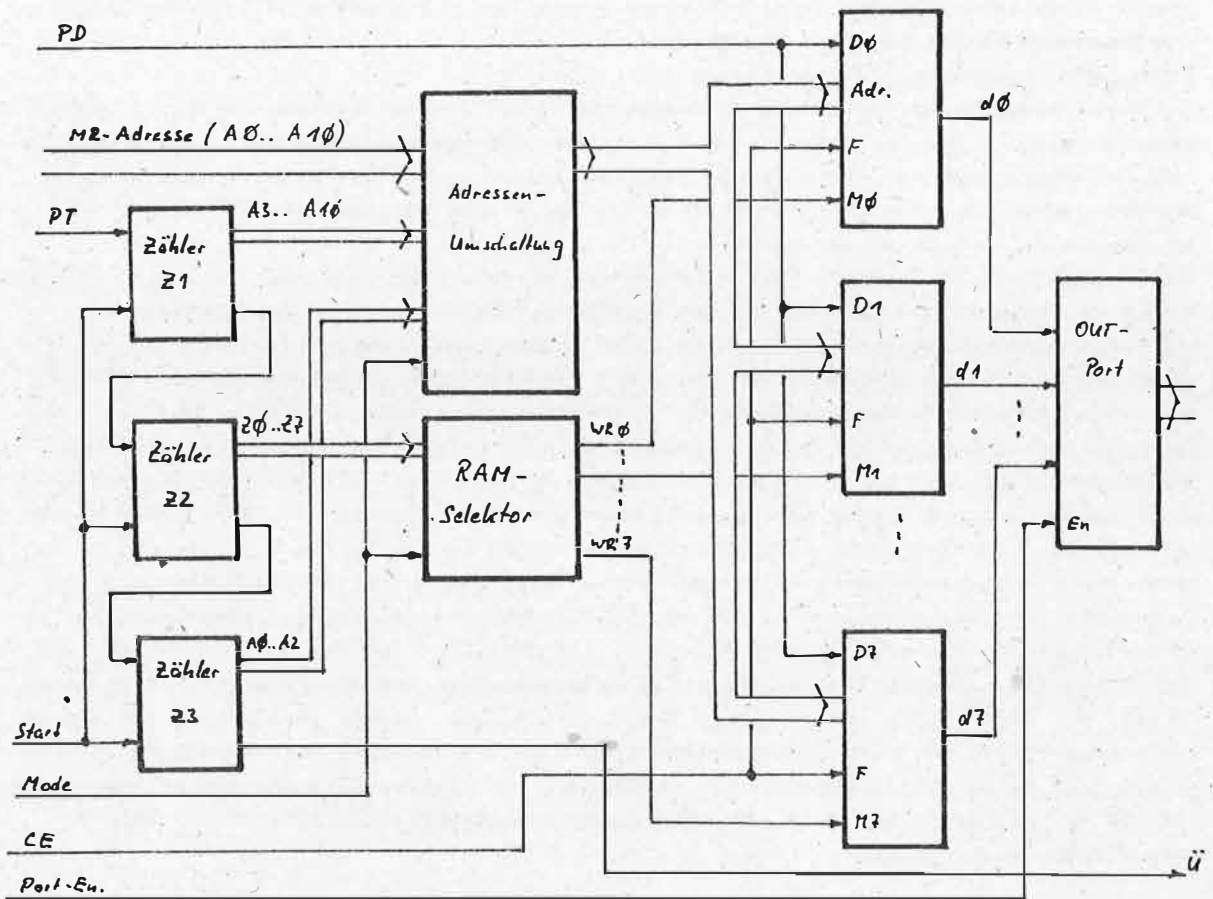


Abb. 4: Speicheranordnung nach [3] zur Realisierung der Binärwerttabelle nach Abb. 3

- PD: bitserielle Pixeldaten (Binärwert)  
 PT: Pixeltakt  
 Mode: Adresdenumschaltungs-Signal  
 WR: Schreibsignale  
 Ü: Speicher-Überlauf-Signal

### 3. Prüfgerät für eine CCD-Kamera

Bei Arbeiten an INTERKOSMOS-Aufgaben entstand die Forderung, ein kompaktes und operativ einsetzbares Gerät zu entwickeln, mit dem Daten eines opto-elektronischen Sensors an interessierenden Objekten gewonnen und gespeichert werden können, um sie anschließend unter Laborbedingungen einer Analyse zu unterziehen. Da weiterhin die Forderung gestellt wurde, daß mit diesem Gerät der opto-elektronische Sensor mit seiner Ausgabe-Datenrate und dem Datenübergabe-Protokoll nachgebildet werden kann, um mit einer beliebigen Wiederholrate aufgestellte Analyse-Programme in einem Analyse-Rechner testen zu können, wurde dieses Gerät auch mit einer DMA-Dateneingabe versehen. Der Einsatz dieses Gerätes hat sich beispielsweise bei der Entwicklung der CCD-Kamera für die INTERKOSMOS-Tiefraumprojekte VEGA 1 und VEGA 2 bewährt, die durch Wissenschaftler der UVR entwickelt wurde.

Zur Speicherung und zur Analyse von 256k Pixeln mit einer Quantisierung von 8 Bit wurde eine Schaltungsanordnung mit dynamischen Halbleiterspeichern geschaffen. In diesen Speicher können die Bilddaten byteorientiert mit einer Datenrate geschrieben werden, die nur von den Zykluszeiten der verwendeten Halbleiterspeicher bestimmt wird und in einem Mustergerät  $1\text{M Pixel}\cdot\text{s}^{-1}$  [2] betrug. In Abb. 5 ist die gewählte Schaltungsanordnung zu sehen. Der Prozeß des Schreibens der Bilddaten in diesen Speicher erfolgt durch eine DMA-Steuerbaugruppe, und der eingesetzte Rechner übernimmt die Überwachung dieses Prozesses. Er greift dann wieder zum Inhalt des dRAM zu, wenn der DMA-Speichervorgang abgeschlossen ist und/oder der REFRESH-Vorgang für die Speicherzellen notwendig ist. Das Gerät verfügt über eine Schnittstelle zu einem Magnetbandgerät, so daß die gewonnenen Bilddaten auf diesen Massespeicher abgelegt werden können. Im praktischen Einsatz dieses Gerätes erwies sich diese mikrorechnergestützte Anordnung als vorteilhaft, da noch nachträglich mit speziellen Programmen Nutzerforderungen Rechnung getragen werden konnte.

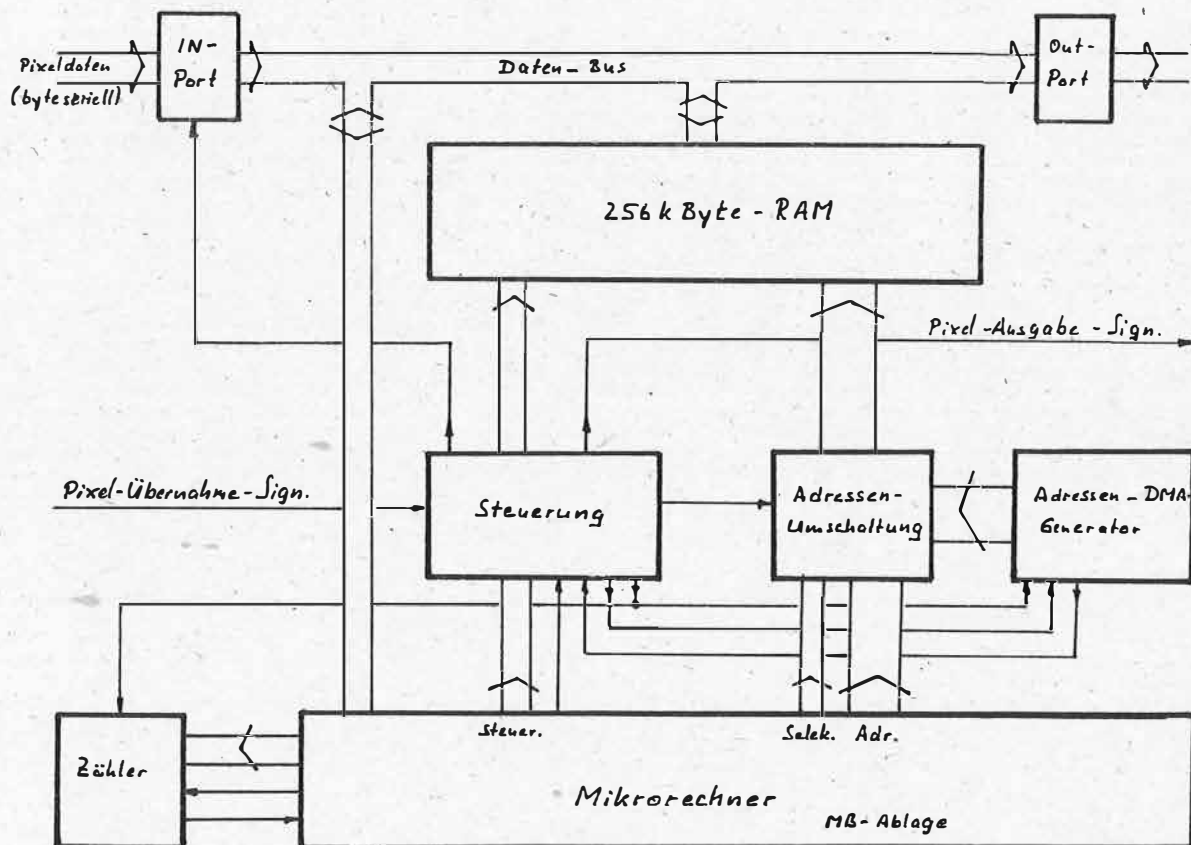


Abb. 5: Schaltungsanordnung für den direkten Speicherverkehr mit dRAM



Literaturverzeichnis:

- /1/ "Deploying very large-scale integrated circuits"  
Defense Electronics, USA, California, Palo Alto  
September 1985, Volume 17, Nr. 9, p. 159
- /2/ Schildwech, B.; Koldewey, E.; Kochlicki, J.:  
"Dynamischer 256-kbyte-Halbleiterspeicher"  
radio fernsehen elektronik, Berlin 34(1985) 4, S. 243
- /3/ Schildwech, B.:  
"Schaltungsanordnung zum schnellen und direkten Speichern von seriellen  
digitalen Daten"  
WP G11C, 2840014

Das Territorialprinzip bei Empfang und operativer Analyse kosmischer Fernerkundungsdaten

---

A. P. TIŠČENKO

Staatliche Universität Moskau, UdSSR

Zusammenfassung

Der Aufbau des staatlichen Systems der Erderkundung aus dem Weltraum spielt eine besondere Rolle für die effektive Nutzenanwendung kosmischer Fernerkundungsdaten. Um einen operativen Datenzugriff und eine operative Nutzung der Daten und Informationen zu ermöglichen, muß dieses System territorialen (lokalen, regionalen) Interessen und Anforderungen der Nutzerorganisationen entsprechen.

Ein günstiges System wird dabei offensichtlich durch Schaffung von territorialen Auswertezentren erreicht. Diese verfügen sowohl über Geodatenbanken (mit Ergebnissen der thematischen Auswertung kosmischer Aufnahmen, Archivdaten und Subsattellitenmessungen), als auch über kleinere Empfangsstellen für Satellitenbilddaten (ORBITA-Fernsehsystem) und Display-Komplexe zur interaktiven Bildanalyse. Eine Reihe organisatorischer und technologischer Fragen zur Optimierung eines solchen Systems werden diskutiert.

Summary

The development of a governmental space resource system is an important tool for the highly efficient use of remote sensing data. For operational handling of information, the system must be oriented to territorial needs of user organisations. A successful system bases on territorial centres which include geodata banks (with results of thematic analysis of remote sensing data and ground measurements), small receiving points of satellite data and processing devices for interactive analysis. Technological aspects for an optimization of the system are discussed.

Резюме

Построение системы космического землеведения играет важную роль для эффективного использования космических данных о природных ресурсах и состоянии окружающей среды. При оперативном получении и использовании данных особое значение приобретают территориальные аспекты и интересы потребительских организаций. При этом оптимальным, очевидно, является создание территориальных центров обработки материалов, располагающих геоинформационными банками / с результатами тематической обработки космических съемок, фондовыми и подспутниковыми материалами / , а также "малыми" пунктами приема видеоданных с ИСЗ и дисплейными комплексами для интерактивной обработки. В работе рассматривается ряд организационных и технологических вопросов оптимизации такой информационной системы.

## 1. Bestandteile des kosmischen Systems der Informationsgewinnung über Naturressourcen und Umwelt

Die traditionellen Methoden der Erderkundung sind insbesondere wegen des diskreten Charakters und der fehlenden Synchronität der Messungen sowie des erheblichen ökonomischen Aufwandes nicht in der Lage, die ständig wachsenden Anforderungen der Gesellschaft nach aktuellen (operativen) Informationen zu erfüllen. Aus diesem Grunde orientieren die zentralen Beschlüsse der UdSSR die Wissenschaft und Volkswirtschaft auf die Nutzung der Weltraumtechnik. Aufbau und Entwicklung eines kosmischen Informationssystems werden in der UdSSR als Bestandteile staatlicher Politik betrachtet.

Das kosmische Informationssystem enthält folgende Hauptkomponenten:

- automatische Satelliten der Serie METEOR-PRIRODA (ständig),
- automatische Satelliten der KOSMOS-Serie (periodisch),
- Weltraumstationen vom Typ SALUT bzw. MIR (langlebig),
- Subsatellitentechnik (Flugzeug-, Schiffs-, Bodenmeßtechnik) zur Erderkundung,
- Hauptzentren für Datenempfang und Primär-Datenverarbeitung,
- Zentren zur thematischen Auswertung und Nutzung kosmischer Fernerkundungsdaten.

Die auf sonnensynchronen Bahnen umlaufenden METEOR-PRIRODA-Satelliten sind im allgemeinen mit scannierenden Systemen ausgestattet, die multispektrale Aufnahmen der Erdoberfläche im sichtbaren, infraroten und Mikrowellenbereich ermöglichen. Die Aufnahmedaten werden über Radiokanäle zu den Bodenstationen übertragen (Bild 1). Gegenwärtig erfolgen Signalempfang und allgemeine Vorbereitung dieser multispektralen Scannerdaten in den drei Hauptzentren Moskau, Nowosibirsk und Chabarowsk. Mit Hilfe dieser METEOR-PRIRODA-Satelliten sind Aufnahmen der gesamten Erdoberfläche mit Geländeaufösungen im Bereich 50...1000 m möglich.

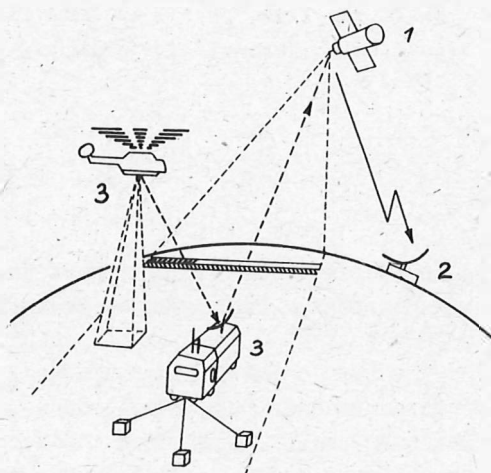


Bild 1. Erderkundung mit METEOR-PRIRODA-Satelliten

- 1 - Satellit METEOR-PRIRODA
- 2 - Bodenempfangsstation
- 3 - automatisierter Bodenmeßkomplex zur Gewinnung von Subsatelliten-Meßdaten

Als vorteilhaft erweist sich die Möglichkeit zur systematischen und relativ kurzzeitigen Wiederholbarkeit der Aufnahmen (bis zu 20 x pro Jahr), wodurch regelmäßige Beobachtungen natürlicher und anthropogener Veränderungen der Umwelt möglich sind. Mit den experimentellen Satelliten METEOR 18 (1974), METEOR 25 (1976), METEOR 29 (1977), METEOR 31 (1979), METEOR-PRIRODA (1980) wurden bisher multispektrale Bilddaten der Erdoberfläche in einem solchen Umfange erhalten, daß das Territorium der UdSSR viele Male vollständig erfaßt ist.

Satelliten der KOSMOS-Serie werden periodisch zu den für die jeweilige Aufgabenstellung günstigsten Zeiten mit unterschiedlichen Bahnneigungen eingesetzt. Ihre Lebensdauer ist relativ kurz (einige Tage bzw. Wochen). Diese Satelliten besitzen fotografische Kameras zur Durchführung von Schwarz/Weiß-, panchromatischen, multispektralen, Color- und Spektrozonaufnahmen im visuellen und nahen infraroten Bereich. Die Aufnahmekassetten werden in speziellen Behältern zur Erde zurückgeführt und nach den aus dem Luftbildwesen prinzipiell bekannten Technologien bearbeitet.

Fotografische Aufnahmen aus dem Weltraum zeichnen sich durch hohes Auflösungsvermögen und einen relativ großen erfaßten Geländeausschnitt aus. In ihrem geometrischen und thematischen Informationsgehalt nähern sie sich in zunehmendem Maße den Luftaufnahmen. Sie werden in großem Umfange in der topographischen und thematischen Kartographie sowie bei der Lösung von Aufgaben der Ressourcen- und Umwelterkundung eingesetzt. Die systematische und häufige Wiederholung kosmischer Fotoaufnahmen ist jedoch nicht einfach und sehr aufwendig. Dies ist einer der Hauptgründe dafür, daß kosmische Fotoaufnahmen bei der Erkundung der Dynamik natürlicher und anthropogener Prozesse eine geringere Effektivität besitzen, als die Scannerregistrierungen der METEOR-PRIRODA-Satelliten. Darüber hinaus entwickelt sich die Technik mit Scannersystemen mit hohem Tempo weiter, so daß sich auch die Unterschiede in der Bildqualität beider Systeme ständig verringern.

Bemannte kosmische Flugkörper gestatten die Installierung eines ganzen Komplexes verschiedenartiger Geräte zur Fernerkundung, darunter solcher mit relativ großen Dimensionen und mit relativ hohem Energieverbrauch. Eine Vielzahl von Experimenten, die von Kosmonauten in der Erdumlaufbahn durchgeführt wurde, haben die Grundlagen für die Ableitung von technischen Anforderungen an kosmische Meßsysteme und an die Aufnahmemethodik geschaffen sowie die Ableitung neuer Bereiche der volkswirtschaftlichen und wissenschaftlichen Nutzenanwendung der kosmischen Technik ermöglicht /<sup>-2</sup>7.

Subsatellitenmessungen werden zur Sammlung von Referenzdaten auf Kontrollpolygonen und in Testgebieten mit Hilfe von Flugzeug-, Schiffs- und Bodentechnik durchgeführt. Diese Daten werden in die Auswertung der kosmischen Multispektralinformationen einbezogen, insbesondere um Zusammenhänge zwischen den aus dem Weltraum ausgeführten Messungen der Intensität der spektralen Strahlungsgrößen und den physikalisch-chemischen bzw. biometrischen Charakteristiken des Zustandes der natürlichen Objekte abzuleiten.

## 2. Anwendungsbereiche von Fernerkundungsdaten

Die bisher bei der Nutzung kosmischer Multispektralaufnahmen gesammelten Erfahrungen bestätigen die erwartete hohe Effektivität für die Lösung zahlreicher volkswirtschaftlicher und wissenschaftlicher Aufgaben. Dazu gehören u. a.

- Zustandsbewertungen landwirtschaftlicher Nutzflächen, Kontrolle des Ablaufs landwirtschaftlicher Maßnahmen, Bestimmung der Produktivität von Weideland
- Bestimmung von Bodenarealen einheitlicher Genese, ihrer Charakteristiken und ihres Zustandes
- Bestimmung von Waldtypen und des Zustandes forstwirtschaftlicher Bestände
- Bewertung des Zustandes von Oberflächengewässern sowie der Schnee- und Eisbedeckung
- Einschätzung der Bioproduktivität und physikalisch-chemischer Charakteristiken von Wasserkörpern sowie der Eissituation

- Untersuchung globaler und lokaler geologischer Strukturen der Erdkruste für die Ableitung von Gesetzmäßigkeiten zur Lokalisierung von Lagerstätten einschl. Erdöl-/Erdgasperspektivität
- Einschätzung anthropogener Einflüsse auf die Umwelt

Im Rahmen der Entwicklung der Arbeiten auf dem Gebiet der kosmischen Erderkundung wird in der UdSSR und in den sozialistischen Ländern ein komplexes Programm mit folgenden Hauptrichtungen realisiert:

- a) Grundlagenforschung zur Ableitung von Gesetzmäßigkeiten der Wechselwirkung der elektromagnetischen Strahlung mit Objekten der Erdoberfläche und der Atmosphäre,
- b) Vervollkommnung der technischen Mittel zur Gewinnung von Fernerkundungsdaten,
- c) Weiterentwicklung technischer Mittel und Methoden zur Bearbeitung von Fernerkundungsdaten,
- d) Optimierung der Organisationsstrukturen für die volkswirtschaftliche und wissenschaftliche Nutzung kosmischer Informationen /<sup>-4</sup>7.

An diesen Arbeiten sind eine Reihe industrieller Bereiche sowie Institute der AdW und des Hochschulwesens der UdSSR beteiligt.

### 3. Organisationsform des Systems der kosmischen Erderkundung

Bei der Analyse organisatorischer Fragen einer wirtschaftlichen Nutzenanwendung kosmischer Aufnahmematerialien und der damit zusammenhängenden technischen Lösungen zum Aufbau eines praktikablen Systems der Erderkundung aus dem Weltraum spielen territoriale Aspekte der Umweltüberwachung und der rationellen Nutzung der Naturressourcen eine besondere Rolle. Hier wird eine komplexe Herangehensweise, ausgehend von gesamtstaatlichen Interessen, gefordert /<sup>-1</sup>7.

Wie unter 1. genannt, ermöglicht das gegenwärtig eingesetzte System METEOR-PRIRODA die Übertragung von Informationen über die Naturressourcen aus dem Weltraum in die 3 Hauptzentren, von denen jedes in der Lage ist, Daten von etwa 1/3 der Gesamtfläche des UdSSR-Territoriums aufzunehmen. Damit wird sicher eine vorteilhafte Konzentration von Rechentechnik zur Auswertung der Fernerkundungsdaten ermöglicht. Andererseits kann damit jedoch die Operativität beim Datenzugriff für die territorialen Nutzerorganisationen nicht in optimaler Weise gesichert werden. Auch durch Einrichtung zweigbezogener Zentren wird eine Verbesserung dieser Situation offensichtlich nicht erreichbar sein, da diese im allgemeinen in solchen Orten eingerichtet werden, wo sich auch die Haupt-Empfangszentren befinden.

Bei einer solchen Organisationsform des Systems der kosmischen Erderkundung wird die Möglichkeit zu operativem Empfang und zu operativer Nutzung der Informationen für eine ganze Reihe territorial wirksamer Institutionen (auf Gebiets- und Republikebene) erschwert. Die hauptsächlichsten an einem kurzfristigen Erhalt und schneller Nutzung kosmischer Fernerkundungsdaten interessierten territorialen Institutionen sind die Räte der Agrar-industriellen Komplexe. Diese benötigen operative Informationen über den Zustand der landwirtschaftlichen Nutzflächen, die Dynamik der Oberflächengewässer und der Schneebedeckung, über den Ablauf der landwirtschaftlichen Arbeiten und die Entwicklung der Kulturen, über Fehlstellen, Krankheiten und phänologische Entwicklung, den Zustand von Wäldern, Sumpfgebieten, Verkehrswegen u. a. Objekte. Darüber hinaus sind die örtlichen Verwaltungsorgane an Angaben über die Dynamik des ökologischen Zustandes des Territoriums, insbesondere in der Nähe von Ballungsgebieten und in Gebieten mit intensiv betriebener Land- und Forstwirtschaft, interessiert.



Die Schaffung territorialer Zentren zur Auswertung multispektraler kosmischer Aufnahmen, die über Geodatenbanken verfügen und die den örtlichen Organen systematisch Informationen für die landwirtschaftliche Produktionssteuerung sowie zur Ressourcen- und Umwelterkundung zur Verfügung stellen können, führt bei diesen zu einer wesentlich höheren Sicherheit ihrer Kenntnisse über den Einfluß wirtschaftlicher Maßnahmen auf die Umwelt und zu einer höheren Effektivität der Maßnahmen zu ihrem Schutz.

#### 4. Zur Ausstattung der territorialen Zentren

Die Datenbanken, über die die territorialen Zentren verfügen, sollen die Ergebnisse der thematischen Auswertung kosmischer Fernerkundungsdaten, gespeicherte Archivdaten und Ergebnisse von Subsatellitenmessungen enthalten. Die Struktur der Datenbank muß dabei den Erfordernissen einer operativen Gewinnung und Auswertung kosmischer Daten und eines freien Zugriffs für die Nutzer (örtliche Verwaltungsorgane) Rechnung tragen.

Die technischen Aspekte der Schaffung solcher territorialer Zentren sind in erster Linie mit der Gewährleistung von Empfang und Auswertung großer Mengen von kosmischen multispektralen Bilddaten verbunden. Hierbei werden während einer Übertragung aus dem Weltraum Datenraten bis zu 100 MByte/s erreicht.

Die Operativität beim Erhalt kosmischer Bilddaten in den territorialen Zentren kann durch folgende Maßnahmen organisiert werden:

- Übertragung multispektraler Daten bzw. von Ergebnissen ihrer Auswertung von den Hauptzentren in die territorialen Zentren mit Hilfe eines stark verzweigten und ausreichend leistungsfähigen Netzes terrestrischer Kommunikationskanäle oder über Satelliten und
- Einrichtung von Empfangsstellen in den territorialen Zentren zur Registrierung des Informationsstromes von den Satelliten sowie von Auswertestationen zur Datenanalyse.

Da die Hauptzentren lediglich Empfang und Vorverarbeitung (Korrektur der Meßdaten) gewährleisten und keine entscheidende Datenkompression durchführen, sind die Datenströme aus den Hauptzentren in die territorialen Zentren von der gleichen Größenordnung, wie die Datenströme von Satelliten zum Hauptzentrum. Eine thematische Multispektralinformation ist dagegen bereits um einige  $10^2$  gegenüber dem Ausgangsmaterial komprimiert. Solche thematische Multispektralinformationen (hochauflösende Bilddaten), wie sie von den Agrar-Industrie-Komplexen benötigt werden, erfordern jedoch für ihre Auswertung einen relativ großen Umfang an Apriori- und Referenzdaten sowie die Analyse der Ergebnisse früherer Aufnahmen (Zeitreihen u. ä.). Wenn eine solche Auswertung durch die Hauptzentren erfolgen soll, muß ein "Gegenstrom" von Informationen aus dem Untersuchungsgebiet in diese Hauptzentren organisiert werden, d.h. die territoriale Information wird in der Datenbank des Hauptzentrums praktisch ein zweites Mal organisiert. Die Unzweckmäßigkeit einer solchen Verfahrensweise liegt auf der Hand, insbesondere wenn man den dynamischen Charakter solcher Informationen berücksichtigt. Darüber hinaus ist die Schaffung eines gesonderten terrestrischen Übertragungsnetzes hoher Leistungsfähigkeit teuer und kompliziert.

Die Übertragung von multispektralen Bilddaten setzt voraus, daß in den territorialen Zentren Empfangsstellen für Satellitendaten vorhanden sind. Solche Daten für relativ große Aufnahmegebiete können mit den üblichen Antennen des Fernsehsystems ORBITA empfangen werden [57], die praktisch in jeder Gebietshauptstadt vorhanden sind.

Die Auswertung multispektraler Bilddaten erfolgt in interaktiver Arbeitsweise, bei der sich ein Operateur unmittelbar in den Auswerteprozess einschalten kann. Dies ist auch erforderlich, da eine Reihe von Erkennungsalgorithmen und auch die Qualitätsbewertung des Auswertergebnisses

heuristischen Charakter besitzen, Belehrungselemente beinhalten und keine analytische Lösung gestatten. Die kommerziell verfügbaren Displaykomplexe "Spektr-D" (Fernsehwerk Lwow/UdSSR) bzw. KTS/BVS (Robotron/DDR) gestatten die Durchführung von Dialogverarbeitungen multispektraler Aufnahmen. Die Ergebnisse lassen sich über entsprechende Hardcopy-Geräte dokumentieren. Die Rechentechnik in den territorialen Auswertezentren kann auf der Basis der in der UdSSR in breitem Umfange genutzten EDV-Anlagen der Klassen "SM" oder "Elektronika" konfiguriert werden, an die auch nichtstandardisierte Peripherie (Displaykomplexe, Hardcopys) adaptierbar sind.

Die Schaffung territorialer Auswertezentren, verbunden mit Empfangsstellen für die Satellitendatenaufzeichnung und Auswertestationen für die interaktive Datenanalyse, stellt somit offensichtlich einen hoch effektiven und praktikablen Bestandteil der Organisation eines kosmischen Informationssystems dar. Wegen des relativ komplizierten Charakters sowohl der thematischen Bildanalyse, als auch der Schaffung von entsprechenden Datenbanken sollten diese Zentren - zumindest in der experimentellen Phase - eng mit größeren wissenschaftlichen Einrichtungen der AdW oder des Hochschulwesens zusammenarbeiten, da von diesen Einrichtungen wissenschaftlich-technische Unterstützung bei Aufbau und Weiterentwicklung des Systems gewährt werden kann.

#### Literatur

- /1\_7 Materialien des ZK-Plenums der KPdSU, Dezember 1983
- /2\_7 Grěško G. M. u.a.: Erdbeobachtungen durch die Kosmonauten der 1. Besatzung der Raumstation SALUT 6. Issl. Zemli iz Kosmosa, N<sup>o</sup> 1. Moskau 1982
- /3\_7 Brjuchanow V. N.: Einige besondere Parameter kosmischer Aufnahmen bezüglich ihres geologischen Informationsgehalts. Issl. Zemli iz Kosmosa, N<sup>o</sup> 4. Moskau 1983
- /4\_7 Kozlov N. P. u.a.: Komplexexperiment mit dem Satelliten METEOR - ein wichtiger Schritt bei der Entwicklung der operativen Fernerkundung der Erde. Issl. Zemli iz Kosmosa, N<sup>o</sup> 5. Moskau 1981
- /5\_7 Bogomolov A. F. u.a.: Probleme der digitalen Übertragung und Registrierung multispektraler Videoinformationen und ihre Lösung im Experiment "Fragment". Issl. Zemli iz Kosmosa, N<sup>o</sup> 5. Moskau 1981

Die modulare Wetterbild-Empfangsstation WES-3

H.-D. BETTAC, D. KLÄHN, R. LANDROCK,

J. SCHWARZ, H.-J. SKOTTKE

Akademie der Wissenschaften der DDR

Institut für Kosmosforschung

Satellitenbodenstation Neustrelitz

Zusammenfassung

Die Wetterbild-Empfangsstation WES-3 dient dem Empfang der Satelliten METEOSAT (ESA) und NOAA (USA) im unteren S-Band sowie NOAA und METEOR (SU) im VHF-Bereich. Durch die modulare Bauweise kann die Anlage den Nutzerforderungen weitestgehend angepaßt werden. Erläutert werden die einzelnen Ausbaustufen des Gesamtsystems sowie die wichtigsten Baugruppen des Empfangstraktes wie Antennen, Autotracksystem, Trackingprozessor, rauscharmer Mikrowellenkonverter und Empfänger mit Bitregenerationseinheit. Besonders eingegangen wird dabei auf den Aufbau, die Leistungsfähigkeit und die technischen Parameter der verschiedenen Systemvarianten und Baugruppen.

Summary

The modular weather-image receiving station WES-3 meets the demands of the users for receiving and processing both the analogous and digital data for the satellites METEOSAT (ESA), METEOR (SU) and NOAA (USA) transmitted in the VHF- as well as S-band. Due to the modular conception, the station is optimally adaptable to user requirements. In the paper the varieties of the system as a whole, as well as the most important reception units such as antenna, autotrack system, tracking processor, low-noise microwave converter, receiver and bit regeneration are discussed. Especially described are the system performance and the technical parameters of the station and their components.

Резюме

Метеорологическая станция WES-3 служит для приёма данных спутников METEOSAT/Франция/, NOAA/США/ в нижнем s - частотном диапазоне, а также NOAA и METEOR/СССР/ в УКВ диапазоне. Благодаря модульной установке такое устройство хорошо удовлетворяет требованиям потребителя. Описываются отдельные ступени разработки общей системы, а также важнейшие узлы приемного устройства, такие как антенны, автоматически следящая система, процессор слежения, малозумящий микроволновой преобразователь и приемник с восстановлением битов. Особое внимание уделяется при этом конструкции, производительности и техническим параметрам различных вариантов системы и узлов.

## 1. Einführung

Anfang der siebziger Jahre wurde in der Akademie der Wissenschaften der DDR die Empfangsanlage WES-2 für analog modulierte und im VHF-Band (136 - 138 MHz) übertragene Wetterbildinformationen meteorologischer Satelliten im APT-Format entwickelt. Ihre wichtigsten Komponenten sind in den Arbeiten /1/ bis /4/ beschrieben.

Im Rahmen des Globalen Atmosphärischen Forschungsprogramms GARP der Meteorologischen Weltorganisation WMO wurde Ende der siebziger Jahre begonnen, ein weltumspannendes System meteorologischer Satelliten aufzubauen, das von seiner Grundkonzeption her in Abb. 1 dargestellt ist. Es besteht aus bis zu sechs geostationären Satelliten und wird durch sonnen-synchrone, polumlaufende Satelliten der Serien METEOR (UdSSR) und NOAA ergänzt, um in Gebieten hoher geographischer Breite eine vergleichbare Auflösengenauigkeit zu erhalten wie mit den geostationären Satelliten in äquatornahen Gebieten. Die Signalübertragung erfolgt sowohl in analoger (APT, WEFAX) als auch in digitaler Form (HRPT). Die Übertragungsfrequenzen für die Nutzer liegen teilweise noch im bisherigen VHF-Telemetrieband (137 MHz), vorwiegend jedoch im unteren S-Band bei 1,7 GHz.

Auf Grund ihrer geographischen Lage sind für Nutzer im europäischen, arabischen und afrikanischen Raum die Satelliten METEOSAT (ESA), NOAA (USA) und METEOR (UdSSR) von besonderem Interesse. METEOSAT überträgt Informationen in drei Spektralbereichen mit Auflösungen im Subsattellitenpunkt von 2,5 km im sichtbaren Kanal und 5 km im IR-Bereich (10 - 12,5  $\mu\text{m}$ ) bzw. dem Absorptionsband des Wasserdampfes (5,7 bis 7,1  $\mu\text{m}$ ). NOAA sendet Digitaldaten von 5 Spektralbereichen mit einer Auflösung von 1,1 km (K1: 0,55  $\mu\text{m}$  - 0,9  $\mu\text{m}$ ; K2: 0,725  $\mu\text{m}$  - 1,0  $\mu\text{m}$ ; K3: 3,55 - 3,93  $\mu\text{m}$ ; K4: 10,5 - 11,5  $\mu\text{m}$ ; K5: 11,5 - 12,5  $\mu\text{m}$ ).

## 2. Empfangsparameter

Für eine komplexe Empfangsstation ergeben sich in Abhängigkeit von der Wahl des zu empfangenden Satelliten unterschiedliche Forderungen an die technischen Systemparameter und Komponenten. Das betrifft insbesondere die Genauigkeit der Antennenpositionierung, die Polarisation der Antenne, Empfindlichkeit G/T, Empfangsfrequenz, Bandbreite, Demodulation, Taktsynchronisation, Dekommutierung usw.

Unter Zugrundelegung der jeweiligen Maximalanforderungen wurde im Institut für Kosmosforschung der AdW der DDR ein Gerätesystem entwickelt, das typischen Nutzerwünschen entspricht und folgende Empfangsparameter realisiert:

Eingangsfrequenzbereich	: 1680 - 1710 MHz
1. ZF-Lage	: 137,5 MHz
Polarisation	: linear, RHC, LHC
Systemempfindlichkeit	: 10 dB/K
Datenrate METEOSAT	: 166,6 kBit/s
NOAA	: 665,4 kBit/s
Demodulation digital	: PSK/Bi $\phi$ -L; $\pm$ 1,2 rad
analog	: FM/AM (APT-Nrom)
ZF-Bandbreite digital	: $\geq$ 3 MHz; in Stufen wahlweise
Basisbandbreite analog	: $\geq$ 4 kHz
AFC-Bereich	: $\pm$ 200 kHz
AGC-Bereich	: $\geq$ 50 dB

Nachstimmgeschwindigkeit	: $\geq 350$ Hz/sec
Antennenbewegung Azimut	: $540^\circ$
Elevation	: $180^\circ$
Positioniergenauigkeit	: $\leq 0,2^\circ$
Nachführgeschwindigkeit	: $12^\circ$ /sec
Postdemodulations-SRV (analog)	: $\geq 30$ dB
Bitfehlerrate (METEOSAT, NOAA)	: $\leq 10^{-6}$
Systemreserve	: 2 dB
Bedienung	: zentral vom Stationsrechner

### 3. Systemkonzeption

Die Gesamtanlage besteht aus zwei aufeinander abgestimmten Hauptkomplexen, dem Empfangs- und dem Verarbeitungstrakt. Jedes dieser Teilsysteme ist modular aufgebaut und kann somit den Nutzerwünschen hinsichtlich seines Kosten/Leistungsverhältnisses weitestgehend angepaßt werden. Als Standardschnittstelle zwischen ihnen wurde der Ausgang der Bitsynchronisationseinheit gewählt, die die regenerierten Informationsdaten in serieller Form und den zugehörigen Takt, beides im NRZ-L-Kode, ausgibt.

Beschrieben wird im folgenden der Empfangstrakt der Anlage WES-3. Der funktionelle Aufbau des Verarbeitungstraktes wurde detailliert in /5/ behandelt.

Die Konzeption der modularen Grundvarianten geht davon aus, daß gegenwärtig noch eine Vielzahl von Nutzern mit den konventionellen VHF-Anlagen arbeitet. Deshalb soll sich der bereits vorhandene Gerätepark in einfacher Weise in das neue System integrieren lassen. Um eine möglichst große Kompatibilität aller Baugruppen zu gewährleisten, ergibt sich die nächst höhere Ausbaustufe durch Ergänzung der jeweils betrachteten Systemvariante mit den in der Abb. 2 gestrichelt dargestellten Funktionsblöcken.

#### 3.1. 1. Ausbaustufe WES-3/1

Mit einer Anlage der 1. Ausbaustufe sind Wetterinformationen des Satelliten METEOSAT im Regime SDUS empfangbar /6/. Ihre ausführliche Beschreibung ist in /7/ erfolgt. Auf die Realisierung der erforderlichen Mikrowellenbaugruppen für den Empfangstrakt wurde in dem Beitrag /8/ dieses Tagungsbandes eingegangen.

Bei diesem Gerätesystem wird der konventionellen VHF-Anlage ein Konverterblock vorgeschaltet, der zusammen mit einer 2,5 m Parabolantenne eine Systemempfindlichkeit von G/T 2,5 dB/K für eine Frequenz von ca. 1,7 GHz realisiert. Als Primärerreger dient eine Dipol/Reflektor-Konfiguration, die zur Reduzierung der Polarisationsverluste drehbar montiert wurde. Das Eingangssignal wird über eine Schraubverbindung an den Konverter geführt, der sich in einem temperaturstabilisierten Container unmittelbar hinter der Brennpunktebene befindet. Die erste ZF-Lage beträgt 137,5 MHz. Dieses Signal gelangt über ein Koaxialkabel ( $l_{\text{max}} = 300$  m) auf einen Multikoppler im Empfangsgebäude, auf den auch das Signal der VHF-Antenne geführt wird. Mit den vorhandenen traditionellen WEFAX/APT-Empfängern erfolgt die Demodulation nach den bekannten Prinzipien.

Für die Bilddarstellung sind zwei Varianten vorgesehen. Zum einen kann ein Bildaufzeichnungsgerät vom Typ BAG-1 zur Herstellung von Papierbildern auf photochemischem Wege genutzt werden. Zum anderen wurde für die Quick-look-Visualisierung im operativen Betrieb eine Digitalisierungs- und Displayeinheit entwickelt, die auf die Grafiksteuerung Typ K 7076 und den Farbmonitor K 7226 vom Kombinat Robotron aufbaut. Die Pseudocolor-darstellung und Grauwert-Transformation erfolgt über vorgefertigte Standardtabellen.

Anlagen dieser Ausbaustufe mit einem sehr günstigen Kosten/Leistungsverhältnis lassen sich besonders ökonomisch in kleineren regionalen meteorologischen Zentren (Flugplätze, Seewetterdienststellen usw.) aber auch für Ausbildungszwecke an Universitäten und nicht zuletzt als Havariestationen für große nationale Zentren einsetzen. Ein mobiler Einsatz



ist ebenfalls möglich. Abb. 3 zeigt die Empfangs- und Farbdisplayeinheit der Station WES-3/1. Die empfangenen Daten können mittels handelsüblicher Magnetbandgeräte bzw. Kassettenrecorder zwischengespeichert werden.

### 3.2. 2. Ausbaustufe WES-3/2

Mit einer Anlage der 2. Ausbaustufe wird als Erweiterung der WES-3/1 zusätzlich der Empfang von METEOSAT/PDUS /9/ ermöglicht. Zum Einsatz kommen dabei je nach verwendeten Bauelementen für den rauscharmen Eingangskonverter Parabolantennen mit einem Durchmesser von 2,5 m bzw. 4 m. Die Antennenmontage erfolgt starr mit einer mechanischen Feinjustage von  $\pm 10^\circ$ . Wie aus Abb. 2 ersichtlich, beträgt die erste ZF-Lage wiederum 137,5 MHz. Da im PDUS-Regime die hochaufgelösten meteorologischen Daten digital übertragen werden, muß der Empfänger über eine entsprechende Demodulationseinrichtung verfügen. Für diesen Zweck wurde ein Digitalempfänger entwickelt, der wahlweise auch einen FM-Demodulator für die analogen APT-Signale enthält, die entsprechend 3.1. weiterverarbeitbar bzw. darstellbar sind. Die seriellen digitalen Daten durchlaufen nach der Demodulation die Baugruppen Bitregenerator, Takterzeugung und Umkodierung von Bi $\phi$ -L auf NRZ-L und werden über eine Rahmensynchronisationseinheit dem Stationsrechner zur weiteren Bearbeitung zugeführt.

### 3.3. 3. Ausbaustufe WES-3/3

Mit einer Anlage dieser Ausbaustufe können neben den analog und digital übertragenen Daten des Satelliten METEOSAT auch diejenigen der sonnensynchronen, polumlaufernden Satelliten der Serie NOAA empfangen werden. Ihren prinzipiellen Aufbau zeigt Abb. 4. Auf Grund der häufig erforderlichen räumlichen Trennung von Antenne und Empfangsgebäude sind zur Einhaltung der geforderten Systemparameter mehrere elektronische und elektrische Baugruppen direkt an der Antenne montiert. Als maximale Entfernung zwischen beiden wurde ein Abstand von  $l = 500$  m konzipiert.

#### Empfangsantenne

Es wird ein 4 m-Parabol mit einem F/D-Verhältnis von 0,35 eingesetzt. Er ist mit Aluminium belegt und besteht aus 32 Teilsegmenten. Die Halterung des Primärerregers erfolgt mittels dreier einzeln justierbarer Stützen, in deren Innern alle erforderlichen Kabel, einschließlich der für den Konverter benötigten, geführt werden. Ein drehbares Ringsystem gestattet im Fall der linearen Polarisierung die Reduzierung der Polarisationsverluste auf einen minimalen Wert an jedem Empfangsort.

Der Gewinn der Gesamtantenne beträgt  $G = 34,5$  und die Halbwertsbreite der Richtcharakteristik  $\leq 3,5^\circ$ .

Um die Ausrichtungsverluste so gering wie möglich zu halten, wurde für die Antennensteuerung eine Autotrackregelung gewählt. Dazu wurde der Primärerreger als ein 5-Elemente-Monopulssystem ausgelegt, bei dem die erzeugten Ablagesignale in erster Näherung amplitudenabhängig sind. Nähere technische Einzelheiten des Antennensystems sind in den Beiträgen /8/ und /11/ beschrieben. Seine Montage erfolgte auf einem Azimut/Elevations-Drehgestell in Stahlbaukonstruktion, das eine mechanische Positioniergenauigkeit von  $0,1^\circ$  zuläßt.

Alle bewegten und drehbar gelagerten Baugruppen sind wasser- und staubgeschützt in Einzelmodulen gefertigt und garantieren einen wartungsarmen Betrieb für den Temperaturbereich von  $-20^\circ\text{C}$  .....  $+50^\circ\text{C}$ . Alle temperaturstabilisierten Container, die an der Antenne montiert sind und elektronische Baugruppen enthalten, sind zusätzlich durch Konvektionsbleche geschützt, wodurch eine Erwärmung im Innern auf Temperaturen von über  $50^\circ\text{C}$  vermieden wird.

### Antennensteuerung

Das System der Antennensteuerung besteht aus den Hauptkomponenten

- Autotrackempfänger
- Antriebsblock
- Trackingprozessor
- Positionsanzeige
- Bedienpanel für den Service-Handbetrieb

Sowohl das Summensignal als auch die beiden Differenzsignale werden im S-Band-Konverter auf die 1. ZF von 137,5 MHz umgesetzt und gelangen an den Eingang des an der Antenne montierten Autotrackempfängers. Der Autotrackempfänger erzeugt Gleichstrom-Richtungsfehlersignale  $\varepsilon_H$  und  $\varepsilon_V$ , die für die horizontale und vertikale Ebene den Positionierfehler eindeutig charakterisieren und auf deren Grundlage die automatische Antennennachführung erfolgt.

Das Summensignal wird dazu als Referenzsignal  $E_{Ref}(\vartheta)$  genutzt. Es wird mit einem um  $+90^\circ$  und einem um  $-90^\circ$  phasenverschobenen Differenzsignal geometrisch addiert. Durch diese Operation entstehen die Signale  $F_1$  und  $F_2$  mit der Phase :

$$\alpha = 2 \arctan \frac{E_d(\vartheta)}{E_{Ref}(\vartheta)}$$

$F_1$  und  $F_2$  werden in Begrenzerverstärkern verstärkt und nachdem  $F_1$  nochmals um  $90^\circ$  verzögert wurde, miteinander gemischt. Es entsteht sowohl für die horizontale als auch für die vertikale Ebene jeweils ein Fehlersignal

$$\varepsilon \approx 2 \alpha \quad (-10^\circ < \alpha < 10^\circ)$$

das den Positionsfehler der Empfangsantenne eindeutig kennzeichnet.

Die Weiterverarbeitung dieser Winkelsignale erfolgt im Trackingprozessor, der das Kernstück des gesamten Nachführsystems bildet und funktionell wie technisch detaillierter in /11/ beschrieben ist. Er ist über eine Standard-Schnittstelle direkt mit dem Stationsrechner gekoppelt und auf der Grundlage von OEM-Baugruppen des Mikrorechnersystems K 1520 (Kombinat Robotron) aufgebaut. Der Dialog mit dem Operator erfolgt über das zentrale Bedienterminal der Gesamtanlage. Die Betriebsarten TEST, RATE und PRESET erlauben sowohl die Selbstprüfung des Empfangstraktes als auch das Abarbeiten der Betriebsroutinen für die Arbeit mit den unterschiedlichen Satelliten.

Der Antriebsblock enthält die Antriebsmotore (drehzahlgeregelte Gleichstrom-Getriebemotore), Tachogeneratoren zur Dynamikerhöhung, die Informationsgewinnung für das Positioniersystem, Sicherungselemente und Stromversorgungsbaugruppen.

Für Servicezwecke kann die automatische Steuerung über den Trackingprozessor abgeschaltet und alle Schaltfunktionen manuell ausgeführt werden.

### Eingangskonverter

Der Eingangskonverter ist seiner Funktion nach ein Dreikanalsystem, d. h. das Summensignal und die beiden Differenzkanäle werden getrennt verarbeitet. Er befindet sich in einem temperaturstabilisierten Gehäuse unmittelbar hinter dem Primärerregersystem und ist in Streifenleitertechnik aufgebaut. Die Hauptbaugruppen bestehen aus Vorverstärker, Filter, Mischer, ZF-Verstärker und Lokaloszillator (LO) mit Sampling-PLL-Frequenzvervielfacher. Die Konzeption des Konverters erfolgte unter dem Gesichtspunkt, daß die auf den Eingang bezogene interne Rauschtemperatur im Informationskanal  $\leq 150$  K betragen muß, um bei der eingesetzten Antenne die geforderte Systemempfindlichkeit zu erreichen, die für eine Bitfehlerrate von  $10^{-6}$  erforderlich ist. Für die Differenzkanäle genügen dagegen etwa 450 K.

In einem zweiten, an der Antenne montierten Container befinden sich neben den Standard-Schnittstellen für die Kontroll- und Steuerspannungen, die für das Betriebssystem "TEST" erforderlich sind, auch der Frequenzvervielfacher. Für die Aufbereitung des Mutteroszil-

latorsignals sind zwei Varianten vorgesehen. Sollen lediglich die Signale von METEOSAT und NOAA empfangen werden, dann befindet sich in diesem Container noch ein quartzstabiler 5-Kanal-Mutteroszillator, dessen Frequenz über eine Steuerleitung automatisch vom zentralen Bedienpult des Operators über den Trackingprozessor programmiert wird. Für den erweiterten Anwendungsbereich steht ein 80-Kanal-Frequenzsynthesizer zur Verfügung, der sich im Empfangsgebäude befindet und dessen HF-Ausgangssignale (ca. 80 MHz) über Koaxialkabel an den Frequenzvervielfacher geführt wird. Seine Frequenz kann über Vorwahlschalter gesetzt bzw. auch über den Trackingprozessor programmiert werden. Eine ausführliche Beschreibung der technischen Parameter der einzelnen Konverterbaugruppen erfolgt in /8/.

#### Empfänger E 137 AD-2

Der Empfänger verfügt über die beiden Betriebsarten Analog- und Digitaldemodulation. Hinter dem Eingangstuner erfolgt eine Signalaufteilung, wobei ein Teil der Leistung dem analogen APT-FM Demodulator und der andere Teil dem digitalen PSK-Demodulator /12/ zugeführt wird. Am Ausgang des analogen Kanals wird das amplitudenmodulierte 2,4 kHz-Unterträgersignal zur direkten Weiterverarbeitung bzw. Darstellung wahlweise dem Bildaufzeichnungsgerät BAG 1 oder der in Pkt. 3.1. beschriebenen Farbdisplayeinheit zugeführt. Die Demodulation der digitalen Signale der Satelliten METEOSAT und NOAA erfolgt in der 10,7 MHz-Ebene. Die Dimensionierung der umschaltbaren Bandbreiten wurde auf der Grundlage der Berechnung des Zusammenhangs zwischen Bitfehlerwahrscheinlichkeit, dem ZF-Signal-Rauschverhältnis und dem Verhältnis von ZF-Bandbreite zur Informationsbitrate bei vorgegebenem Phasenhub von  $\pm 1,2$  rad für eine Klasse von praktisch realisierbaren ZF-Filtern durchgeführt /13/. Durch Mitteilung über alle möglichen Bitkonfigurationen und Normierung auf die äquivalente Rauschbandbreite erhält man für ein Butterworth-Filter 5. Ordnung ein Minimum für die Bitfehlerwahrscheinlichkeit bei  $b = 3,2$ . Dabei ist  $b =$  die auf die Informationsbitrate normierte ZF-Bandbreite. Für eine BER =  $10^{-6}$  ist danach ein  $SRV_{ZF}$  von 15,8 dB erforderlich. Dieser Wert ist nahezu identisch mit dem aus der Literatur bekannten Wert  $E_b/N_0 = 10,6$  dB für kohärente binäre PSK-Demodulation. Als Ergebnis dieser Betrachtungen wurde als geringster Wert für die umschaltbaren Bandbreiten  $B = 600$  kHz (PDUS) und als Maximalwert  $B = 3$  MHz (NOAA) gewählt. Damit liegt in jedem der betrachteten Fälle mehr als 85 % der Signalleistung am Demodulator, d. h. die Demodulationsverluste betragen weniger als 1 dB /14/. Eine ausführliche Beschreibung der Funktionsweise des Empfängers und der wichtigsten technischen Parameter erfolgte in dem Beitrag /15/.

#### 4. Ergebnisse

Einzelne Ausbaustufen und Gerätekomponenten des beschriebenen Empfangssystems wurden bereits 1978 erprobt und befinden sich seit 1979 beim Meteorologischen Dienst der DDR im Routineeinsatz /16/. Typische Registrierbeispiele zeigen die Abbildungen 5 und 6. Abb. 5 stellt eine Totalaufnahme des gesamten Sichtbarkeitsbereiches des Satelliten METEOSAT im sichtbaren Spektralkanal dar. Die Übertragung erfolgte im SDUS-Regime (APT-Format). Ein noch nicht entzerrtes, digital übertragenes Rohbild vom Satelliten NOAA (Kanal 1) zeigt die Abb. 6, auf dem deutlich weite Gebiete der DDR erkennbar sind.

#### Literatur

- /1/ Fischer, H.-J.; Kempe, V.; Rienäcker, J.; Schmelovsky, K.-H.:  
Zweikanal-Wetterbildempfangsanlage und Optimaldemodulator ZEA 1  
radio fernsehen elektronik, Berlin 20 (1971) 18, S. 585-590
- /2/ Plauschin, U.; Schneider, W.: Das Bildaufzeichnungsgerät BAG 1 zur Aufzeichnung  
von Wettersatellitenbildern. radio fernsehen elektronik, Berlin 20 (1971)  
23, S. 767 und 768; 774-778

- / 3/ Wassew, K.: Antennenverstärker AVS-137 für die Wetterbildanlage WES-2. radio fernsehen elektronik, Berlin 21 (1972) 16, S. 536 und 537
- / 4/ Weisse, D.: Antenne AZE 2 für Wetterbildempfangsstation WES-2. radio fernsehen elektronik, Berlin 22 (1973) 5, S. 153-155
- / 5/ Lieckfeldt, P.; Bettac, H.-D.: Modulare S-Band-Empfangs- und Verarbeitungsanlage WES-3 für Signale meteorologischer Satelliten. Beitrag zur Monographie "Digitale Verarbeitung kosmischer multispektraler Videodaten". Moskau: Verlag Nauka 1986
- / 6/ Programme METEOSAT MG/2332-77, Edition 1 (WEFAX-Transmissions), ESA meteorological programme office, Toulouse, April 1977
- / 7/ Bettac, H.-D.; Hiersche, K.; Klähn, D.; Schwarz, J.: Wetterbildempfangsstation WES-3/1. rfe Berlin 35 (1986) H. 5, S. 287-289
- / 8/ Schwarz, J.; Klähn, D.: Antennen- und Mikrowellenbaugruppen für den Empfang meteorologischer Satelliten. Tagungsband 4. Wissenschaftliche Konferenz zum Thema Fernerkundung der Erde und anderer Himmelskörper, Neubrandenburg 16. 6.-19. 6. 86
- / 9/ Programme METEOSAT MG/2412-77/MF-1g, Edition 0 Dissemination Mission (HRPT); ESA meteorological programme office, Toulouse, Mai 1977
- /10/ Schwarz, J.: Autotracksystem einer S-Band-Empfangsanlage. Nachrichtentechnik/Elektronik, - 34 (1984) H. 5
- /11/ Skottke, H.-J.; Schwarz, J.; Vogel, G.: Mikrorechnergestütztes Antennen-Nachführungssystem für den Empfang meteorologischer Satelliten. Tagungsband 4. Wissenschaftliche Konferenz zum Thema Fernerkundung der Erde und anderer Himmelskörper, Neubrandenburg 16.6.-19.6.86
- /12/ Landrock, R.: Betrachtungen zur Auswahl eines geeigneten Demodulators für phasenetastete Signale mittlerer Bitrate mit beliebigem Modulations-Phasenhub. Proceedings der 37. Popów-Tagung, Mai 1982, Bd. 2
- /13/ Klähn, D.; Bettac, H.-D.: Betrachtungen zum Einsatz realisierbarer ZF-Bandpaßfilter in kohärenten Split-Phase-PSK-Systemen. Nachrichtentechnik/Elektronik - 29 (1979) H. 3, S. 92-94
- /14/ Klähn, D.; Bettac, H.-D.: Zur Ermittlung der Spektren splitphase-codierter Signale mit Hilfe der Theorie der Markov-Ketten. Nachrichtentechnik/Elektronik - 29 (1979) H. 4, S. 167-170
- /15/ Landrock, R.; Paasch, E.; Stanke, D.: Empfänger für analoge und digitale Daten meteorologischer Satelliten. Tagungsband 4. Wissenschaftliche Konferenz zum Thema Fernerkundung der Erde und anderer Himmelskörper, Neubrandenburg vom 16.6.-19.6.86
- /16/ The TIROS-N/NOAA A-G Satellite Series; NOAA Technical Memorandum NESS 95 Washington D.C., March 1978

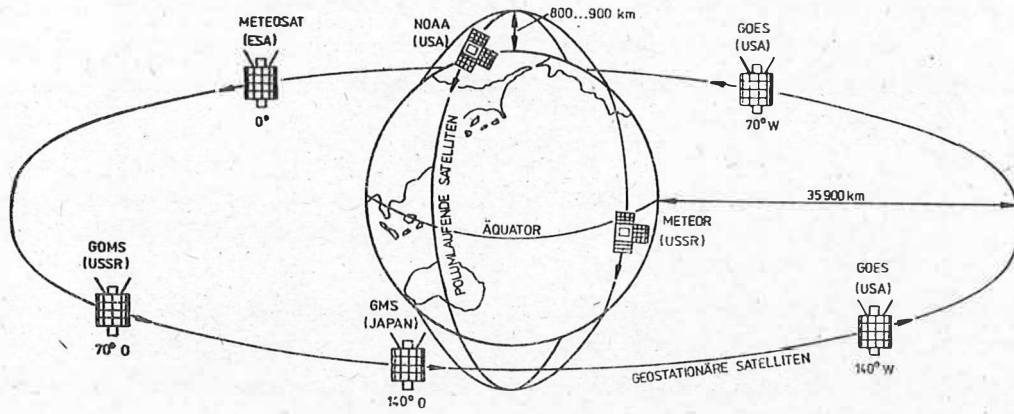


Abb. 1 System und Positionen der meteorologischen Satelliten

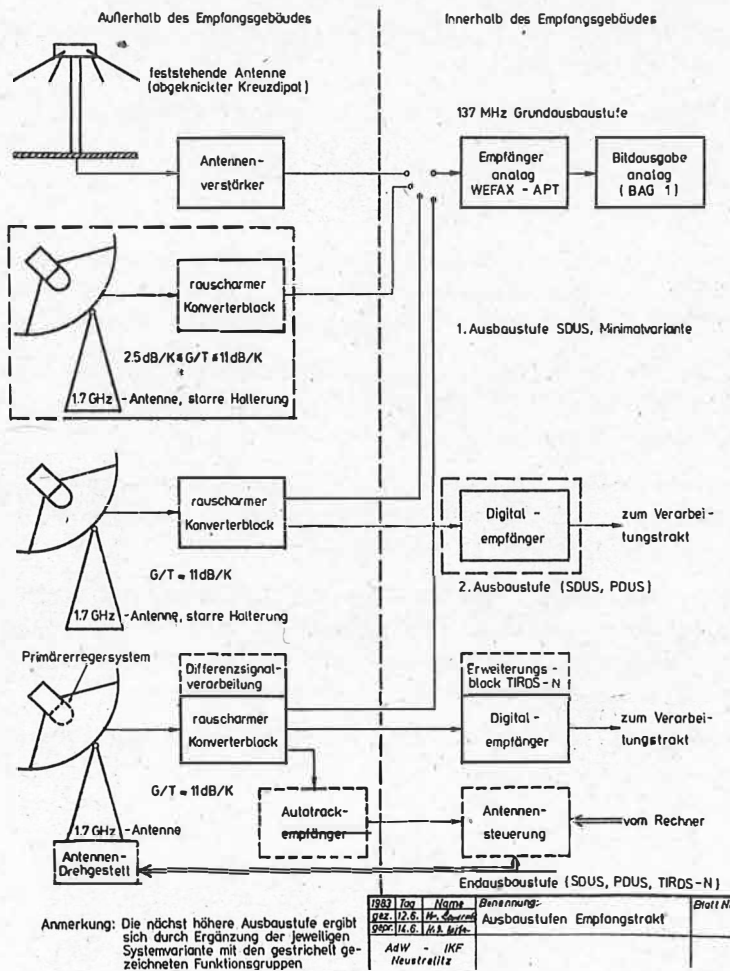


Abb. 2 Blockschaltbild der modularen Wetterbildempfangsstation WES-3



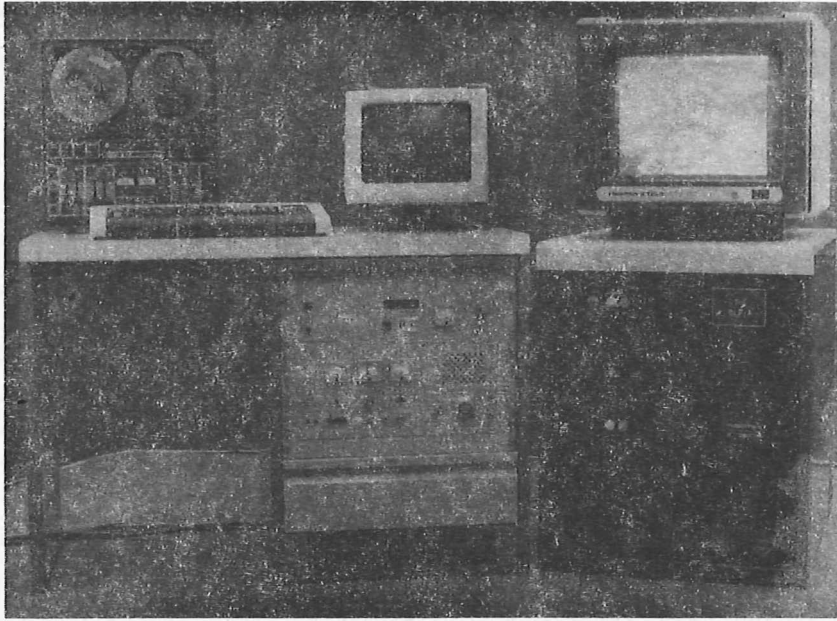


Abb. 3 Empfangs- und Aufzeichnungstrakt der Anlage WES-3/1

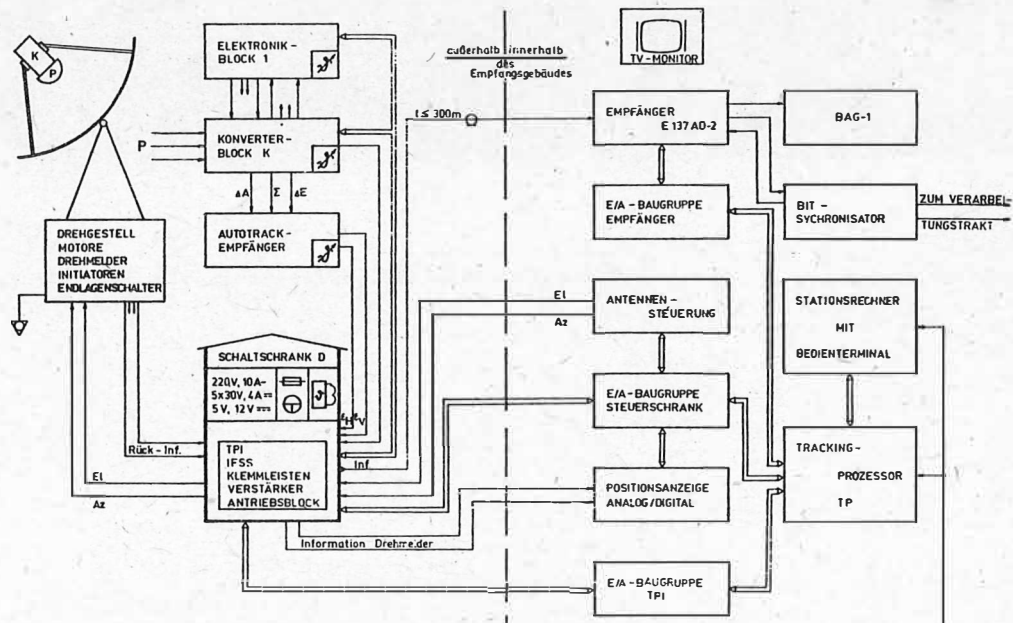


Abb. 4 Blockschatbild des Empfangstraktes der Variante WES-3/3



Abb. 5 Registrierbeispiel von METEOSAT/SDUS (sichtbarer Spektralbereich)

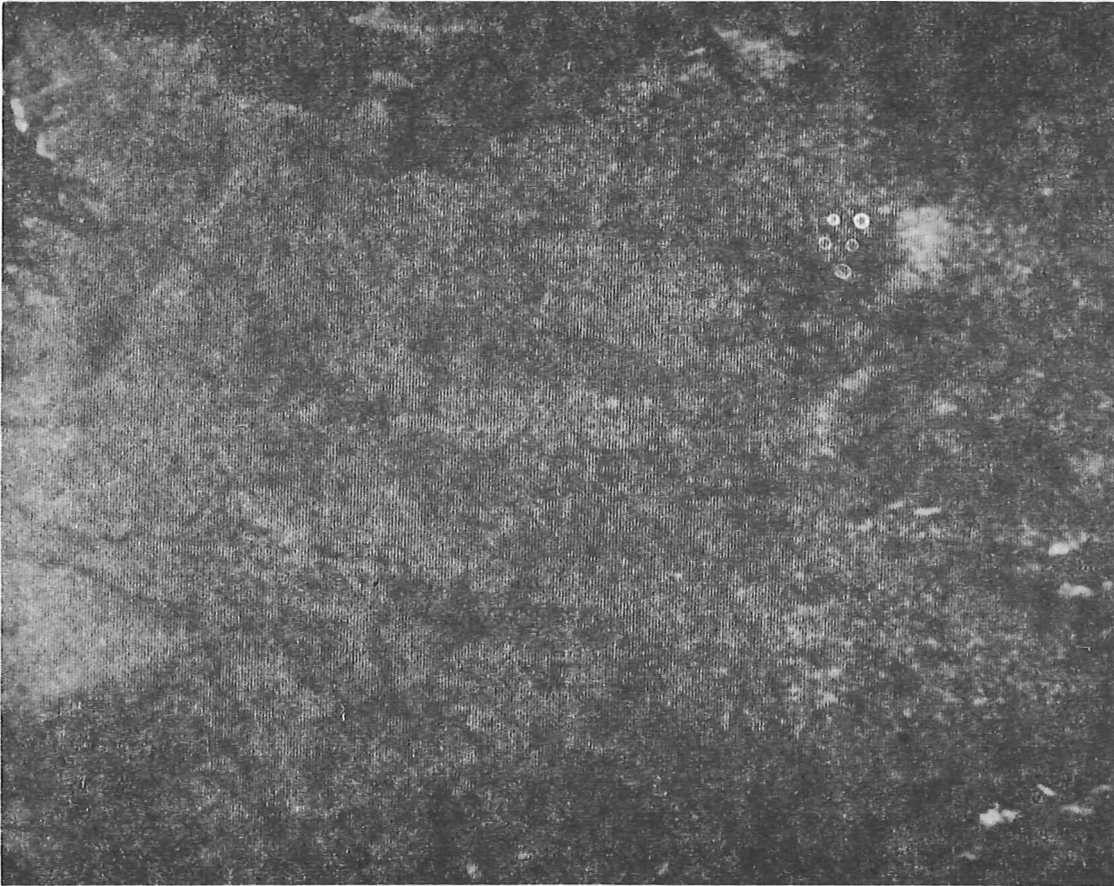


Abb. 6 Digital übertragenes Rohbild vom Satelliten NOAA (Kanal 1)

J. SCHWARZ, D. KLÄHN

Akademie der Wissenschaften der DDR

Institut für Kosmosforschung

Satellitenbodenstation Neustrelitz

Zusammenfassung

An der Satellitenbodenstation Neustrelitz werden bereits seit mehreren Jahren Baugruppen zum Empfang meteorologischer Satelliten im unteren S-Band entwickelt. Ergebnisse dieser Arbeiten werden im Beitrag vorgestellt.

Summary

For several years already components for the reception of signals from meteorological satellites transmitting at lower s-band frequencies have been developed at the "Satellite Ground Station Neustrelitz". Results are discussed in this contribution.

Резюме

Представляются разработанные в ИКИ АН ГДР блоки СВЧ, необходимые для приема метеорологических спутников серий МЕТЕОСАТ и НОАА-*N*. Для приема аналоговой информации *SUS* спутника МЕТЕОСАТ применяется антенна с параболическим рефлектором диаметром 2,5 м с выигрышем 30,5 дБ. Частотный преобразователь, состоящий из входного фильтра, предусилителя, фильтра зеркальной частоты, смесителя, усилителя ПЧ и умножителя опорной частоты, размещается в термостабилизированном контейнере непосредственно за облучателем. Достигнутая системная чувствительность  $G/T = 3 \text{ дБ/к}$  отвечает требованиям.

Для приема цифровой информации спутников МЕТЕОСАТ и НОАА-*N* была разработана трехканальная приемная станция на основе параболической антенны диаметром 4 м с возможностью автоматического наведения и слежения. С усилением антенны порядка 34 дБ достигнута системная чувствительность  $G/T = 11 \text{ дБ/к}$ . Трехканальный частотный преобразователь размещен в термостабилизированном контейнере непосредственно за системой облучателей, состоящей из пяти отдельных диполей с общим рефлектором. Точность автоматического сопровождения составляет  $0,5^\circ$ .



## 1. Einleitung

In /1/ wurde das von der Satellitenbodenstation Neustrelitz konzipierte modulare System der S-Band-Empfangsstation zum Empfang der Signale meteorologischer Satelliten vorgestellt, das in seinen einzelnen Ausbaustufen den Forderungen vieler Interessenten angepaßt werden kann.

In diesem Beitrag sollen nunmehr Empfangsantennen und Baugruppen des S-Band-Konverters vorgestellt werden. Die einfachste Empfangsstation - die Anlage WES 3/1 - dient zum Empfang der analogen Wetterbildsignale des geostationären Satelliten METEOSAT und erreicht ein G/T-Verhältnis (Antennengewinn/Systemrauschzahl) von 2,5 dB/K.

Wesentlich höhere Forderungen bestehen jedoch für die höchste Ausbaustufe - die Anlage WES 3/4 - die den Empfang der digitalen Wetterbildübertragung vom geostationären Satelliten METEOSAT und von den orbitierenden Satelliten vom Typ NOAA ermöglicht, da einerseits ein wesentlich höheres G/T-Verhältnis von 10 dB/K notwendig ist, um eine Bitfehlerwahrscheinlichkeit von  $10^{-6}$  bei einer Systemreserve von 2 dB zu erreichen und andererseits ein Autotracksystem notwendig ist, um beim Empfang der Satelliten vom Typ NOAA eine ausreichende Nachführgenauigkeit der Empfangsantenne garantieren zu können. Das Autotracksystem ist nach dem Amplituden-Monopuls-Verfahren aufgebaut und erfordert einen drei-kanaligen Aufbau des S-Band-Konverters, bei dem besonders der Amplituden- und Phasengleichlauf aller Kanäle beachtet werden mußte.

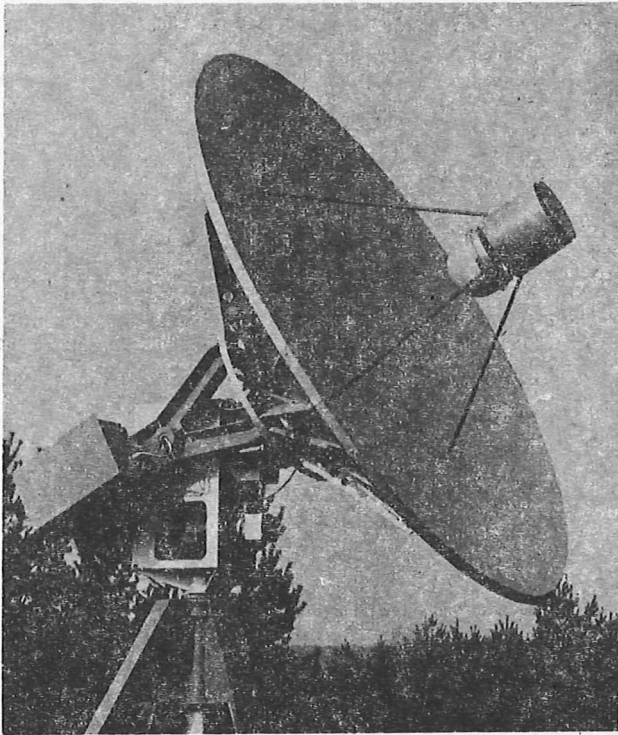


Abb. 1: S-Band-Empfangsantenne der Anlage WES 3/4

## 2. Empfangsantenne

Die Empfangsantenne der Anlage WES3/1 basiert auf einem 2,5 m-Parabolspiegel. Dieser wird erregt durch einen Primärstrahler bestehend aus Dipol und Primärreflektor. Dieser einfache Aufbau ermöglicht, den Konverter direkt hinter der Reflektorplatte zu montieren. Es wurde ein Antennengewinn von 30,5 dB erreicht. Die erhaltenen Richtcharakteristiken sind auf Grund der nicht vorhandenen rotationssymmetrischen Erregung für beide Ebenen unterschiedlich breit. Die Halbwertebreiten (3 dB-Punkte) betragen  $5,4^\circ$  für die E-Ebene und  $4,4^\circ$  für die H-Ebene.

Abb. 1 zeigt die S-Band-Empfangsantenne der Anlage WES 3/4. Die Antenne wurde auf der Grundlage eines 4 m-Parabolspiegels entwickelt, wodurch ein Antennengewinn von 34,5 dB erreicht werden konnte. Sie läßt sich um eine senkrecht stehende Azimutachse und eine horizontal ge-



lagerte Elevationsachse auf den Satelliten ausrichten und ihm gegebenenfalls nachführen. Diese exakte Antennennachführung ist im Fall des Empfangs eines orbitierenden Satelliten von Typ NOAA unbedingt erforderlich. Es erfolgt auf der Grundlage eines Autotracksystems /2/ die Messung des Positionierfehlers der Antenne und seine automatische kontinuierliche Ausregelung.

Die Messung des Positionierfehlers erfolgt nach dem Amplitudenmonopul-Verfahren. Vor einem ebenen Primärreflektor befinden sich 5 linear polarisierte Dipolelemente, ein zentrales im Brennpunkt des Parabolspiegels erzeugt das Referenzsignal, die vier weiteren sind um  $d = 10$  cm nach oben, unten, links und rechts versetzt und werden zu Differenzstrahlungscharakteristiken für die horizontale und vertikale Ebene verschaltet. Das jeweilige Differenzstrahlungsdiagramm besitzt in Hauptstrahlrichtung der Antenne ein Minimum sowie einen  $180^\circ$ -Phasenprung. Bei einer Fehlpositionierung steigt der Betrag des jeweiligen Differenzsignals schnell an, seine Phase im Vergleich zur Phase des Referenzsignals kennzeichnet die Richtung der Fehlpositionierung.

Die Dimensionierung des Erregers erfolgte unter Berücksichtigung der Verkopplung zwischen den einzelnen Strahlern. Das gesamte Autotracksystem ermöglicht eine Positioniergenauigkeit von  $0,5^\circ$ , d. h. die Ausrichtverluste bleiben  $\leq 0,5$  dB.

#### S-Band-Vorverstärker

Im Informationskanal der WES 3/1 und in den Differenzsignalkanälen der WES 3/3 und WES 3/4 werden Vorverstärker eingesetzt, die bei einer Verstärkung von typisch 23 dB eine Rauschzahl im Bereich von 3,6 dB bis 4,1 dB besitzen. Dieser Verstärkertyp ist zweistufig aufgebaut, und es werden sowjetische Transistoren des Type KT 391 A verwendet. Zur rechnergestützten Entwicklung des Verstärkers standen die S-Parameter eines im Frequenzbereich von 500 MHz bis 2000 MHz ausgemessenen Exemplars dieses Type zur Verfügung. Zur Dimensionierung der Reuschanpassung wurden die in der Literatur angegebenen Parameter des Ersatzschaltbildes benutzt. Um die zu erwartenden Exemplarabweichungen ausgleichen zu können, sind im Layout des Verstärkers entsprechende Abgleichmöglichkeiten vorhanden. Die gemessenen Parameter der fertiggestellten Verstärker genügen den gestellten Anforderungen bzgl. Rauschzahl, Verstärkung und Bandbreite sowie Amplituden- und Phasengleichlauf. Die Berechnung der Mikrostripstrukturen erfolgte mittels weiterer Rechnerprogramme. Der im Informationskanal der Anlage WES 3/2 bis WES 3/4 eingesetzte Vorverstärker ist ebenfalls zweistufig aufgebaut /3/. In beiden Stufen werden Transistoren des Type HXTR 6104 eingesetzt, deren S-Parameter und Rauschkenngrößen mit hinreichender Genauigkeit dem Datenblatt entnommen werden können.

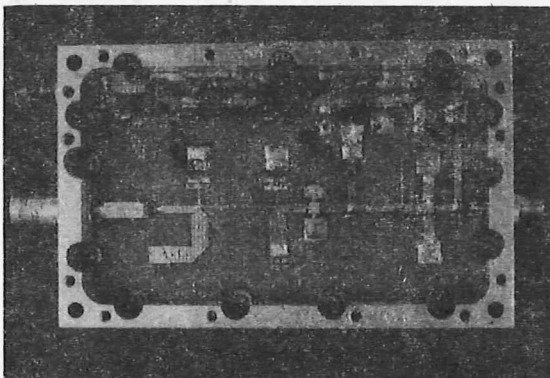


Abb. 2: Differenzkanalverstärker der Anlage WES 3/4

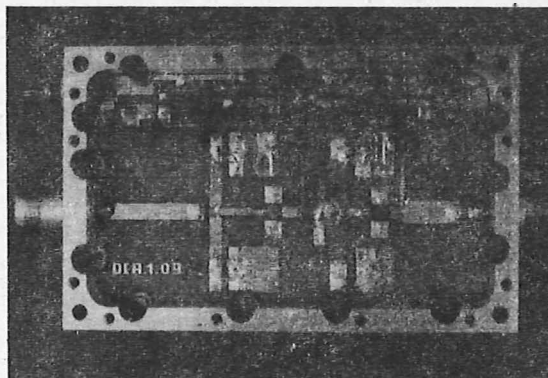


Abb. 3: Informationskanalverstärker der Anlage WES 3/4

Im Ergebnis der rechnergestützten Dimensionierung entstand ein Veretärker, der bei einer Veretärkung von typisch 27 dB eine Rauschzahl von 1,7 dB bis 1,9 dB besitzt. Bei der Optimierung der Veretärkerhaltung wurde der Phasenfrequenzgang des Veretärkers an den des Differenzkanalveretärkers angeglichen. Die in des Gehäuse eingebauten Differenz- bzw. Informationkanalveretärker der WES 3/4 sind in Abb. 2 und Abb. 3 einschließlich der Schaltungen zur Arbeitspunkteinstellung dargestellt. Abb. 4 zeigt die in der Ablage WES 3/1 verwendete Vorveretärkervariante einschließlich eines dreikreisigen Interdigitalfilters zur Bandbegrenzung des Eingangsfrequenzbereiches und eines weiteren dreikreisigen Interdigitalfilters zur Unterdrückung der Rauechanteile des Spiegelfrequenzbandes.

#### S-Band-Mischer

Um den Einfluß des Oszillatorrauschens auf die zu verarbeitenden Signale klein zu halten, wurde ein Gegentaktmischer entwickelt, der in allen Varianten der WES 3 Verwendung findet. Abb. 5 zeigt die in der WES 3/1 verwendete Version.

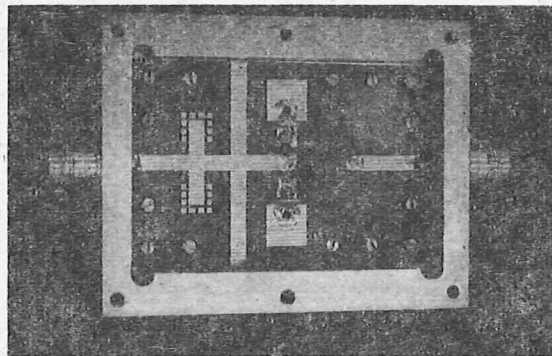
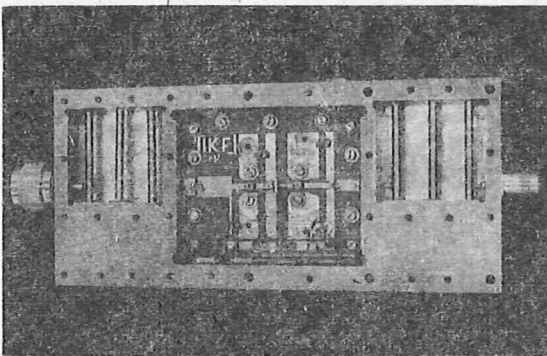


Abb. 4: Vorveretärker der Anlage WES 3/1 mit Interdigitalfiltern zur Eingangeelektion und zur Spiegelfrequenzunterdrückung

Abb. 5: S-Band-Mischer der Anlage WES 3/1

Die in der WES 3/4 eingesetzte Variante unterscheidet sich von der abgebildeten dadurch, daß die Mischdioden vorgespannt werden und ein modifiziertes Abpaasungsnetzwerk für die Einspeisung des Lokaloszillatorsignals Verwendung findet. Als besonders platzsparend wurde eine Kombination von Mikrostreifenleitung-Schlitzleitungstechnik eingesetzt, die eine einfache Erzeugung der  $180^\circ$ -Phasendrehung zur Ansteuerung der Mischdioden erlaubt. Unter Einbeziehung des durch das Gehäuse des Mixers gebildeten Hohlraumes kann dabei die Lokaloszillatorleitung über die Schlitzleitung verlustarm an die Mischdioden gebracht werden. Das Informationssignal gelangt über ein Anpaasungsnetzwerk in Mikrostriptechnik gleichzeitig an die Mischdioden. Das umgesetzte Signal wird von den Ladekondensatoren über eine Tiefpaßkonfiguration dem ZF-Veretärker zugeführt. Als Substratmaterial findet, wie in allen anderen S-Band-Baugruppen, Cevalet Cu 09 Verwendung. Die benötigte Lokaloszillatorleitung beträgt 10 dBm bzw. 0 dBm für die mit vorgespannten Mischdioden arbeitenden Versionen. Die Mischer besitzen einen Konversionsverlust von 7 dB und eine Rauschzahl von 8 dB. Alle Eingänge sind mit einem Stehwellenverhältnis von  $\leq 1,5$  angepaßt. Dem Mischer folgt ein zweistufiger ZF-Veretärker, dessen Veretärkung im Bereich von 15 dB bis 35 dB einstellbar ist und der bei einer Bandbreite von 13 MHz eine Rauschzahl von 1,3 dB besitzt.

### Oszillatorbaugruppe

Das zur Ansteuerung der Mischer benötigte Lokaloszillatorsignal im Bereich von 1542,5 MHz bis 1572,5 MHz wird in allen Varianten der WES 3 mittels einer Sampling-PLL-Schaltung aus einem quarzstabilierten Referenzsignal im Bereich von 77,125 MHz bis 78,625 MHz erzeugt (Abb. 6):

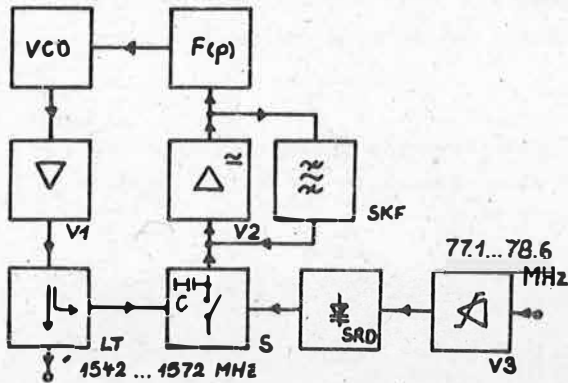


Abb. 6: Blockschaltbild des Sampling-PLL

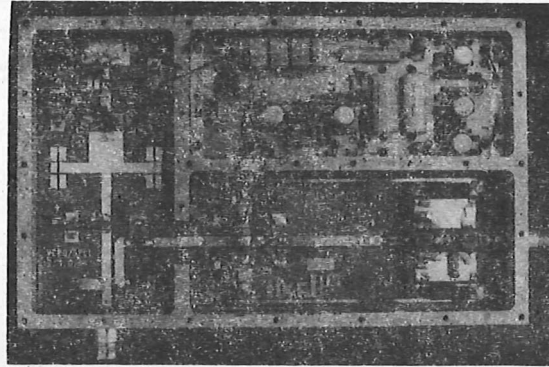


Abb. 7: Sampling-PLL der Anlage WES 3/4

Das Eingangssignal mit einer Leistung von  $-13$  dBm wird in der Impulsformerschaltung V 3 zunächst verstärkt und begrenzt, so daß ein Signal mit einer Amplitude von  $\pm 10$  V und einer Anstiegszeit von 2 ns entsteht. Mittels der step-recovery-Diode SRD wird eine weitere Verkleinerung der Anstiegszeit auf 150 ps erreicht. In der Abtastschaltung S wird dieser Impuls differenziert und zum Öffnen der Samplingdioden benutzt, die für die Abtastzeit einen vom Leistungsteiler LT kommenden Teil des VCO-Ausgangssignals auf den Ladekondensator C schalten. Das in Abhängigkeit von der Frequenzablage zwischen Steuersignal und VCO-Signal entstehende Fehlersignal steuert über den Verstärker V 2 und das Schleifenfilter  $F(p)$  die Phase des VCO's und schließt somit den Regelkreis. Das Schleifenfilter bestimmt dabei unter Berücksichtigung der Parameter der den Regelkreis bildenden Komponenten das dynamische Verhalten des Regelkreises. Ist bei zu großen Ablagen der VCO-Frequenz eine Nachregelung über die Regele Schleife nicht mehr möglich, so gerät der Verstärker über das Suchkreisfilter SKF ins Schwingen und steuert den VCO durch den gesamten Abtastbereich bis der Phasenregelkreis wieder einrastet und die Rückkopplung des Verstärkers V 2 aufhebt. Dieser Suchvorgang dauert, abhängig von der Dimensionierung, 100 bis 200 ns. Für die Anlagen WES 3 wurden drei Typen von Sampling-PLL-Schaltungen entwickelt. Die in Abb. 7 gezeigte Variante, wie sie in der WES 3/4 eingesetzt wird, kommt dabei infolge der Benutzung eines Leistungs-VCO's ohne den Nachverstärker V 1 aus. Die Ausgangsleistung des abgebildeten SPLL's beträgt 30 dBm; sie schwenkt im gesamten Frequenzbereich um weniger als 0,5 dB. Für die in Mikrostriptechnik gefertigten Baugruppen wurde Cevaexit 09 verwendet, die Berechnung der Anpassungnetzwerke, Koppler und Leitungsstrukturen erfolgte auf der Grundlage von an der Satellitenbodenstation Neustrelitz entwickelten Programmen.

### Literatur

- /1/ Bettac, H.-D.; Klähn, D.; Landrock, R.; Schwarz, J.; Skottke, H.-J.: Modulare Wetterbild-Empfangsstation. Tagungsband 4. Wissenschaftl. Konferenz "Fernerkundung der Erde und anderer Himmelskörper", Neubrandenburg, 16./6.-19./6./1986
- /2/ Schwarz, J.: Autotracksystem einer S-Band-Empfangsantenne. Nachrichtentechnik/Elektronik, Berlin 34 (1984) H. 5, S. 186 - 189
- /3/ Klähn, D.: Raucharmer Vorverstärker für 1,7 GHz mit verbesserter Eingangsanpassung. Nachrichtentechnik/Elektronik, Berlin 34 (1984) 5, S. 182 - 183

Aufbau und Wirkungsweise eines mikrorechnergestützten Antennennachführsystems für den Empfang meteorologischer Satelliten

J. SCHWARZ, G. VOGEL, H.-J. SKOTTKE

Akademie der Wissenschaften der DDR

Institut für Kosmosforschung

Satellitenbodenstation Neustrelitz

Zusammenfassung

Vorgestellt wird das mikrorechnergestützte Nachführsystem einer Wetterbildempfangsanlage WES-3/3 STORSAT-2.1, die den Empfang sowohl geostationärer als auch orbitierender meteorologischer Satelliten ermöglicht. Neben der Beschreibung der Betriebsarten des Tracking-Prozessors sowie der Wirkungsweise der Ein-/Ausgabebaugruppen wird auf den schaltungstechnischen Aufbau des Rechners und der Peripheriebaugruppen eingegangen.

Summary

This paper describes the microcomputer-aided autotrack system of a receiving equipment for weather-pictures WES-3/3 STORSAT-2.1., intended for reception of geostationary and polar-orbiting meteorological satellites. The description of the tracking processor-operation mode, the function and construction of the peripheral assemblies are presented.

Резюме

В работе описывается система наведения и слежения антенны, управляемая микро-ЭВМ, которая позволяет прием как геостационарных, так и орбитальных метеорологических спутников. В систему входят приемник автоматического слежения, выделяющий сигналы отклонения в горизонтальном и вертикальном направлениях, и специальный процессор, состоящий из следующих функциональных блоков:

- микро-ЭВМ с генератором точного времени
- устройства ввода/вывода
- системы передачи информации

Слежение за спутником проводится по данным рассчитанных параметров орбиты совместно с сигналами отклонения позиции.

Подробно обсуждается концепция системы, ее возможности и технические параметры основных блоков.



Das Nachführsystem ist Bestandteil einer Wetterbildempfangsanlage WES-3/3 STORSAT-2.1 zum Empfang sowohl geostationärer als auch orbitierender meteorologischer Satelliten und besteht aus einem Autotrack-Empfänger zur Bereitstellung je eines horizontalen und vertikalen Fehlersignales sowie einem Tracking-Prozessor mit den Baugruppen:

- Mikrorechner mit Hardware-Echtzeituhr
- E-/A-Baugruppe Steuerschrank
- E-/A-Baugruppe Antenne
- Informationsübertragung Prozessor  $\longleftrightarrow$  Antenne (TPI)

## 1. Wirkungsweise

### 1.1. Betriebsarten des Tracking-Prozessors

1. TEST : Überprüfung der Betriebsparameter alle Baugruppen wie Konverter, Oszillator Empfänger usw.
2. RATE : Fahren der Antenne mit konstanter Geschwindigkeit in vorgewählter Richtung
3. PRESET : Fahren der Antenne auf vorgewählte Sollpositionen

Die Betriebsarten 2 und 3 dienen vornehmlich Servicezwecken.

4. PROGRAM TRACK : Mitführen der Antenne mit dem zu beobachtenden Satelliten auf der Grundlage vorgerechneter Bahnpunkte mit Unterstützung der Fehler-signale des Autotrack-Empfängers
  - 4.1. SEARCH : Suchprogramm bei Synchronisationsverlust
  - 4.2. HOME POSITION : Fahren der Antenne auf Nullposition nach beendetem Durchgang
5. STOP : Notabschaltung der Antriebsmotoren im Havariefall

### 1.2. Wirkungsweise der Ein-/Ausgabebaugruppe Steuerschrank

Die E-/A-Baugruppe Steuerschrank stellt das Bindeglied zwischen Tracking-Prozessor und Motorleistungssteuerung dar. Wird die Antenne bewegt werden im 100 ms-Raster die AZ- und EL-Istpositionen in den Rechner eingelesen. Entsprechend dem Soll-Ist-Vergleich werden binäre Richtungssignale und Geschwindigkeitssollwerte für beide Antennenachsen als 8-Bit-Dualzahl ausgegeben, die über D/A-Wandler in Analogspannungen von 0...10 V umgesetzt werden. Über einen angeschlossenen A/D-Wandler mit vorgeschaltetem 1-aus-16-Analogmultiplexer können zu jedem Zeitpunkt 16 verschiedene Analogmeßstellen abgefragt werden.

### 1.3. Wirkungsweise der Ein-/Ausgabebaugruppe Antenne und TPI

Über eine PIO-Schnittstelle wird ein 11-Bit-Steuerwort folgenden Inhalts an einen P/S-Wandler ausgegeben:

- $B_0 \dots B_4$  : Adresse des Analog-MUX ( $\neq$  Meßstellennummer)
- $B_5 \dots B_7$  : Oszillatoradresse
- $B_8 \dots B_{10}$  : Adresse für Polarisationsumschaltung



Dieses Steuerwort wird seriell übertragen und in der TPI zwischengespeichert. Soll die Richtigkeit der Übertragung getestet werden, wird dieses Steuerwort ins Ausgaberegister der TPI geladen und seriell zum Prozessor zurückübertragen. Bei aufgetretenen Fehlern wird die Übertragung wiederholt. In jedem weiteren Übertragungszyklus wird nur noch die Meßstellen-Nr. gesendet, das entsprechende A/D-gewandelte Meßergebnis vom TP empfangen und über PIO in den Rechner eingelesen.

## 2. Aufbau

### 2.1. Kurzbeschreibung der Baugruppen

#### 2.1.1. Mikrorechner

Als Steuerrechner kommt der vom VEB ROBOTRON gefertigte Mikrorechner K 1520 in folgender Ausbaustufe zur Anwendung:

- 1 LP CPU mit 8-Bit-Prozessor Ü 880, 1 PIO und 1 CTC
- 2 Lp 16 kByte EPROM
- 1 Lp 16 kByte dynamisch RAM
- 1 Lp Anschlußsteuerung IPSS (Interface, seriell, Stromschleife)

Darüber hinaus enthält der Steuerrechner folgende Leiterplatten, die im ROBOTRON-Sortiment nicht enthalten sind:

- 2 Lp 2 x PIO
- 1 Lp Digitaluhr mit Quarznormal, Stellmöglichkeit manuell und über Zeitzeichenempfänger

#### 2.1.2. Ein-/Ausgabebaugruppe Steuerschrank

Die E-/A-Baugruppe belegt drei von fünf verwendeten PIOs. Über PIO 1 werden im Multiplexbetrieb die je 4 BCD-Stellen der EL- bzw. AZ-Istposition eingelesen. An PIO 2 erfolgt die Ausgabe der Geschwindigkeitssollwerte (8 Bit, D/A-gewandelt), der Richtungssignale (4 Bit) sowie des Steuersignals für den Empfänger (1 Bit). Über PIO 3 können mit Hilfe eines 3 Digit-A/D-Wandlers mit vorgeschaltetem Analog-MUX 16 Analogmeßstellen abgefragt werden.

#### 2.1.3. Ein-/Ausgabebaugruppe Antenne

Diese Baugruppe belegt die PIOs 4 und 5. An PIO 4 wird das zur Antenne zu transportierende Steuerwort (11 Bit) sowie die benötigten Steuer- und Taktsignale für die serielle Datenübertragung (4 Bit) ausgegeben. Über PIO 5 wird die von der Antenne ankommende serien-/parallel-gewandelte Information (3 Digit + Vorzeichen) eingelesen.

#### 2.1.4. Informationsübertragung Prozessor ↔ Antenne (TPI)

Die Informationsübertragungsbaugruppe beinhaltet sowohl auf der Prozessorseite als auch an der Antenne je einen Parallel-/Serienwandler als Ausgaberegister sowie einen Serien-/Parallelwandler als Empfangsregister. Antennenseitig besteht die Möglichkeit, mit Hilfe eines 12 Bit-MUX das Ausgaberegister entweder mit dem Inhalt des Empfangsregisters (Testmode) oder mit dem Meßwert eines 3 Digit-A/D-Wandlers (Meßmode) zu laden. Ein Analog-MUX gestattet die Abfrage von 32 Meßstellen. Die Übertragung der Informations- und Steuersignale erfolgt über 20 mA-Stromschleifen, die geschaltete Stromquellen als Sender und Optokoppler als Empfänger besitzen.

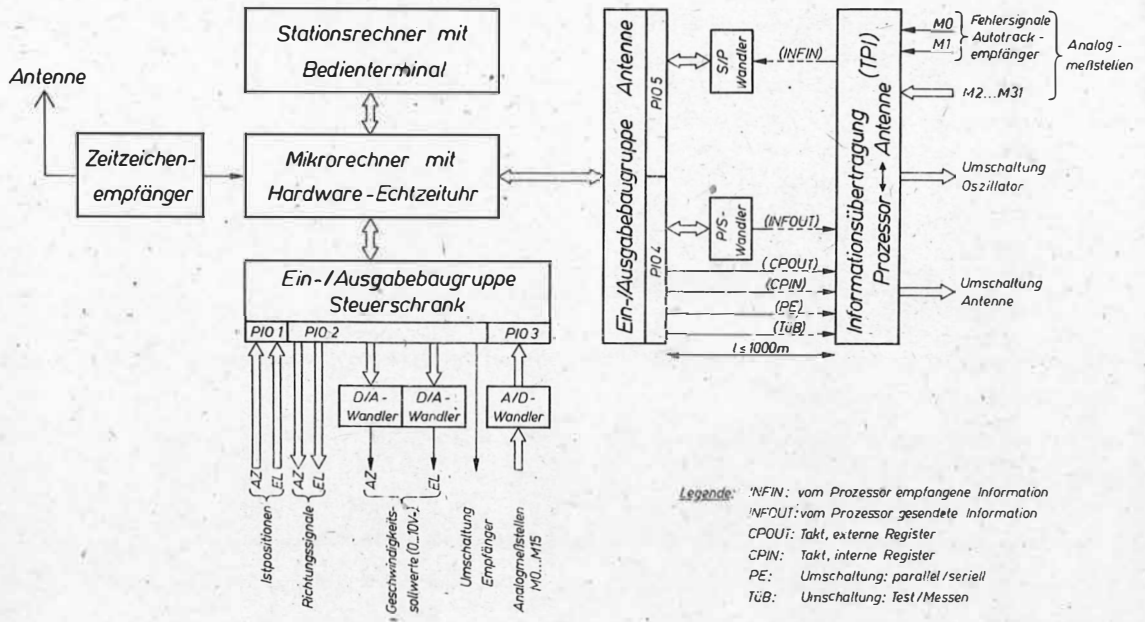


Abb. 1 Blockschaltbild des mikrorechnergestützten Antennennachführsystems zum Empfang meteorologischer Satelliten

Empfänger für analoge und digitale Daten meteorologischer Satelliten

B. LANDROCK, E. PAASCH, D. STANKE

Akademie der Wissenschaften der DDR

Institut für Kosmosforschung

Satellitenbodenstation Neustrelitz

Zusammenfassung

Der vorgestellte Empfänger ist Bestandteil der modularen Wetterbildempfangsstation WES-3 und liefert analoge WEFAX-Signale zur bildlichen Darstellung bzw. Speicherung sowie digitale serielle Datenströme und Taktimpulse von 166 kBit/s (METEOSAT) bzw. 665 kBit/s (NOAA), die über einen Rahmensynchronisator einem Bildverarbeitungssystem zugeführt werden können. Dargestellt werden die Anforderungen an den Empfänger, seine Konfiguration und die erreichten Parameter. Die Digitalinformation wird in einem entscheidungsgesteuerten Phasendemodulator demoduliert. Anschließend wird in einem Taktsynchronisator der erforderliche Bittakt gewonnen. Als letzte Stufe durchläuft der Bitstrom einen Dekoder, der die Kanalbits in NRZ-L umkodiert. Die analogen WEFAX-Daten werden in einem PLL-Demodulator gewonnen, der parallel zum digitalen Zweig arbeiten kann.

Vorgestellt werden die wesentlichen Baugruppen des Empfängers, wie ZF-Verstärker, Digitaldemodulator, Taktsynchronisator, Dekodierer. Über eine spezielle Interface-Einheit kann der Empfänger vom Stationsrechner ferngesteuert und seine Funktion überwacht werden.

Summary

The telemetry receiver E 137 AD-2 is a component of the weather-image receiving station WES-3. It delivers both, analog WEFAX signals for further monitoring and recording and serial digital data together with synchronous clock pulses with rates of 166 kbit/s (Meteosat) or 665 kbit/s (NOAA series). Digital data may be fed to an image-processing system via frame synchronizer. In this article are presented the requirements the receiver has to comply with, its configuration and technical parameters. A decision feedback phase demodulator is used for demodulation of the digital BPSK signal. A symbol synchronizer of the early-late-gate type derives synchronous clock information from the demodulated data stream. The digital receiver output bit stream passes a biphase-NRZ decoder.

Analog WEFAX data are demodulated by a FM demodulator of PLL type, which works independently of the digital processing channel.

In this article the main units of the receiver, like IF amplifier, PSK demodulator, symbol synchronizer and decoder are presented. The receiver is completed by a control and monitoring interface, which allows automatic remote operating.

Резюме

Представленный приемник является составной частью метеорологической станции WES - 3, он дает аналоговые сигналы WEFAX для графического представления или хранения, а также цифровые серийные потоки данных и тактовые импульсы 166 кбит/сек /METEOSAT/ или 665 кбит/сек /NOAA/, которые могут быть переданы системе по обработке снимков через рамовый синхронизатор.

Описываются требования, предъявляемые к приемнику, его конфигурация и достигнутые параметры. Цифровая информация демодулируется в управляемый фазовый демодулятор. Затем в тактовом синхронизаторе получают требуемый такт битов и в конечном счете поток битов проходит через декодер, который преобразует бит канала в NRZ-L. Аналоговые WEFAX данные получают в PLL - демодуляторе, который работает параллельно цифровому.

Также в работе описываются важнейшие узлы приемника, как ZF-усилитель, цифровой демодулятор, тактовый синхронизатор, декодер. Используя специальное сопряженное устройство через ЭВМ станции можно управлять приемником и контролировать его функции.

## 1. Einführung

Der Empfänger E 137 AD-2 ist Bestandteil der modularen Wetterbildempfangsstation WES-3. Er ist für den Empfang, die Regenerierung und Dekodierung der im PCM-Format übertragenen hochauflösenden Wetterbilder der Satelliten METEOSAT und NOAA ausgelegt. Der geostationäre Wettersatellit METEOSAT überträgt Digitalbilder mit einer Datenrate von 166,66 kBit/s. Die auf polnahen Bahnen orbitierenden Satelliten der NOAA-Serie senden HRPT-Bilder mit 665,4 kBit/s. Darüber hinaus ist auch der Empfang von WEFAX-Daten im APT-Format vorgesehen. Der Empfänger ist modular aufgebaut, so daß er gegebenenfalls durch den Austausch von Baugruppen für den Empfang der Daten weiterer Wettersatelliten mit anderen Modulationsarten, Datenraten und Codes umgerüstet bzw. erweitert werden kann. Über eine Interface-Baugruppe kann der Empfänger in automatischer Betriebsweise von einem Stationsrechner gesteuert werden. Diese Baugruppe realisiert gleichzeitig die Fernkontrolle wichtiger Betriebsparameter des Empfängers.

## 2. Funktionsweise des Empfängers

Das Eingangssignal des Empfängers ist die erste Zwischenfrequenz der Station WES-3 von 137,5 MHz, das ihm über ein bis zu 200 m langes Kabel von dem unmittelbar an der Antenne angebrachten S-Band-Konverter zugeführt wird. Im Empfänger wird das Signal zunächst verstärkt und mit Hilfe des Mischers und Lokaloszillators in eine zweite Zwischenfrequenzlage von 10,7 MHz umgesetzt. Auf dieser Frequenz erfolgt die Hauptselektion und -verstärkung des Signals, das danach parallel dem PSK-Demodulator und dem FM-Demodulator zugeführt wird.

Im PSK-Demodulator werden die digitalen Daten demoduliert und anschließend dem Bitregenerator zugeführt, in dem der für die weitere Verarbeitung notwendige Bittakt gewonnen wird. Im FM-Demodulator werden die analogen APT-Daten gewonnen und für die Darstellung auf einem Hardcopy-Gerät oder auf einer Farbdisplayeinheit bzw. zur Zwischenspeicherung auf Magnetband aufbereitet. Die digitalen Daten werden nach der Bitregenerierung in einer Umkodiereinheit umgeformt und als serieller Bitstrom im NRZ-L-Format zusammen mit dem Takt bereitgestellt. Das ergibt eine sehr einfache Schnittstelle zum digitalen Verarbeitungstrakt.

### 2.1. Mischer und Lokaloszillator

Der Mischer ist so breitbandig konzipiert, daß für die Signale aller in Frage kommenden Satelliten keine Begrenzung der Informationsbandbreite auftritt. Der Lokaloszillator ist von Hand abstimbar. Darüber hinaus verfügt er über einen Steuereingang zur automatischen Frequenznachstimmung (AFC), die notwendig ist, um alle im Sende-Empfangstrakt auftretenden Frequenzinstabilitäten und insbesondere den beim Empfang orbitierender Satelliten auftretenden Doppler-Effekt zu kompensieren. Die dazu benötigte Regelspannung wird im PSK-Demodulator gewonnen.

### 2.2. ZF-Verstärker

Die Gesamtselektion des Empfängers erfolgt in den am Eingang des ZF-Verstärkers angeordneten kompakten LC-Filtern, deren optimale Bandbreite der jeweiligen Datenrate angepaßt sein sollte. Verwendet werden zwei getrennte Filter, die wahlweise von Hand bzw. ferngesteuert vom Stationsrechner in den Signalweg eingeschaltet werden. Zum Ausgleich der auf dem Übertragungswege auftretenden Pegelschwankungen, die insbesondere bei orbitierenden Satelliten berücksichtigt werden müssen, wird die Verstärkung des ZF-Verstärkers automatisch geregelt (AGC). Damit wird für Änderungen des Eingangspegels bis zu 50 dB ein annähernd konstanter Ausgangspegel erzielt. Die Regelung erfolgt sowohl inkohärent als auch kohärent mit automatischer Umschaltung bzw. von Hand.

### 2.3. PSK-Demodulator

Es wurde ein Phasendemodulator mit Entscheidungsrückführung gewählt, der auch bei Signalen mit vollständig unterdrücktem Träger optimal arbeitet und im Vergleich zu anderen Varianten eine geringere Bitfehlerwahrscheinlichkeit gewährleistet. Allerdings stehen diesen Vorteilen Schwierigkeiten bei der Anfangssynchronisierung (Acquisition) entgegen. Als Acquisitionshilfe wird ein Suchgenerator verwendet, der den Demodulator periodisch bis zum Einrasten auf das Eingangssignal durchstimmt und dann selbständig abgeschaltet wird. Der Demodulator verfügt darüber hinaus über einen Fernsteuereingang, mit dessen Hilfe seine Parameter der jeweiligen Datenrate angepaßt werden. Des weiteren wird im Demodulator der Bittakt benötigt, der ihm vom Bitregenerator zugeführt wird.

### 2.4. Taktgenerator

Der Taktgenerator besteht aus zwei manuell und ferngesteuert umschaltbaren spannungsgesteuerten Quarzoszillatoren (VCXO) für beide Datenraten und den notwendigen Aufbereitungsschaltungen. Die Frequenz des Taktgenerators wird von Taktsynchronisator so nachgeregelt, daß der Takt stets phasenstarr mit dem übertragenen Bitstrom verkoppelt ist.

### 2.5. Bitregenerator

Der Hauptbestandteil dieser Baugruppe ist der Taktsynchronisator, in dem nach einem integralen Verfahren eine Regelspannung zur Nachstimmung der Taktfrequenz gewonnen wird. Auch dabei ist es notwendig, die Parameter der jeweiligen Datenrate anzupassen, was ebenfalls manuell oder ferngesteuert geschehen kann. Des weiteren werden hier die demodulierten Bits regeneriert, d. h. in eindeutige 0-L-Übergänge überführt.

### 2.6. Umkodiereinheit

In dieser Baugruppe erfolgt die Dekodierung der gewonnenen Informationen aus dem zur Übertragung verwendeten Biphase-Code in NRZ-L. Bei Bedarf ist auch die Umkodierung eines beliebigen gebräuchlichen Codes in einen anderen nachrüstbar.

### 2.7. Bedien- und Interfaceeinheiten

Zur Erleichterung der Funktionskontrolle des Empfängers durch den Operator wird ein akustisches Ausgangssignal bereitgestellt. An drei Meßinstrumenten können die Betriebsspannungen und -ströme sowie die richtige Funktion der AGC und AFC ständig kontrolliert werden. Diese Meßwerte sowie weitere Informationen über die Betriebsarten des Empfängers sind über die Interface-Einheit vom Stationsrechner zur Überwachung bzw. Fehlerdiagnose bei Ausfällen abrufbar.

## 3. Technische Hauptkennwerte

Eingangsfrequenz	(137,5 ± 0,5) MHz
Eingangsbandbreite	10 MHz
Empfindlichkeit	10 µV an 50 Ohm
Dynamik der AGC	50 dB
Wirksamkeit der AFC	1:100
AFC-Bereich	± 120 kHz
Ausgangssignal (Takt und Bitstrom)	NRZ-L, TTL-Pegel an 50 Ohm
ZF-Bandbreiten	600 kHz und 2,6 MHz
Taktfrequenzen	166,666 kBit/s 665,4 kBit/s
Abmessungen	(540 x 270 x 300) mm <sup>3</sup>
Leistungsaufnahme	100 VA



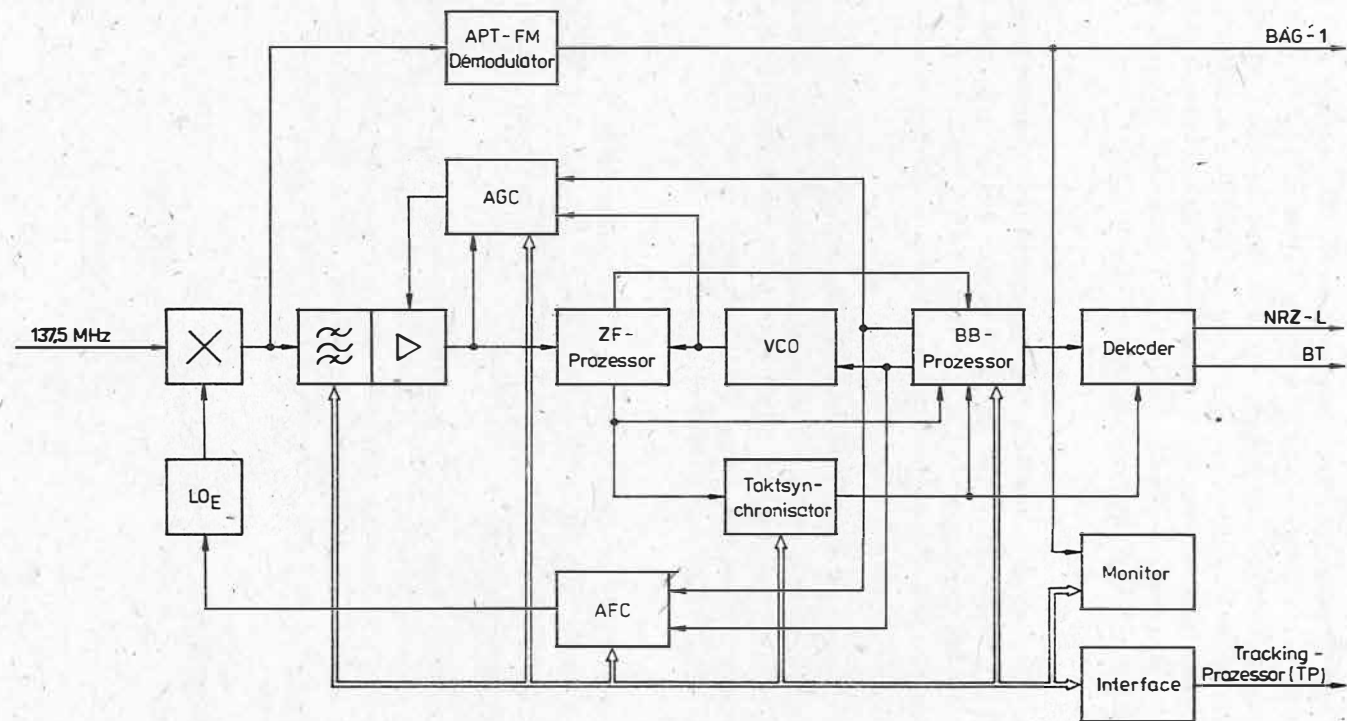


Abb. 1 Blockscha des Empfängers für analoge und digitale Daten meteorologischer Satelliten

Magnetband-orientiertes System zur Erfassung digitaler Satellitendaten bis 1 Mbit/s

H.-P. ARNOLD, H.-G. GUDER, P. LIECKFELDT; R. REIMER, H.-J. WOLF

Akademie der Wissenschaften der DDR  
 Institut für Kosmosforschung,  
 Satellitenbodenstation Neustrelitz

Zusammenfassung

Vorgestellt wird das System RTPS zur Erfassung von digitalen Satellitendaten bei Datenraten bis 1 Mbit/s. Im RTPS werden weitgehend kommerzielle Mikrorechnerbaugruppen des Systems K 1520 genutzt. Die zusätzlich entwickelten Komponenten Rahmensynchronisator, eine Echtzeituhr, zwei parallel arbeitende DMA-Baugruppen und der Interface-Prozessor zum Anschluß an ESER-Magnetbandgeräte sind K 1520-kompatibel.

Summary

The RTPS system for acquisition of digital satellite data up to 1 Mbit/s is introduced. In this system OEM boards of the microcomputer system K 1520 are used. The special boards like frame synchronizer, real-time clock, two different DMA-boards for parallel memory access and the interface processor for handling the EC-type magnetic tape drive are developed by the satellite ground station Neustrelitz. All boards are K 1520 compatible.

Резюме

Представляется система РТПС, предназначенная для сбора цифровых спутниковых данных со скоростью передачи до 1 Мбит/сек. Система в основном построена на промышленно-выпускаемых блоках микро-ЭВМ системы К 1520. Дополнительно разработанные блоки, как синхронизатор кадров, генератор точного времени, два параллельно работающих блока прямого доступа и процессор интерфейса для НМД серии ЕС, совместимы с системой К 1520.

Das System RTPS ist ein flexibler und preisgünstiger Gerätekomplex zur Erfassung und Magnetbandspeicherung von digitalen Telemetriedaten (z. B. von Wetterbildern) bei Datenübertragungsraten bis 1 Mbit/s. Die Abbildung zeigt das Blockschaltbild des Systems. Im folgenden werden in kürzest möglicher Form technische Angaben zur Funktion und zu Leistungsparametern der einzelnen Komponenten gegeben.

Programmierbarer Echtzeitrahmensynchronisator PERSYNAnwendung:

Synchronisation und Serien-Parallel-Wandlung von PCM-Telemetriedaten

- der Wettersatelliten METEOSAT und NOAA
- verschiedener INTERKOSMOS-Satelliten

Funktion:

- Auffinden und Kennzeichnen der Synchronworte innerhalb von PCM-Rahmen
- Wortformation entsprechend des Telemetriesystems
- Statusauswertung über die Qualität der empfangenen digitalen Daten

Parameter:

- max. Rahmenlänge:  $2^{20} = 1048576$  bit
- max. Synchronwortlänge: 60 bit
- max. Bitrate: 1 Mbit
- Mikroprogrammsteuerung:
  - Mikrobefehlslänge: 40 bit
  - Anzahl d. Mikrobefehle: 32
  - Befehlszykluszeit: 80 ns
- Synchronisationsverfahren:
  - 3-Phasensynchronisation mit Hintergrundkontrolle
    - Suchphase
    - Bestätigungsphase
    - Lockphase
- Arbeitsregime
  - Zwangssynchronisation
    - erhöhte Synchronisationsgeschwindigkeit
    - erhöhte Synchronisationssicherheit
    - Kanalentwischung (bei NOAA)
    - Nullframekennung (bei METEOSAT)
    - Erkennung von Bitinversion und Korrektur

DMA-E. Baugruppe für schnelle DateneingabeFunktion:

- organisiert die Übernahme der vom Rahmensynchronisator gelieferten Datenbytes in den Arbeitsspeicher des Mikrorechners
- Da eine Auswertung des SYN-Impulses geschieht, erfolgt die Abspeicherung rahmensynchron
- Generierung von Impulsen, die zur Unterbrechungsauslösung verwendet werden können

Parameter:

- Datenrate etwa bis 129 KByte/s bzw. 1,032 Mbit/s
- transparenter Mode, d. h. keine zusätzliche Belastung d. ZRE
- kontinuierlicher und einmaliger Betrieb möglich
- K 1520 kompatibel
- Blocklänge und Adreßbereich 64 KByte

DMA-A Baugruppe für schnelle Datenausgabe und -eingabeFunktion:

- organisiert die Datenübertragung zwischen K 1520-Mikrorechner und Interface-Prozessor
- über Steuerkanal werden Kommando- und Statussignale ausgetauscht
- Datenaustausch erfolgt über separaten schnellen Kanal

Parameter:

- Übertragungsrate des Datenkanals bis ca. 190 KByte/s
- Zentraler Bestandteil DMA-Schaltkreis U 858
- Betriebsart: Byte Mode
- K 1520-kompatibel

Anwendung:

- Realisierung der Wechselpufferfunktion
- schnelle Datenein- und Ausgabe für K 1520 Mikrorechner

ESER-Interface-ProzessorAnwendung:

- Kopplung von ESER-Ein-Ausgabegeräten mit Mikrorechnern z. B. K 1520
- Kopplung zweier ESER-Ein-Ausgabegeräte direkt miteinander
- Kopplung unterschiedlicher Standard-Interface miteinander

Funktion:

- Generierung der Interfaceschaltfolgen entsprechend den auszuführenden Kommandos
- Überwachung der zeitlichen Abläufe
- Untersuchung eventueller Statussignale und Fehlerbehandlung
- Kommunikation mit dem angeschlossenen Koppelrechner

Parameter:

- Kommunikation mit Koppelrechner über vier Ports:
  - . Kommandoport, PIO-Port
  - . Statusport, PIO-Port
  - . Daten-EIN-Port, PIO- oder DMA-Port
  - . Daten-AUS-Port, PIO- oder DMA-Port
- Interface-Prozessor realisiert die Schaltfolgen des ESER-Kanals und ist damit voll ESER-buskompatibel
- Datenübertragungsgeschwindigkeit bis 3 MByte/s
- flexibler Einsatz durch Programmierbarkeit

RTPS SoftwareAnwendung:

- Realisierung einer bedienerfreundlichen Menüarbeit zur Einstellung, Bedienung und Test der RTPS-Station
- Realisierung des Empfangs und der Speicherung bis 1 Mbit/s

Funktionen:

- Einstellung der Uhrplatine per Hand oder über Zeitzeichenempfänger
- Aktualisierung des Systemmenüs bezüglich Empfangsstation, Satellit und Zeit
- Anzeige aller wichtigen Parameter beim Echtzeitempfang
- Initialisierung und Steuerung der DMA-A, DMA-E, PIO und CTC
- Erzeugung einer Datensatz-Präambel und Ausführung der erforderlichen ESER-Kommandos für Magnetbandgerätebedienung
- Testprogramme zur Überwachung der Pufferlänge und zur Auswertung von Testmagnetbändern

Parameter:

- Monitorprogramm 3 KByte
- Applikationsprogrammpaket RTPS: 3 KByte  
Ist für verschiedene Empfangsstationen und Satelliten programmiert

### Einsatzmöglichkeiten des Systems

Das System RTPS wird eingesetzt

- für den Test und die Analyse der Leistungsfähigkeit von Satelliten-Empfangsstationen, z. B. der Wetterbildempfangsstation WES-3 für METEOSAT und NOAA
- für die Erfassung und Speicherung von Satelliten-Wetterbildern im nichtoperativen Regime
- für die Erfassung und Speicherung der Telemetriedaten von Interkosmos-Satelliten
- in einzelnen Komponenten in der Quick-look-Visualisierungseinheit für digitale Wetterbilder
- in einzelnen Komponenten in der Visualisierungseinheit der Wetterbildempfangsstation WES 3/1 für analoge Wetterbilder

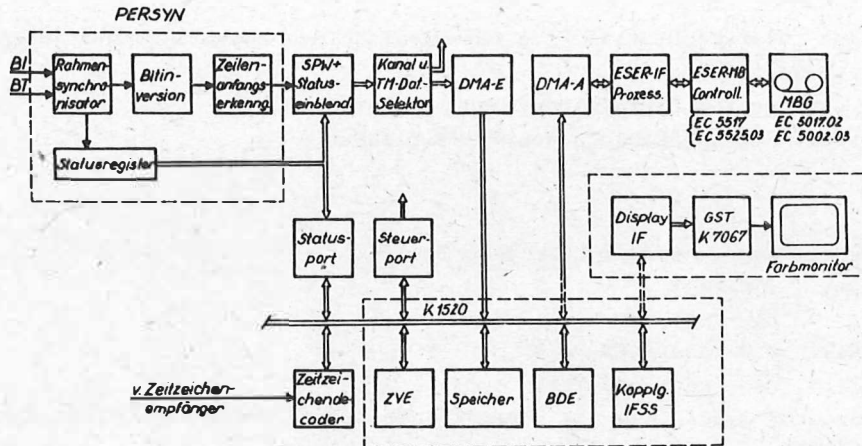


Abb. 1 Blockschaltbild des Systems RTPS



Echtzeitvisualisierung von Wetterbildern

A. GÜNTHER

Akademie der Wissenschaften der DDR

Institut für Kosmosforschung

Satellitenbodenstation Neustrelitz

Zusammenfassung

Die Echtzeitvisualisierung liefert ein Überblicksbild während des Empfangs. Durch die wahlweise Änderung der Parameter: Kanal, Kennlinie, Maßstab, Zeilenanfang, Rollfunktion während des Empfanges werden dem Nutzer zusätzliche Möglichkeiten für einen interaktiven Betrieb angeboten. Die hierzu verwendete Gerätetechnik besteht aus einem Mikrorechner auf K 1520-Basis und der Grafiksteuerung sowie dem Farbmonitor des Bildverarbeitungssystems A 6471.

Summary

The quick-look provides a general view during the data reception. For an interactive working during the reception the user has any options by variation of the parameter: channel, characteristic, scale, beginning of line, roll-function. The used hardware consists of a micro-computer, based on the K 1520, and the graphic-controller as well as the colour-monitor of the image-processing-system A 6471.

Резюме

Визуализация в реальном масштабе времени проводится с целью получения обзорного изображения во время приема данных. Предусматривается изменение параметров (канал, характеристика, масштаб, начало строки, перемещение изображения в соответствии с поступлением данных), позволяющее интерактивный режим работы. В качестве технических средств для визуализации применяются микро-ЭВМ на основе системы K 1520, устройство управления графикой и цветной монитор системы обработки изображений A 6471.

Bei Wetterbildempfangsanlagen erweist es sich als günstig, wenn das einlaufende Wetterbild in Echtzeit dargestellt werden kann (Quick-look). Der Nutzer erhält damit sofort einen Überblick und kann daraus Entscheidungen, z. B. meteorologischer Art, ableiten.

Die Quick-look-Einrichtung wurde so konzipiert, daß sie unabhängig und parallel zum eigentlichen Speicher- und Verarbeitungstrakt einer Wetterbildstation arbeiten kann. Dadurch, daß dem Nutzer über die Standardbilddarstellung hinaus weitere Möglichkeiten, wie z. B. Änderung der Bilddarstellung oder eine Erweiterung im Hinblick auf Bildverarbeitung in kleinem Rahmen angeboten werden, kann diese Lösung als eine autonom arbeitsfähige Minimalvariante einer Wetterbildempfangsanlage angesehen werden.

In Abb. 1 ist die Zusammenschaltung der einzelnen Hardwarekomponenten für den hier beschriebenen Anlagenteil dargestellt. Der Mikrorechner K 1520 nimmt aus diesem Blickwinkel eine zentrale Stellung ein. Er ist über 4 Interfaces an die anderen Komponenten gekoppelt. Die Steuerung erfolgt durch Interrupts. Der Ablauf beim Empfang eines Wetterbildes in der normalen Betriebsart ist folgendermaßen:

Der Mikrorechner K 1520 geht nach dem Einschalten in einen Wartezustand, in dem Interrupts vom Rechner K 1630 oder von der Bedieneinheit K 8911 zugelassen sind. Vor Empfangsbeginn werden die Grundausswahlparameter Satellitenname, Kanal, Format und Pegelkorrektur vom K 1630 zum K 1520 gesendet. Wenn diese im K 1520 abgespeichert sind, werden Standardsteuerwerte wie Kennlinie, Maßstab und Zeilenanfang für den weiteren Ablauf errechnet. So wird, z. B. der Maßstab in Abhängigkeit vom Satelliten und vom Format gewählt. Der Zeilenanfang wird so bestimmt, daß die Bildmitte dargestellt wird. Standardmäßig wird eine Schwarz-Weiß-Kennlinie eingestellt.

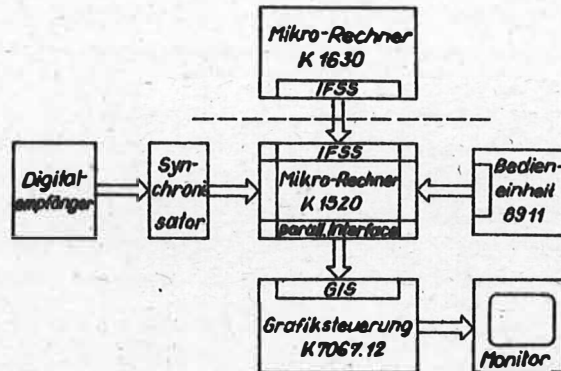


Abb. 1 Blockschaltbild der Quick-look Einheit

2

Anschließend werden die Grafiksteuerung sowie DMA und Synchronisator in den Grundzustand versetzt. Von diesem Zeitpunkt an wird der erste Interrupt von der DMA-Steuerung erwartet. Dieser Interrupt zeigt an, daß der Synchronisator sinnvolle Information vom Empfänger erhalten hat und diese im Zwischenspeicher des K 1520 abgespeichert wurde. Es kann nun geprüft werden, ob es sich um eine darzustellende Bildzeile handelt. Wenn ja, werden daraus die Bildpunkte für die Anzeige entnommen und auf Anforderung per Interrupt von der Grafiksteuerung an diese gesendet. Andere Zeilen, wie z. B. Bildkopfzeile, anderer Kanal usw. werden anders behandelt.

Sobald der Bildschirm des Monitors gefüllt ist, rollt das Bild entsprechend der Abtastrichtung des Satelliten durch. Dieser Zustand bleibt so lange erhalten, bis entweder vom Empfänger keine neuen Bildzeilen mehr zur Verfügung gestellt werden, oder bis die Auswahlparameter vom Nutzer geändert werden.

Der Nutzer hat die Möglichkeit, die Standardbilddarstellung abzuändern und zwar sowohl vor Empfangsbeginn als auch während des Empfanges. Dies geschieht über ein Eingabemenü auf der Bedieneinheit K 8911 und bezieht sich auf die Parameter: Kanal (je nach Satellit bis zu 5 Kanälen), Kennlinie (1 schwarz-weiße und 3 farbige Darstellungen), Maßstab (1:1; 1:2; 1:4), stehendes oder rollendes Bild und Zeilenanfang (seitliche Verschiebung). Die seitliche Verschiebung kann stufenlos (kein Versatz im Bild) oder mit Versatz im Bild erfolgen. Dem Nutzer wird dabei im Menü angezeigt, wie weit die Verschiebung stufenlos möglich ist.

Um die Möglichkeiten, die dem Nutzer geboten werden, auch bildhaft zu demonstrieren, werden in den Abbildungen 2 bis 5 einige Beispiele gezeigt, wo ausgehend von einer Standarddarstellung, dreimal hintereinander eine Änderung vorgenommen wurde.

Bei der Standarddarstellung (Abb. 2) handelt es sich um ein Wetterbild des Satelliten Meteosat, Format A, infraroter Kanal im Maßstab 1:4. Durch Umschaltung zum visuellen Kanal erhält man die Abb. 3. Ausgehend von der Abb. 3 kann man durch Maßstabsänderung (von 1:4 zu 1:2) die Abb. 4 erhalten. Aus der Abb. 4 kann dann die Abb. 5 durch stufenlose Verschiebung (entsprechende Änderung des Zeilenanfanges) erzeugt werden.

Fällt der Rechner K 1630 aus, so wird der autonome Betrieb angewendet. Dieser unterscheidet sich vom normalen Betrieb lediglich dadurch, daß vor Empfangsbeginn die Grundauswahlparameter vom Nutzer über die Bedieneinheit eingegeben werden müssen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß, ausgehend von der Zielstellung der Echtzeitvisualisierung von Wetterbildern, eine Lösung mit erweiterten Möglichkeiten für den Nutzer entstanden ist, welche darüber hinaus noch weiter ausgebaut werden kann.



Abb. 2 Format A;  
infrarot  
Maßstab 1:4



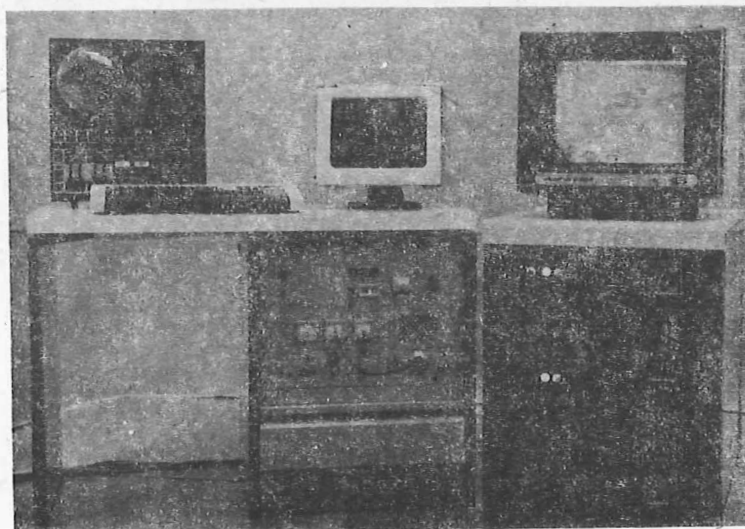
Abb. 3 Format A;  
visuell  
Maßstab 1:4



**Abb. 4** Ausschnitt  
aus Abb. 3  
Maßstab 1:2



**Abb. 5** stufenlose  
Verschiebung  
von Abb. 4



**Abb. 6** Gesamtan-  
sicht der  
Anlage



Kleinräumige landwirtschaftliche Flächennutzungsstrukturen  
in Aufnahmen des FRAGMENT-Scanners

---

G.HARNISCH (\*), H.HERRMANN (\*\*), H.PARLOWSKI, S.PARLOWSKI (\*\*\*)

Zusammenfassung

Am Beispiel der Anbauflächen von drei landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften in der Nähe von Rostock wird gezeigt, daß die Aufnahmen des FRAGMENT-Scanners (Pixelgröße 80 x 80 m<sup>2</sup>) nicht nur die Geometrie der Flächennutzungsstrukturen widerspiegeln, sondern auch ermöglichen, die angebauten Kulturpflanzen anzusprechen. Dazu ist sowohl bei der visuellen als auch bei der rechnergestützten Auswertung der Anschluß an Bodenmessungen erforderlich. Die Kulturpflanzen können besser unterschieden werden und die Zuverlässigkeit der Aussagen erhöht sich, wenn nach dem Multitemporalkonzept Aufnahmen von verschiedenen Zeitpunkten in die Auswertung einbezogen werden. Als Ergebnis lassen sich Flächennutzungskarten und Tabellen mit den innerhalb vorgegebener administrativer Einheiten, z.B. einzelner LPG, angebauten Kulturpflanzen ableiten. Maßgebend für den Erfolg derartiger Bemühungen ist die regelmäßige Bereitstellung aktueller und störungsfreier Fernerkundungsdaten.

Summary

Using two scenes of the Soviet multispectral scanner "FRAGMENT" a detailed land use interpretation was made for the cultivated area of three Agricultural Production Co-operatives in the north of the GDR, near Rostock. Characterized by a ground resolution of about 80 m the imagery not only reflects the land use pattern but also enables the recognition of the different cultivated plants. For both the visual interpretation and the digital evaluation it is necessary to take into consideration also ground-based data. Following the multitemporal conception using imagery, taken at different times, the cultivated plants may be recognized better and the results become more reliable. The results of the digital image processing may be presented in the shape of simple land use maps or of tables, containing the percentage of the cultivated plants within given geographical or administrative units, e.g. within the territories of single Agricultural Production Co-operatives. The success of such investigations strongly depends on the regular supply of remote sensing data and their quality.

Резюме

На основе двух снимков советского мультиспектрального сканера "Фрагмент" было дешифрировано землепользование трёх сельскохозяйственных кооперативов на севере ГДР, вблизи г. Росток. Снимки разрешающей способности порядка 80 м не только отражают геометрию структур сельскохозяйственного землепользования, но и делают возможным распознавание различных видов засевных растений. При этом как визуальная интерпретация, так и цифровая обработка требуют включения данных наземных измерений. Соединение сделанных в разное время снимков, в соответствии многовременной концепцией, улучшает возможность распознавания засевных растений и повышает достоверность высказываний. Результатом цифровой обработки могут быть карты землепользования и таблицы, отражающие относительное распределение засевных растений внутри территорий административных единиц (напр., отдельных сельскохозяйственных кооперативов). Успех таких работ в сильной мере зависит от качества и регулярной подготовки актуальных данных дистанционного зондирования.

(\*) G.Harnisch, Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Physik der Erde

(\*\*) H.Herrmann, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion

(\*\*\*) H.Parlowski, S.Parlowski, MG Friedländer Große Wiese



## 1. Einleitung

Der Nordteil der DDR und die Potsdam-Brandenburger Havelniederung waren schon mehrfach Gegenstand großräumig angelegter methodischer Untersuchungen zur Ableitung von Flächennutzungsstrukturen aus Fernerkundungsdaten. Ausgewertet wurden dabei sowohl photographische Aufnahmen mit der Multispektralkamera MKF-6 (DUVINAGE, NOWESKI 1981; BARSCH, WIRTH 1984) als auch die Digitaldaten des FRAGMENT-Scanners (NOWESKI 1984). Bezüglich der landwirtschaftlichen Flächennutzung wurde dabei im allgemeinen nur zwischen "begrüntem" und "wenig begrüntem" Arealen unterschieden. Gründe dafür dürften sein

1. ungenügende oder unzuverlässige Detailinformationen über die Flächennutzung in ausgewählten Etalongebieten, die als Vergleichsobjekte bei der visuellen Auswertung oder zur Belehrung rechnergestützter Klassifizierungsverfahren dienen,
2. zu geringe Nutzung der (für Außenstehende oft unübersichtlichen oder schwer handhabbaren) Möglichkeiten der rechentechnischen Auswertung oder
3. die nicht speziell auf die landwirtschaftliche Flächennutzung ausgerichtete Zielstellung der Arbeiten.

Im Rahmen einer Diplomarbeit (PARLOWSKI, PARLOWSKI 1985) wurde die Aussagekraft von Daten des FRAGMENT-Scanners hinsichtlich kleinräumiger landwirtschaftlicher Flächennutzungsstrukturen untersucht. Als Beispiele dienten die Nutzflächen der südlich von Rostock gelegenen Landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften Lambrechtshagen, Kavelstorf und Groß Stove. Für dieses Gebiet standen vom 13. und 20.5.1981 zwei FRAGMENT-Aufnahmen zur Verfügung. Erschwerend wirkte sich das Fehlen synchron erfaßter Bodeninformationen aus.

Im vorliegenden Beitrag werden die früher erhaltenen Untersuchungsergebnisse auf der Grundlage einer erweiterten rechentechnischen Neubearbeitung des Datenmaterials vorgestellt.

## 2. Das Datenmaterial

Der FRAGMENT-Scanner ist ein "experimentelles", d.h. nicht für den Routinedienst vorgesehenes Aufnahmesystem. Er arbeitet nach dem optisch-mechanischen Prinzip und besitzt 8 Spektralkanäle im Bereich zwischen 0,4 und 2,4  $\mu\text{m}$ . Er wurde am 18.6.1980 an Bord eines Meteor-Satelliten in eine polnahe Umlaufbahn gebracht. Die mittlere Flughöhe des Satelliten beträgt 634 km (TRIFONOV 1981) und die Wiederkehrdauer, nach der er sich über dem gleichen Punkt der Erdoberfläche befindet, etwa 15 Tage (AVANESOV u.a. 1981). Durch Verwendung von 6 parallel arbeitenden Sensoren entstehen bei jedem Abtastzyklus gleichzeitig 6 Bildzeilen. Weitere technische Parameter des Aufnahmesystems und einige spezielle Angaben, zu den in die vorliegenden Untersuchungen einbezogenen Aufnahmen sind in Tab.1 zusammengestellt; Abb.2 zeigt die Spektralcharakteristiken der 4 zur Verfügung stehenden Spektralkanäle (\*). Die Bilddaten werden, wie auch bei anderen Scannern üblich, auf rechnerlesbaren Magnetbändern (CCT) bereitgestellt.

(\*) Die Spektralbereiche der 8 Kanäle des FRAGMENT-Scanners werden wie folgt angegeben: 0,4 - 0,7  $\mu\text{m}$ , 0,5 - 0,6  $\mu\text{m}$ , 0,6 - 0,7  $\mu\text{m}$ , 0,7 - 0,8  $\mu\text{m}$ , 0,8 - 1,1  $\mu\text{m}$ , 1,2 - 1,3  $\mu\text{m}$ , 1,5 - 1,8  $\mu\text{m}$ , 2,1 - 2,4  $\mu\text{m}$  (AVANESOV u.a. 1981). Da von diesen 8 Kanälen aber nur die vier schmalbandigen im sichtbaren Bereich zur Verfügung stehen, werden diese in der vorliegenden Arbeit der Einfachheit halber als K1 bis K4 bezeichnet.

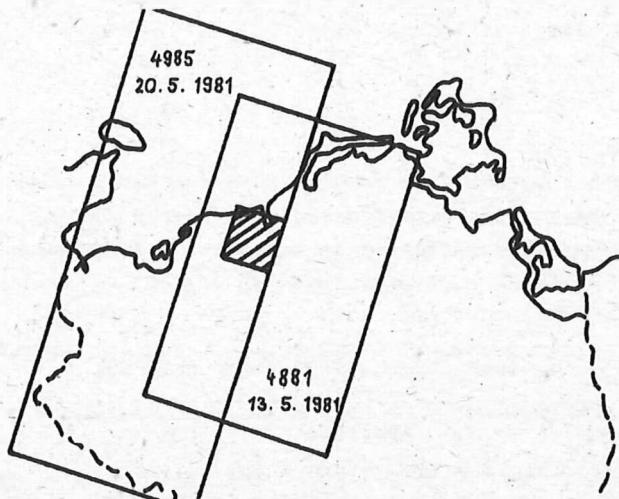


Abb.1: Lage des Untersuchungsgebiets in Bezug auf die FRAGMENT-Szenen 4881 und 4985

Tab.1: Angaben zu den FRAGMENT-Aufnahmen 4881 und 4985 und zum FRAGMENT-Scanner

	4881	4985
Tag der Aufnahme	13.5.1981	20.5.1981
Zeitpunkt der Aufnahme	13:02:30	13:05:40
Flughöhe des Satelliten	630 km	642 km
Meßfleck (IFOV)	76 x 76 m**2	
Pixelgröße	88,4 x 82,3 m**2 = 0,73 ha	
Spektralkanäle		
K1	500 - 600 nm	
K2	600 - 700 nm	
K3	700 - 800 nm	
K4	800 - 1100 nm	

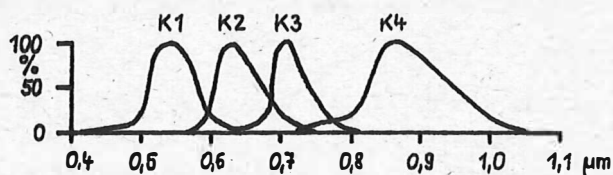


Abb.2: Spektralcharakteristik der Kanäle K1 bis K4 des FRAGMENT-Scanners

### 3. Aufnahmesituation

Wie bei allen Anwendungen von Fernerkundungsverfahren ist auch für die vorliegende Auswertung von Aufnahmen des FRAGMENT-Scanners und für die Bewertung der Ergebnisse eine genaue Kenntnis der Situation im Untersuchungsgebiet von großer Bedeutung. Das betrifft insbesondere die Anbaustruktur, das Wettergeschehen und die phänologische Entwicklung der Pflanzen. Da derartige Angaben vom Zeitpunkt der Aufnahmen nicht vorliegen, mußten sie im

nachhinein zusammengetragen werden, was einerseits einen großen Aufwand erforderte, andererseits mit erheblichen Unsicherheiten verbunden ist.

### 3.1. Anbaustruktur

Die landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) der drei in die Untersuchungen einbezogenen LPG beträgt insgesamt etwa 12800 ha. Die Verteilung auf Dauergrünland und Acker und die Flächenanteile einzelner Gruppen von Kulturpflanzen im Mai 1981 sind in Tab.2 zusammengestellt.

Tab.2: Anbaustruktur in den LPG(P) Lambrechtshagen, Groß Stove und Kavelstorf im Mai 1981

	LPG(P) Lambrechtshagen	LPG(P) Groß Stove	LPG(P) Kavelstorf
LN gesamt	3508 ha	5109 ha	4184 ha
Dauergrünland	330 ha	700 ha	1074 ha
Acker	3178 ha	4409 ha	3110 ha
Anbaufläche einzelner Kulturpflanzen bzw. Gruppen von Kulturpflanzen in Prozent der Ackerfläche:			
Getreide	47	58	52
Zuckerrüben	12	12	18
Feldgras	14	13	12
Raps	10	10	8
Futterpflanze	17	7	5
Kartoffeln	-	-	5

Mit 25,7% der landwirtschaftlichen Nutzfläche weist die LPG Kavelstorf das meiste Dauergrünland auf. Vor allem in der LPG Kavelstorf, z.T. auch in der LPG Groß Stove sind, bedingt durch die erforderliche Anpassung an die örtlichen Standortgegebenheiten und dabei insbesondere an die eingestreuten Grünlandbereiche, die meisten Schläge in kleinere Anbauflächen unterteilt. Die durchschnittliche Größe der Anbauflächen beträgt für die LPG Kavelstorf etwa 50 ha, für die LPG Groß Stove 92 ha und für die LPG Lambrechtshagen 112 ha.

Aus Tab.2 ist zu entnehmen, daß auf etwa der Hälfte der Ackerfläche Getreide stand. Dabei handelte es sich vorwiegend um Wintergerste, Winterweizen und Winterroggen. An Sommergetreide war nur der angebaute Hafer von Bedeutung; Sommergerste fiel dagegen kaum ins Gewicht. Zuckerrüben, Feldgras und Raps nahmen in allen drei LPG etwa die gleichen Flächen ein. Der Anteil an Futterpflanzen (Mais, Luzerne, u.a.) war in der LPG Lambrechtshagen deutlich größer als in den beiden anderen LPG. Kartoffeln wurden nur auf 2 Schlägen der LPG Kavelstorf angebaut.

### 3.2. Meteorologische Situation

Für das Frühjahr 1981 ergibt sich das folgende Bild: Bis zur Mitte der dritten Märzdekade fiel reichlich Niederschlag, die Sonnenscheindauer blieb deutlich unter dem aus

langjährigen Beobachtungen abgeleiteten Normalwert. Anfang April stiegen die Lufttemperaturen auf überdurchschnittlich hohe Werte an. Beginnend mit der zweiten Aprilhälfte schloß sich erneut eine Periode mit zu kalter Witterung und wenig Niederschlägen an, die bis zur Mitte der ersten Maidekade anhielt. Dann folgten bis Ende der zweiten Maidekade wieder überdurchschnittlich hohe Lufttemperaturen und lange Sonnenscheindauern. - Die beiden Aufnahmetage sind die Tage mit der längsten Sonnenscheindauer in den ersten beiden Maidekaden.

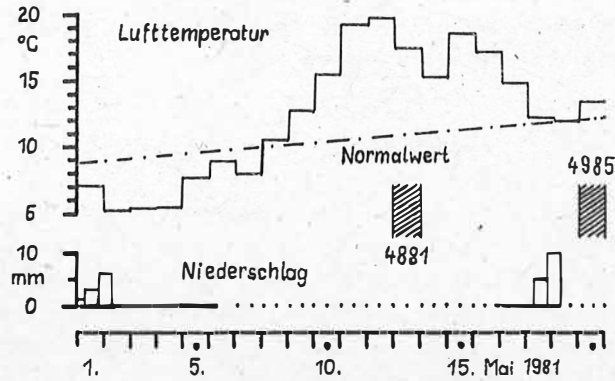


Abb.3: Lufttemperatur und Niederschlag an der Station Warnemünde, Mai 1981 (nach "Täglicher Wetterbericht des Meteorologischen Dienstes der DDR")

Die Entwicklung der Lufttemperatur und die Niederschlagsstätigkeit in der Zeit vom 1. bis zum 20. Mai 1981 ist in Abb.3 dargestellt. Danach fielen vom 1.5. bis 6.5. insgesamt 10 mm und vom 16. bis 18.5. erneut 15 mm Niederschlag. Die übrigen Tage zwischen dem 1.5. und dem 20.5. waren niederschlagsfrei. Es ist daher anzunehmen, daß das Untersuchungsgebiet am 13.5.1981, dem Tag der ersten Aufnahme, oberflächlich trocken war. Dagegen ist am 20.5.1981, dem Tag der zweiten Aufnahme, mit einer Restfeuchte aus den Niederschlägen der vergangenen Tage zu rechnen; der Vortag war zwar niederschlagsfrei, aber relativ kühl und sonnenscheinarm.

Tab.3: Grobübersicht zur phänologischen Entwicklung ausgewählter Kulturpflanzen im Mai 1981 (nach PARLOWSKI, PARLOWSKI 1985)

Kulturpflanze	13.5.1981	20.5.1981
Wintergerste	Schossen	Ährenschieben
Winterraps	erste Blüten	Vollblüte
Feldgras	-	1. Schnitt
Hafer	Aufgang	Schossen
Zuckerrüben	Aufgang	Aufgang
	(2-Blatt-Stadium)	(4-Blatt-Stadium)
Frühkartoffeln	Aufgang	Aufgang

### 3.3. Phänologische Situation

Allgemein ist festzustellen, daß Ende April in der phänologischen Entwicklung ein etwa normaler Stand erreicht war. Da durch die günstigen Witterungsverhältnisse im Mai einzelne phänologische Phasen, besonders die Blühvorgänge, sehr schnell durchlaufen wurden, stellte sich in der Folgezeit ein Vorlauf von etwa 5 Tagen ein. Einen Überblick zur

phänologischen Situation im Untersuchungsgebiet im Mai 1981 gibt Tab.3. Bei diesen Angaben ist besonders auf mögliche Unsicherheiten hinzuweisen, die den nachträglich zusammengestellten Daten anhaften können. Bereits unterschiedliche Saattermine können z.B. zu Abweichungen führen.

#### 4. Vorverarbeitung der Fragment-Daten

Die für die Untersuchungen benutzten Aufnahmen des FRAGMENT-Scanners lagen als Rohdaten vor. Sie mußten zunächst radiometrisch und geometrisch korrigiert werden. Besonderer Wert war dabei auf die Beseitigung von Bildstörungen zu legen.

##### 4.1. Radiometrische Korrekturen

Für die Flächennutzungsuntersuchungen wurde aus beiden Aufnahmen ein Ausschnitt von je 280 x 280 Bildpunkten ausgewählt. Da die Originaldaten zwar in pixel-interleaved-Struktur vorliegen, die vier Spektralbänder aber um jeweils eine Bildspalte gegeneinander verschoben sind (DONNER 1985), mußte durch eine Korrektur zunächst die Übereinstimmung der Spektralbänder hergestellt werden. Das konnte in einfacher Weise durch Versetzung der Datenfenster beim Herauskopieren der Bildausschnitte erfolgen.

Für die Korrektur fehlerhafter Einzelpixel wurden mit Hilfe von Histogrammen obere und untere Schwellwerte festgelegt und die Digitalwerte aller Bildpunkte, die außerhalb dieser Grenzen lagen, durch das Mittel aus den Nachbarpunkten ersetzt. Bei der FRAGMENT-Aufnahme 4881 wurde dieses Verfahren auf alle Spektralkanäle, bei der Aufnahme 4985 nur auf Kanal 1 angewendet. - In ähnlicher Weise lassen sich auch einzelne Störzeilen dadurch korrigieren, daß man ihre Digitalwerte durch die Mittel über die angrenzenden Bildpunkte in den Nachbarzeilen ersetzt. Ein solches Vorgehen ist jedoch grob und nur in Ausnahmefällen anzuwenden.

Unterschiedliche Empfindlichkeiten der Sensoren führen zu einer periodisch sich wiederholenden, zeilenparallelen Streifung des Bildes. Die zur Elimination dieses Effekts erforderliche "Destriping"-Korrektur läßt sich aus den Grauwertistogrammen der einzelnen Sensoren und Einführung eines "mittleren" Sensors ableiten. Im einfachsten Fall wird dazu für jeden Sensor das Gesamtmittel aller Grauwerte gebildet. Als Korrekturgröße dient die Differenz gegenüber dem mittleren Sensor. Theoretisch besser begründet ist die Transformation der Sensorhistogramme auf das des mittleren Sensors. Die Transformationsparameter lassen sich durch lineare Ausgleichung der 0,1-Quantile bestimmen. Praktisch ist der Unterschied zwischen den beiden vorgeschlagenen Varianten der Destriping-Korrektur gering. Für die FRAGMENT-Aufnahmen 4881 und 4985 wurde die Methode der Histogrammtransformation gewählt.

##### 4.2. Geometrische Transformation

Die geometrische Transformation verfolgt zwei Zielstellungen: 1. Herstellen der Paßfähigkeit der Aufnahmen untereinander als Grundlage für die multitemporale Auswertung und 2. Herstellen der Paßfähigkeit zu topographischen und thematischen Karten als Grundlage für die geographische Anbindung der Ergebnisse. Angewendet wird das Verfahren der Polynomtransformation. Die Transformationsparameter werden mit Hilfe von Paßpunkten bestimmt.



Es liegt nahe, jede Aufnahme einzeln in eine Karte als gemeinsames Bezugssystem zu transformieren. In Hinblick auf die Paßfähigkeit der Aufnahmen untereinander ist dieses Vorgehen jedoch ungünstig. Gründe dafür sind Schwierigkeiten bei der Auswahl und dem Ansprechen der Paßpunkte; denn einerseits fehlen in den generalisierten Darstellungen der Karten die in den Aufnahmen deutlich hervortretenden, für die Festlegung von Paßpunkten geeigneten landwirtschaftlichen Flächennutzungsstrukturen, andererseits lassen sich geeignete Kartenobjekte (z.B. Straßenkreuzungen) in den Aufnahmen nur schwer oder gar nicht erkennen. Außerdem ist der Übergang von den Aufnahmen zur Karte im allgemeinen mit verhältnismäßig großen Veränderungen der Bildgeometrie verbunden.

Günstiger ist es, die Transformation in das Kartensystem in zwei Schritte zu unterteilen und als Bezugssystem zunächst eine der beiden Aufnahmen zu wählen. Auf diese Weise werden starke Veränderungen der Bildgeometrie vermieden, und Paßpunkte lassen sich in großer Zahl und zuverlässig anhand der abgebildeten Flächennutzungsmuster auswählen. Die Transformation in das Kartensystem schließt sich als zweiter Schritt an. Da die Aufnahmen untereinander bereits paßfähig sind, können für beide die gleichen Transformationsparameter verwendet werden. Die Paßfähigkeit der Aufnahmen untereinander bleibt auf diese Weise erhalten. Solange die Einschätzung der Ergebnisse visuell erfolgt, kann bei dem zweiten Schritt eine geringere Genauigkeit als bei der Herstellung der Paßfähigkeit der Aufnahmen untereinander in Kauf genommen werden.

Für die Transformation der FRAGMENT-Aufnahme 4985 in das System der Aufnahme 4881 wurden die Paßpunkte am Farbdisplay anhand von Mischbildern aus den Kanälen 2,3,4 ausgewählt und ihre Koordinaten mit Hilfe des Cursors bestimmt. Dabei konnten beide Aufnahmen nicht nebeneinander sondern nur nacheinander betrachtet werden. Ohne größere Schwierigkeiten ließen sich 50 Paßpunkte finden, die auch die Forderung nach gleichmäßiger Verteilung hinreichend erfüllten. Trotz größter Sorgfalt bei der Auswahl der Paßpunkte traten bei der Berechnung der Transformationsparameter Restabweichungen in den Paßpunktkoordinaten von mehreren Pixeln auf, die nicht als grobe Fehler anzusehen sind. Der Unterschied zwischen linearem und kubischem Transformationsmodell ist dabei unerheblich. Außerdem fällt auf, daß die aus den Restabweichungen berechneten Standardabweichungen in X-Richtung, d.h. senkrecht zur Richtung der Abtastzeile, signifikant größer sind als die entsprechenden Werte in der dazu senkrechten Richtung (s.Tab.4, obere Zeile).

Tab.4: Standardabweichungen bei der geometrischen Transformation der Aufnahme 4985 in das System der Aufnahme 4881

	in X-Richtung	in Y-Richtung
ohne Zusatzkorrektur	+ - 2,34 Pixel	+ - 1,51 Pixel
mit Zusatzkorrektur	+ - 1,02 Pixel	+ - 1,09 Pixel

Als Ursache dafür wurde bereits früher eine Abhängigkeit der Restabweichungen von der Lage des Bildpunktes in der Abtastzeile erkannt (DONNER 1985). Auch in der vorliegenden Auswertung bestätigt sich diese Annahme durch einen periodischen Verlauf der Restabweichungen (Abb.4).

Die nichtlinearen, periodisch auftretenden Verzerrungen lassen sich auch direkt sichtbar machen: Erzeugt man am Farbdisplay ein Mischbild aus einander entsprechenden Kanälen der zu vergleichenden Aufnahmen, dann sind lokale Verschiebungen der Bilder gegeneinander an schmalen Farbsäumen zu erkennen, die wegen der Periodizität der Störungen abwechselnd am oberen und am unteren Rand der Bildmuster auftreten. Auf diese Weise lassen sich die Verschiebungen mit Hilfe des Cursors auch direkt bestimmen. Dazu wird abwechselnd der eine oder der andere Bildkanal ausgeblendet und der Cursor auf einander entsprechende Bilddetails positioniert. Diese Einstellungen lassen sich sehr zuverlässig vornehmen, da belie-

big oft und sehr schnell zwischen den zu vergleichenden Bildern gewechselt werden kann; die Einstellgenauigkeit beträgt  $\pm 1$  Pixel.

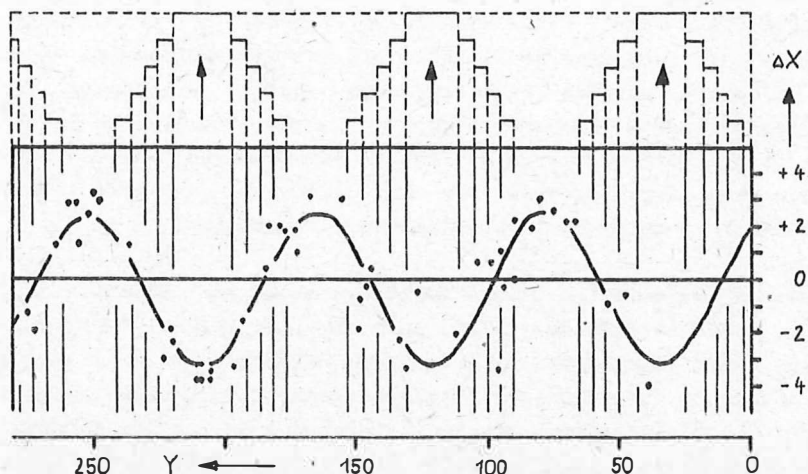


Abb.4: Restabweichungen in Abhängigkeit von der Lage des Punktes in der Bildzeile. Streifen-einteilung für die Korrektur des periodischen Anteils.

Zur Korrektur der periodischen Störungen wird der Ansatz

$$y = A + B*x + P*\sin(w*x) + Q*\cos(w*x)$$

benutzt. Die Koeffizienten werden aus den beobachteten Verschiebungen durch Minimierung der Fehlerquadratsumme berechnet. Sie ermöglichen die Festlegung spaltenparalleler Streifen, die gegeneinander um jeweils einen Pixel in Spaltenrichtung versetzt werden müssen (Abb.4). Den Erfolg einer derartigen Korrektur zeigt Tab.4: die bei der Berechnung der Transformationsparameter ausgewiesenen Standardabweichungen werden kleiner und weichen für beide Koordinatenrichtungen nicht mehr signifikant voneinander ab.

##### 5. Visuelle Auswertung und Auswahl von Testflächen

Arbeitstechniken und Ergebnisse der visuellen und einer einfachen statistischen Auswertung von digitalen Scannerdaten werden ausführlich in den Arbeiten PARLOWSKI, PARLOWSKI 1985 und BONAUF, HERRMANN 1985 dargestellt.

Um eine visuelle Auswertung der Scannerdaten vornehmen zu können, müssen diese zunächst visualisiert werden. Das kann durch Ausgabe auf Papier oder Film oder Darstellung auf einem Schwarz-Weiß- oder einem Farbdisplay geschehen. Die Auswertung besteht in der Bewertung relativer Grauwert- oder Farbunterschiede innerhalb der dargestellten Szene oder durch Vergleich des Bildinhalts mit anderen Bildinformationen oder Karten. Daher spielt für den Erfolg der visuellen Auswertung die bei der Visualisierung angewendete Grauwertübertragungsfunktion ("TC") eine entscheidende Rolle.

Bei der Auswertung von Filmen mit einem einfachen Lesegerät ist eine sichere Abgrenzung "begrünter" und "wenig begrünter" Flächen möglich. Für die Bearbeitung landwirtschaftlicher Aufgabenstellungen ist Kanal 4 (800-1100 nm) am besten geeignet. Auch die Herstellung von Farbmischungen am Farbmischprojektor MSP-4 ermöglicht keine wesentlich stärkere Differenzierung der Aussagen.

Sehr günstig ist die Visualisierung der Aufnahmen an einem Farbdisplay. Dabei ist eine sehr gute Trennung und Ausgrenzung verschiedener Objektklassen wie Gewässer, Verkehrswege (mit Einschränkungen), Wald, landwirtschaftlich genutzte Flächen, Siedlungsgebiete, u.s.w.

möglich. Durch Wahl spezifischer Farbkompositionen läßt sich eine weitere Unterteilung der genannten Klassen erreichen, z.B. Wintergerste, Feldgras, Dauergrünland, Raps, Kartoffeln und Zuckerrüben.

Allgemein ist festzustellen, daß innerhalb der Klassen "begrünt" und "wenig begrünt" nur eine geringe Differenzierung möglich ist. Die Differenzierbarkeit ist dabei abhängig von Form und Größe der Areale und verbessert sich bei der Auswertung von multitemporalen Aufnahmen.

Als Bindeglied zwischen visueller und rechnergestützter Auswertung ist die statistische Auswertung der Bildhelligkeiten zu werten. Voraussetzung dazu sind Ausdrücke der Digitalwerte kleiner Bildausschnitte (max. 30 \* 30 Pixel). Aus den Digitalwerten lassen sich statistische Parameter (z.B. Mittelwert, Streuung, Median, Quantile) und Vegetationsindizes berechnen, die im vorliegenden Fall der FRAGMENT-Aufnahmen 4881 und 4985 eine Trennung aller Objektklassen ermöglichen (Tab.5).

Tab.5: Quartilbereiche ausgewählter Objektklassen aus den FRAGMENT-Aufnahmen 4881 (obere Werte) und 4985 (untere Werte), nach BONAU, HERRMANN 1985.

Objektklasse	Kanal 1	Kanal 2	Kanal 3	Kanal 4
	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-1,1
	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
Wintergerste	54 - 67	34 - 64	78 - 93	86 - 114
	66 - 73	42 - 48	97 - 108	127 - 154
Raps	58 - 66	48 - 56	89 - 109	120 - 162
	51 - 62	36 - 52	62 - 91	74 - 134
Feldgras	52 - 58	34 - 42	85 - 102	146 - 176
	56 - 60	36 - 52	64 - 88	82 - 124

## 6. Klassifizierung der Scannerdaten

Ein für die rechnergestützte Auswertung der Scannerdaten geeignetes Auswerteverfahren ist die Klassifizierung nach dem Maximum-Likelihood-Verfahren (SCHILBACH 1985). Dazu müssen zunächst ausgewählte Etalongebiete, deren objektspezifische Merkmale (z.B. Bewuchs mit bestimmten Kulturpflanzen) bekannt sind, am Farbdisplay mit dem Cursor ausgegrenzt werden. Aus den Digitalwerten der umfahrenen Flächen ("Etalenfile") werden statistische Parameter berechnet ("Parameterfile"), die die Grundlage für die eigentliche Klassifizierung bilden. Durch Modifizierung des Parameterfiles läßt sich der Klassifizierungsprozeß interaktiv beeinflussen. In der geschilderten Weise ist eine getrennte Bearbeitung der vorliegenden FRAGMENT-Aufnahmen 4881 und 4985 möglich. Wurden diese geometrisch in ein einheitliches Bezugssystem transformiert, dann können die für die Belehrung des Klassifikators erforderlichen Cursorwege gemeinsam für beide Aufnahmen genutzt werden.

Für die Klassifizierung der FRAGMENT-Aufnahmen 4881 und 4985 wurden im Untersuchungsgebiet 19 Etalonflächen für insgesamt 10 Objektklassen ausgewählt: Feldgras, Zuckerrüben, Raps, Hafer, Wintergerste, Kartoffeln, Winterweizen, Wald, Siedlung (Stadtgebiet Rostock), Wasser (Unterwarnow).

Prinzipiell lassen sich in die Klassifizierung auch abgeleitete Merkmale, z.B. Texturmerkmale einbeziehen. Im einfachsten Fall kann man dazu einen aus der lokalen Streuung der Digitalwerte abgeleiteten "Varianzkanal" benutzen. Ein solches Vorgehen wird auch durch Erfahrungen bei der visuellen und statistischen Auswertung nahegelegt, wo einzelne Flächen durch eine Sprenkelung auffallen und nur unter Einbeziehung der Streuungen (oder ähnlicher statistischer Maßzahlen) zu trennen sind, nicht aber allein anhand ihrer mittleren Digitalwerte. - Eine andere Möglichkeit der Benutzung abgeleiteter Merkmale bietet die Berechnung von Quotienten zweier oder mehrere Spektralkanäle, insbesondere des sog. Vegetationsindex.

#### 7. Multitemporale Auswertung

Es ist bekannt, daß die phänologische Entwicklung der Pflanzen mit einer Änderung ihres spektralen Remissionsvermögens verbunden ist. Abb.5 zeigt als Beispiel die mit dem Bodenspektrometer des Zentralinstituts für Physik der Erde 1983 in der Potsdam-Brandenburger Havelniederung in der Nähe von Schmergow gemessenen Remissionskurven von Roggen (WEICHELT 1984). Der Meßort befindet sich am Rand einer landwirtschaftlich genutzten trockenen Sandplatte, der Deetzer Platte. Grundwassereinfluß ist dort ab 70 cm Flurabstand nachweisbar.

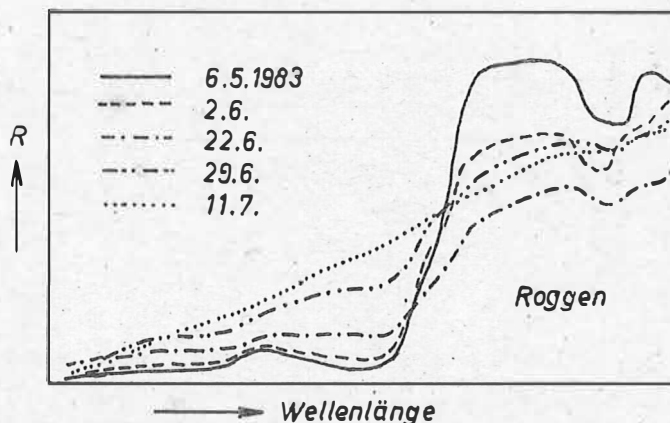


Abb.5: Remissionskurven von Roggen, gemessen 1983 mit dem Bodenspektrometer des Zentralinstituts für Physik der Erde im Testgebiet Schmergow (Potsdam-Brandenburger Havelniederung)

Die Messungen vom 6.5.1983 zeigen das typische Bild der Remissionskurven von lebender grüner Vegetation mit dem "grünen Peak" bei  $0,55 \mu\text{m}$ , dem Minimum im Bereich der Chlorophyll-Absorptionsbande bei  $0,68 \mu\text{m}$  und dem steilen Anstieg zu dem im nahen Infrarot ausgeprägten Plateau. Die Höhe des Plateaus, d.h. die Remission im nahen Infrarot ist von der Biomasse abhängig. Im Lauf der Entwicklung der Pflanzen verlieren die Remissionskurven allmählich die Merkmale der lebenden Vegetation (Messungen vom 2.6., 22.6. und 29.6.1983). Mit einsetzender Reife bilden sich zunächst das Remissionsmaximum bei  $0,56 \mu\text{m}$

und das Minimum bei 0,68  $\mu\text{m}$  zurück. Der steile Anstieg zum IR-Remissionsplateau bleibt dagegen noch länger erhalten. Mit fortschreitendem Reifeprozess nähern sich die Remissionskurven denen des unbegrünten Ackerbodens (Messungen vom 11.7.1983).

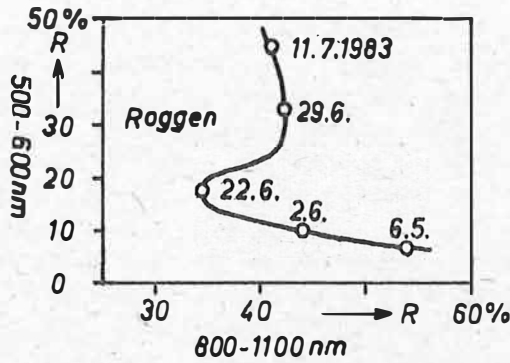


Abb.6: Darstellung der phänologischen Entwicklung im zweidimensionalen Merkmalsraum, bezogen auf die Kanäle K1 und K4 des FRAGMENT-Scanners (abgeleitet aus den Remissionskurven nach Abb.5)

Eine der multispektralen Aufnahmetechnik angepaßte anschauliche Darstellung der mit der pflanzlichen Entwicklung verbundenen Änderung der spektralen Remission erhält man, wenn die Remissionswerte in einem über den Spektralkanälen aufgespannten n-dimensionalen Merkmalsraum eingetragen werden. Für jede Kulturpflanze ergibt sich dann eine charakteristische Phasenbahn. Ein Beispiel dazu, das aus den in Abb.5 dargestellten Remissionskurven für Roggen abgeleitet wurde, zeigt Abb.6. Da die Phasenbahnen der verschiedenen Kulturpflanzen voneinander abweichen, verändern sich im Merkmalsraum im Lauf der pflanzlichen Entwicklung auch die Abstände der Kulturpflanzen untereinander. Ein Beispiel dazu, das aus den beiden ausgewerteten FRAGMENT-Aufnahmen abgeleitet wurde, zeigt Abb.7.

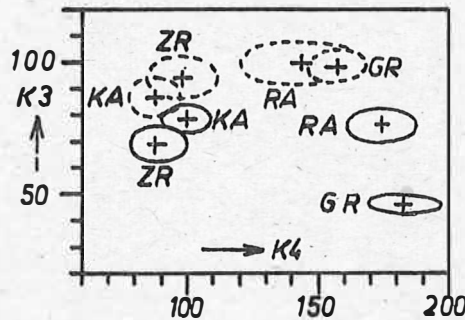


Abb.7: Lage ausgewählter Kulturpflanzen im zweidimensionalen Merkmalsraum (Kanäle K3 und K4 des FRAGMENT-Scanners). Im Gegensatz zu Zuckerrüben (ZR) und Kartoffeln (KA) lassen sich Raps (RA) und Feldgras (GR) in der Aufnahme 4985 vom 20.5.1981 wesentlich besser voneinander trennen als in der Aufnahme 4881 vom 20.5.1981

⊕ = 4881      ⊕ = 4985

Die von der phänologischen Entwicklung abhängigen, je nach Pflanzenart unterschiedlichen Veränderungen der Remissionskurven ermöglichen problemabhängig die Festlegung optimaler Aufnahmetermine (JANVAREVA 1981). Die Veränderungen können außerdem als zusätzliches Merkmal in die Klassifizierung einbezogen werden. Auf diese Weise läßt sich die Trennbarkeit der Kulturpflanzen verbessern.

Voraussetzung für den Erfolg rechnergestützter multitemporaler Auswertungen ist die genaue



Paßfähigkeit der gemeinsam zu bearbeitenden, zu unterschiedlichen Zeitpunkten gewonnenen Aufnahmen (siehe Hinweise in Abschnitt 4.).

Da aus Gründen der Rechenzeit und des verfügbaren Speicherplatzes immer nur eine beschränkte Zahl von Kanälen bearbeitet werden kann, ist auch die Möglichkeit, mehrere Aufnahmen miteinander zu kombinieren, begrenzt. Die Anzahl der in die Untersuchungen einzubeziehenden Aufnahmen läßt sich vergrößern und die Auswahl der Kanäle objektivieren, wenn im Rahmen der Vorverarbeitung auch eine Datenkompression durchgeführt wird (z.B. durch Hauptachsentransformation). Dabei ist jedoch zu beachten, daß die für die Aufgabenstellung wichtigen Detailinformationen nicht verloren gehen.

Tab.6: Gütematrix für die Maximum-Likelihood-Klassifizierung der FRAGMENT-Aufnahmen 4881 und 4985 (6 Kanäle, 19 Etalonflächen, 10 Klassen; Güterwerte in Prozent)

Etalons	!	Klassen										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	!	GR	ZR	RA	HA	WG	KA	WD	WS	SI	WW	
1	GR	3.0	88.1	0.0	0.5	0.0	7.0	0.0	0.5	0.0	0.0	1.0
2	GR	1.4	92.3	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	ZR	0.0	0.0	74.1	0.0	0.5	0.0	25.4	0.0	0.0	0.0	0.0
4	ZR	0.6	0.0	94.2	0.0	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0
5	RA	7.4	0.0	0.0	92.1	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	RA	2.1	0.0	0.0	97.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	HA	0.0	0.0	0.0	0.0	89.6	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4
8	HA	0.0	0.0	6.6	0.0	80.2	1.9	0.0	0.9	0.0	0.0	10.4
9	WG	0.0	1.9	0.0	0.0	1.9	90.7	0.0	2.7	0.0	0.0	2.7
10	WG	2.7	8.4	0.5	0.0	2.2	80.4	0.0	1.1	0.0	0.0	4.6
11	KA	0.0	0.0	34.3	0.0	0.0	0.0	65.7	0.0	0.0	0.0	0.0
12	KA	0.0	0.0	60.0	0.0	5.0	0.0	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	WD	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	9.8	0.0	87.0	0.0	1.1	0.0
14	WD	0.8	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	98.5	0.0	0.0	0.0
15	WS	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	92.6	2.5	0.0
16	WS	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.6	0.0	0.0
17	SI	2.5	0.0	1.8	0.0	0.5	0.0	0.0	0.9	0.0	94.2	0.0
18	WW	0.0	0.0	0.0	0.0	31.9	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	60.6
19	WW	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	12.3	0.0	0.0	0.0	0.0	81.2
Gesamt:		2.0	10.3	10.6	13.5	9.8	17.9	2.4	6.8	6.6	12.4	7.7

GR	-	Feldgras	KA	-	Kartoffeln
ZR	-	Zuckerrüben	WD	-	Wald
RA	-	Raps	WS	-	Wasser (Unterwarnow)
HA	-	Hafer	SI	-	Siedlung (Stadtgebiet Rostock)
WG	-	Wintergerste	WW	-	Winterweizen

Die beiden FRAGMENT-Aufnahmen 4881 und 4985 sind für die Multitemporalauswertung sehr gut geeignet. Zwar beträgt die Zeitdifferenz zwischen ihnen nur 7 Tage, doch verlief in dieser Zeit die phänologische Entwicklung sehr schnell. Besonders eindrucksvoll kommt das beim Raps zum Ausdruck, der zum Zeitpunkt der ersten Aufnahme die ersten Blüten zeigte und eine Woche später, zum Zeitpunkt der zweiten Aufnahme, in voller Blüte stand (Tab.3).

Für die Multitemporalauswertung wurden aus jeder der beiden Aufnahmen die Kanäle K2, K3, K4 ausgewählt und zu einem 6-Kanal-File vereinigt. Da in dem vorgelagerten Schritt der Datenvorverarbeitung beide Aufnahmen miteinander zur Deokung gebracht wurden (durch geometrische Transformation der Aufnahme 4985 in das System der Aufnahme 4881), kann dieser 6-Kanal-File, der in jedem Pixel Informationen beider Aufnahmen enthält, in der gleichen Weise wie jeder gewöhnliche Multispektralfiler, der sich auf nur einen Aufnahmezeitpunkt bezieht, klassifiziert werden (s. Abschn. 6.).

Die erreichbare Klassifizierungsgenauigkeit läßt sich anhand der Gütematrix beurteilen (Tab.6). Die Gütematrix entsteht durch Klassifizierung der ausgewählten Etalondaten und gibt in Prozenten deren vom Klassifizierungsalgorithmus vorgenommene Zuordnung zu den einzelnen Klassen wieder. Zusätzlich wird eine Rückweisungsklasse aufgenommen. Im Idealfall müßte in allen Feldern der Hauptdiagonale der Wert 100 und in allen anderen Feldern und in der Rückweisungsklasse der Wert 0 stehen. Die praktisch erreichten Gütewerte liegen in den meisten Fällen um 90 % oder darüber und in die Rückweisungsklasse fallen insgesamt nur 2 % aller Werte. Man kann daher allgemein von einer sehr guten Trennung der Klassen sprechen. Nicht sicher zu trennen sind in dem zum Zeitpunkt der FRAGMENT-Aufnahmen erreichten Entwicklungsstadium einerseits Zuckerrüben und Kartoffeln, andererseits Winterweizen, Wintergerste und Hafer. Um auch diese Klassen gegeneinander abgrenzen zu können, müßten Aufnahmen in anderen Stadien der phänologischen Entwicklung in die Klassifizierung einbezogen werden. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß die Gütematrix nur einen Anhaltspunkt für die Klassifizierungsgenauigkeit geben kann. Die tatsächliche Klassifizierungsgenauigkeit kann besser oder schlechter sein. Sie hängt wesentlich davon ab, ob die ausgewählten Etalonflächen repräsentativ sind. Das Problem der Trennbarkeit von Zuckerrüben und Kartoffeln spielt z.B. für die LPG Lambrechtshagen und Groß Stove keine Rolle, weil dort auf Sohlagen signifikanter Größe keine Kartoffeln angebaut werden; die Etalondaten für Kartoffeln beziehen sich auf 2 kleinere Schläge in der LPG Kavelstorf.

## 8. Ergebnisse

Kodiert man die Klassifizierungsergebnisse mit Zahlen im Bereich von 0 bis 255, dann lassen sie sich auf einfache Weise mit den Hilfsmitteln der digitalen Bildverarbeitung darstellen. Falls erforderlich, können die Daten mit einem Medianfilter geglättet werden, das im Gegensatz zu anderen Filtern, z.B. Mittelwertfiltern, die zur Kodierung benutzten Zahlen nicht verändert. So entstehen einfache Karten der landwirtschaftlichen Flächennutzung, die die Nutzungsklassen mit verschiedenen Grauwerten wiedergeben. Sie beziehen sich im allgemeinen auf das gesamte von den Fernerkundungsaufnahmen erfaßte, meist rechtwinklig begrenzte Gebiet, das für die Untersuchungen ausgewählt wurde. Mit Hilfe von Masken ist der Übergang zu beliebig begrenzten naturräumlichen oder administrativen Einheiten möglich. Wurden die Fernerkundungsdaten in ein kartographisch orientiertes Bezugssystem transformiert, dann lassen sich die Masken durch Digitalisierung der entsprechenden Karten gewinnen. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die interessierenden Flächen aus den originalen oder den bearbeiteten Fernerkundungsaufnahmen abzuleiten, z.B. durch Darstellung auf einem Display und Umfahren der interessierenden Flächen mit dem Cursor.

In Abb.8 sind als Beispiel für die Auswertung von Aufnahmen des FRAGMENT-Scanners zwei rechen-technisch gewonnene Karten der landwirtschaftlichen Flächennutzung für die LPG Lambrechtshagen und Groß Stove dargestellt. Die zur Separierung der Daten erforderlichen Masken wurden in der oben angedeuteten Weise aus der unbearbeiteten FRAGMENT-Szene abgeleitet. Aus drucktechnischen Gründen wurde auf eine grauwertkodierte Darstellung verzichtet und stattdessen eine Konturdarstellung gewählt. Diese läßt sich aus den grauwertkodierten Klassifizierungsergebnissen durch Konturverfolgung oder durch Berechnung von Grauwertgra-

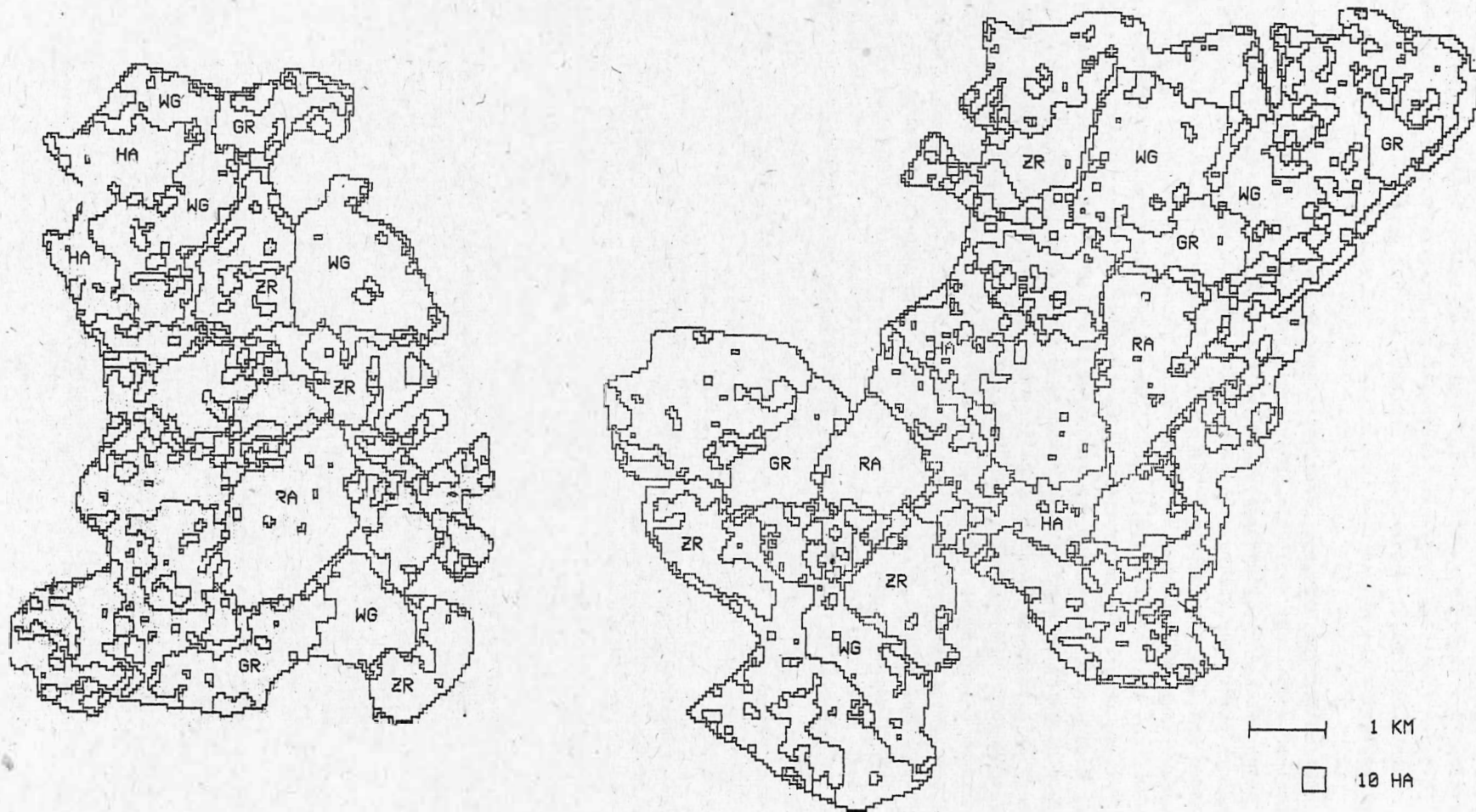


Abb.8: Landwirtschaftliche Flächennutzung in den LPG(P) Lambrechtshagen (links) und Groß Stove (rechts), abgeleitet aus Aufnahmen des FRAGMENT-Scanners.

WG - Wintergerste	RA - Raps
WW - Winterweizen	ZR - Zuckerrüben
HA - Hafer	GR - Feldgras (Grasland)

dienten ableiten. Im vorliegenden Fall wurde der Roberts-Gradient benutzt und das Gradientenbild zusätzlich einer Skelettierung unterworfen, um redundante Linienpunkte zu eliminieren. Die in die Konturdarstellungen eingetragenen Bezeichnungen für die Kulturpflanzen entsprechen den Zahlenkodes der Klassifizierungsergebnisse.

Deutlich zeichnen sich in den Flächennutzungskarten, die aus den FRAGMENT-Aufnahmen abgeleitet wurden, die größeren Schläge mit Flächen von 50 ha oder mehr ab. Daneben treten jedoch trotz der auf die Klassifizierungsergebnisse angewendeten Medianfilterung zahlreiche kleinere Strukturen auf, die schwer zu interpretieren sind und den Karten oder Teilen davon ein unruhiges Gepräge geben. Das trifft besonders für die LPG Lambrechtshagen und den östlichen, von der Warnow begrenzten Teil der LPG Groß Stove zu. Nur ein Teil dieser kleineren Strukturen wird sich durch unterschiedliche Nutzungsverhältnisse oder Anomalien der Vegetation erklären lassen: Beispiele dafür sind die "Inseln" innerhalb des großen Schlages mit Wintergerste im Nordosten der LPG Lambrechtshagen und in dem Schlag mit Zuckerrüben im Südosten der gleichen LPG (an der Grenze zu dem benachbarten Schlag mit Wintergerste), bei denen es sich um die Ortschaften Groß Schwaß und Klein Stove handelt. Ein anderer Teil der Kleinstrukturen ist auf Datenfehler zurückzuführen, z.B. die Störungen in dem großen Schlag mit Zuckerrüben und dem westlich daran angrenzenden Schlag mit Wintergerste im nördlichen Teil der LPG Lambrechtshagen. Als weitere Ursachen kommen ungenügende Paßfähigkeit der beiden in dem 6-Kanal-File zusammengeführten FRAGMENT-Szenen in Betracht und Mischpixel, die an den Rändern von Flächennutzungsstrukturen zu erwarten sind, aber auch an anderen Stellen auftreten können, hervorgerufen durch eingestreute kleine Nutzungsstrukturen oder Vegetationsanomalien im Subpixelbereich.

Ein Vergleich der durch Klassifizierung aus den FRAGMENT-Aufnahmen abgeleiteten Kartendarstellungen mit den für das Untersuchungsgebiet verfügbaren, bei PARLOWSKI, PARLOWSKI 1985 zusammengestellten Angaben aus der Landwirtschaft (Schlagnutzungskarteien, großmaßstäbige Karten) ergibt das folgende Bild: Bei den größeren Schlägen besteht sowohl bezüglich der Geometrie als auch der festgestellten Kulturpflanzen eine gute Übereinstimmung. Alle nach den Angaben aus der Landwirtschaft mit Raps, Zuckerrüben, Feldgras (Knäuelgras, "Grasland"), Wintergerste und Hafer bestandenen größeren Schläge werden auch in den Klassifizierungsergebnissen richtig ausgewiesen. Winterweizen dagegen wird im allgemeinen an den richtigen Stellen erkannt, z.T. aber auch als Wintergerste interpretiert, so daß die Schläge mit Winterweizen in den Klassifizierungsergebnissen nicht als homogene Flächen erscheinen.

Die durch Vergleich mit den Angaben aus der Landwirtschaft feststellbaren Fehlklassifizierungen sind zum größten Teil darauf zurückzuführen, daß der Klassifikator nicht für alle vorkommenden Kulturpflanzen und Flächennutzungsarten belehrt wurde oder die für die Belehrung ausgewählten Etalonflächen nicht repräsentativ sind. Das gilt insbesondere für seltener vorkommende Kulturpflanzen (Sommergetreide, Winterroggen, Luzerne, Mais), Grünland (Wiese) und Siedlungen, die daher anderen Klassen mit ähnlichen spektralen Eigenschaften zugeordnet werden.

Als Etalon für die Klasse "Siedlung" wurde ein Ausschnitt aus dem Stadtgebiet Rostock gewählt. Die ländlichen Siedlungen, die ein anderes Remissionsverhalten aufweisen, selbst aber wegen ihrer geringen Ausdehnung als Etalonflächen ungeeignet sind, werden daher falsch erkannt und in der Mehrzahl der Fälle der Klasse "Hafer" zugeordnet. In die gleiche Klasse fallen aufgrund ähnlicher spektraler Eigenschaften auch die Schläge mit Sommergerste im Norden und im Südwesten der LPG Groß Stove (westlich und östlich von Biestow und südlich Ziesendorf). Die kleineren Schläge mit Winterroggen im westlichen und mittleren Bereich der LPG Groß Stove (nördlich Fahrenholz und Buchholz) werden als Wintergerste in-



terpretiert, Mais und Luzerne in den LPG Lambrechtshagen und Groß Stove (nordwestlich und südöstlich Polohow, östlich Kritzmow) als Zuckerrüben. Wiesen (Grünland) unterscheiden sich in den Klassifizierungsergebnissen deutlich von Feldgras (Knäuelgras, Grasland), werden aber keiner einheitlichen Klasse zugeordnet; ein großer Teil der Wiesen beider LPG fällt in die Klasse "Wintergerste" (z.B. die Wiesen westlich Stäbelow und nördlich Ziesendorf). - Die aus der Diskussion der Flächennutzungskarten sich ergebenden Aussagen zur Trennbarkeit der Klassen stimmen in ihren Grundzügen mit der in Abschnitt 7. vorgenommenen Interpretation der Gütematrix überein.

Nicht alle beim Vergleich mit den Angaben aus der Landwirtschaft festgestellten Differenzen sind auf Fehlinterpretationen der FRAGMENT-Aufnahmen zurückzuführen, sie können sich auch aus Fehlern in den zum Vergleich benutzten Angaben ergeben. So wird z.B. in der LPG Lambrechtshagen nordöstlich Wilsen eine Anbaufläche mit Mais angegeben, die in dem Klassifizierungsergebnis eindeutig als Raps erkannt wird. Wegen der hohen Klassifizierungsgüte von Raps ist ein Irrtum mit großer Sicherheit auszuschließen. Als zweites Beispiel sei in der gleichen LPG südlich der Siedlung Satower Straße auf eine Fläche hingewiesen, bei der es sich um Grasland (Feldgras) handeln soll. Da dieses an anderen Stellen sehr sicher erkannt wird, das Klassifizierungsergebnis an der fraglichen Stelle aber eine heterogene Fläche mit vorwiegend Wintergerste und nur geringen Anteilen Grasland ausweist, ist mit großer Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß es sich tatsächlich um eine Wiese (Grünland) handelt.

Eine andere Möglichkeit, die Klassifizierungsergebnisse darzustellen, ist die Tabellenform. Da die Ergebnisse getrennt für die einzelnen LPG vorliegen und bekannt ist, daß (nach der geometrischen Transformation) jedes Pixel eine Fläche von 0,25 ha repräsentiert, lassen sich durch Berechnung der Histogramme direkt die Flächenanteile der in die Klassifizierung einbezogenen Kulturpflanzen und Nutzungsformen für jede LPG bestimmen. Das Ergebnis einer solchen Bearbeitung ist in Tab.7 dargestellt. Zum Vergleich sind der FRAGMENT-Auswertung die entsprechenden Flächenanteile nach Angaben aus der Landwirtschaft gegenübergestellt, abgeleitet aus der für das Frühjahr 1981 zusammengestellten Karte der landwirtschaftlichen Flächennutzung (PARLOWSKI, PARLOWSKI 1985).

Tab.7 zeigt zunächst, daß verhältnismäßig wenig vergleichbare Angaben vorliegen. Um eine subjektive Beeinflussung soweit möglich auszuschließen, wurde auf eine Zusammenfassung einzelner Arten von Kulturpflanzen zu Gruppen verzichtet. Aufgrund des Vergleichs mit den Angaben aus der Landwirtschaft sind die aus der Auswertung der FRAGMENT-Daten erhaltenen Ergebnisse für Raps und Feldgras als sehr gut zu bewerten. Die Übereinstimmung bei Winterweizen dürfte dagegen zufällig sein. Bei Zuckerrüben ergibt die FRAGMENT-Auswertung zu große Flächenanteile, wobei die Differenz für die LPG Lambrechtshagen gering und für die LPG Groß Stove deutlich ist. Als Ursache dafür kommt mindestens z.T. die bereits bei der Diskussion der Flächennutzungskarte festgestellte Zuweisung von Flächen mit Mais und Luzerne in die Klasse "Zuckerrüben" in Betracht. Erwartungsgemäß werden bei der Klassifizierung erheblich zu große Nutzflächen als Hafer und Wintergerste ausgewiesen. In beiden Fällen handelt es sich um Sammelklassen für verschiedene Kulturpflanzen (vorwiegend Getreide) und andere Arten der Flächennutzung (z.B. Siedlung). Wegen der Ähnlichkeit der spektralen Merkmale wird eine bloße Erhöhung der Anzahl der bei der Klassifizierung berücksichtigten Klassen zu keiner wesentlichen Verbesserung der Ergebnisse führen. Abhilfe könnten nur weitere Aufnahmen in anderen, günstig gewählten Stadien der phänologischen Entwicklung schaffen, die aber für das hier betrachtete Beispiel nicht zur Verfügung stehen. Dabei würde sich auch das Problem der ländlichen Siedlungen lösen, die in den Klassifizierungsergebnissen bisher erheblich unterrepräsentiert sind.



Tab.7: Landwirtschaftliche Flächennutzung in den LPG(P) Lambrechtshagen und Groß Stove. Gegenüberstellung von Angaben aus der Landwirtschaft ("Bodendaten") und Ergebnissen der Klassifizierung von Aufnahmen des FRAGMENT-Scanners.

	! Lambrechtshagen		! Groß Stove		! Bewertung
	! Bodendaten	! FRAGMENT	! Bodendaten	! FRAGMENT	
Wintergerste	! 700 ha	1220 ha	! 820 ha	1850 ha	! *
Winterweizen	! 250	250	! 670	610	! **
Winterroggen	!		! 240		!
Sommergerste	! 90		! 290		!
Sommerweizen	!		! 80		!
Sommerroggen	!		! 60		!
Hafer	! 430	650	! 430	1350	! *
Mais	! 250		! 120		!
Raps	! 360	360	! 470	450	! ***
Kartoffeln	!	70	!	5	!
Zuckerrüben	! 530	570	! 610	820	! **
Klee	!		! 110		!
Luzerne	! 70		! 70		!
Leguminosen	!		! 70		!
Wiese (Grünland)	! 370		! 520		! *
Feldgras (Grasland)	! 500	420	! 420	430	! ***
LN gesamt:	! 3550	3540	! 4980	5515	!
Siedlung	!	10	!	20	!
Wald	!	100	!	380	!
Wasser	!	-	!	3	!

### 9. Zusammenfassung, Schlußfolgerungen

Die auf der Grundlage von Aufnahmen des FRAGMENT-Scanners vorgenommene rechnergestützte Interpretation landwirtschaftlicher Flächennutzungsstrukturen zeigt, daß trotz des für diesen Zweck verhältnismäßig geringen Auflösungsvermögens (Pixelgröße  $88,4 \times 82,3 \text{ m}^2 = 0,73 \text{ ha}$ ) Schläge mit einer Mindestgröße von etwa 50 Hektar in den Fernerkundungsdaten klar zu erkennen sind. Entsprechend dem Multitemporalkonzept lassen sich durch Auswertung von Aufnahmen, die zu verschiedenen Zeitpunkten gewonnen wurden, einzelne Arten von Kulturpflanzen sicher ansprechen. Voraussetzung dafür ist, daß alle Bildstörungen sorgfältig eliminiert und die in die Auswertung einbezogenen Aufnahmen genau zueinander justiert wurden.

Ein zum automatischen Erkennen von Flächennutzungsstrukturen geeignetes Auswerteverfahren ist die Klassifizierung nach dem Maximum-Likelihood-Prinzip. Dazu ist eine Belehrung anhand von Etalonflächen mit bekanntem Pflanzenbestand erforderlich. Im vorliegenden Beispiel ergab die Klassifizierung beim Vergleich mit Angaben aus der Landwirtschaft gute Ergebnisse für Raps und Feldgras (Knäuelgras). Um auch andere Kulturpflanzen, insbesondere die verschiedenen Getreidearten sicher unterscheiden zu können, müßten weitere Aufnahmen in die Auswertung einbezogen werden.

Die Klassifizierungsergebnisse lassen sich in Gestalt einfacher Flächennutzungskarten oder als Tabellen mit den Anteilen der einzelnen Kulturpflanzen und Nutzungsformen darstellen. Die regelmäßige Bereitstellung von Daten operativer Fernerkundungssysteme höherer Auflösung (Pixelgröße 30 x 30 m<sup>2</sup> oder 20 x 20 m<sup>2</sup>) und mit gleichen oder besseren spektralen Eigenschaften wird die Zuverlässigkeit der Ergebnisse erhöhen und auf diese Weise dazu beitragen, daß die bisher vorwiegend methodischen Untersuchungen zur Nutzung kosmischer Fernerkundungsdaten in der Landwirtschaft in zunehmendem Maße auch Eingang in die Praxis finden.

## 9. Literatur

- (1) Avanesov, G.A., u.a.:  
Mnogozonal'naja skanirujuščaja sistema "FRAGMENT"  
Issledovanie Zemli iz Kosmosa, Moskva (1981)5, S.45-56, 7 Lit.
- (2) Barsch, H.; Wirth, H.:  
Landnutzungskartierung im Tiefland der DDR auf der Grundlage von Satellitendaten  
Vermessungstechnik, Berlin (1984)7, S.222-229
- (3) Bonau, U.; Herrmann, H.:  
Landnutzungsinterpretation aus Satellitendaten  
Wiss.Z.Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Naturwiss.Reihe, 34(1985)4, S.79-81
- (4) Dörfel, H.-J.:  
Phänologische Aspekte bei der Fernerkundung von Vegetationsflächen  
In: Proc.Int.Symp.Remote Sensing, Freiburg i.Br., 1978, Bd.3, S.1611-1624
- (5) Donner, R.:  
Untersuchungen zur Herstellung von Bildmosaiks mit digitalen Methoden  
Diplomarbeit, TU Dresden, Sektion Geodäsie und Kartographie, 1985
- (6) Duvinage, P.; Noweski, S.:  
Zur Widerspiegelung der Flächennutzungsstruktur im Havelgebiet zwischen Potsdam und Brandenburg in multispektralen Satellitenaufnahmen aus Kosmosatelliten  
Diplomarbeit, Pädagogische Hochschule "Karl Liebknecht", Potsdam, 1981
- (7) Janvareva, L.F.:  
Izučenie i kartografirovanie sel'skochozjajstvennogo izpol'zovanija zemel' po kosmičeskim snimkam  
Issledovanie Zemli iz Kosmosa, Moskva (1981)5, S.103-110, 2 Lit
- (8) Noweski, S.:  
Möglichkeiten der multitemporalen Auswertung von kosmischen Fernerkundungsdaten zur Erfassung und Darstellung von Flächennutzungsstrukturen unter besonderer Berücksichtigung einer interaktiven Interpretationsmethode  
Dissertation A, Pädagogische Hochschule "Karl Liebknecht", Potsdam, 1984, 119 S.
- (9) Parlowski, H.; Parlowski, S.:  
Untersuchungen zur Aussagemöglichkeit von Aufnahmen des Scanners "FRAGMENT" für die Landwirtschaft, dargestellt an Beispielen aus dem Raum Rostock  
Diplomarbeit, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion, 1985, 145 S., 56 Lit.
- (10) Sohilbach, G.:  
Untersuchungen zur rechnergestützten Dechiffrierung von Daten der Fernerkundung der Erde  
Diss.A, AdW DDR, Zentralinstitut für Physik der Erde, Potsdam, 1985, 159 S.
- (11) Sohilbach, G.:  
Erfahrungen bei der rechnergestützten Analyse von Fernerkundungsdaten  
Vermessungstechnik, Berlin (1985)7, S.221-225, 8 Lit.
- (12) Trifonov, Ju.V.:  
Kompleks techničeskich sredstv eksperimenta po distancionnomu zondirovaniju zemli iz kosmosa  
Issledovanie Zemli iz Kosmosa, Moskva (1981)5, S.21-27
- (13) Weichelt, H.:  
Beiträge zur in situ-Messung von Spektralcharakteristiken natürlicher Objekte  
Diss.A, AdW DDR, Zentralinst.für Physik der Erde, Potsdam, 1984, 153 S., 78 Lit.



