

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 I



Neubrandenburg, 16.–19. Juni 1986

**Beiträge zur Konferenz**

Herausgeber: Der Direktor des Zentralinstituts für Physik der Erde Potsdam

---

Als Manuskript gedruckt

Potsdam 1987

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
<b>Teil I</b>	
Vorwort	11
KAUTZLEBEN, H.: Zur Eröffnung der 4. Fernerkundungskonferenz	12
JÄHN, S.: Über den Mißbrauch der Weltraumforschung durch Militarisierung des Alls	15
MAREK, K.-H.: Die Geofernerkundung als Bestandteil moderner geowissenschaftlicher Informationsprozesse	18
MÜLLER, Kh.: 10 Jahre Carl-Zeiss-Fernerkundungstechnik im Einsatz	27
MÜLLER, R.: Aktuelle Fragen der völkerrechtlichen Regelung der Erdfernerkundung	32
 <u>ANWENDUNGEN IN DER GEOLOGIE UND BODENKARTIERUNG</u>	
HARFF, J.; BANKWITZ, E.; BANKWITZ, P.: Untersuchung der Beziehungen zwischen geologisch-geophysikalischen Merkmalsfeldern und Fotolineationen für die Strukturanalyse der oberen Erdkruste	39
KVITKOVIČ, J.; FERANEC, J.: Lineare und nichtlineare Scheidelinien der Westkarpaten, identifiziert mittels kosmischer Aufnahmen	49
BERNDT, P.; UGLEV, J.V.: Einige Aspekte der optoanalogen Bildbearbeitung für die geologische Forschung	56
WEISE, K.: Großmaßstäbige Bodenkartierung unter Nutzung von Fernerkundungsdaten	65
SCHRÖDER, H.: Multispektralanalytische Quantifizierung kartierbarer Bodenmerkmale nordwestlich von Halle (Saale)	72
KÜHN, F.; HÖRIG, B.; ULBRICHT, G.: Ein Beitrag zu Ergebnissen und Erfahrungen der wissenschaftlichen Zusammenarbeit zur Spektrometrie mit dem Bulgarischen Institut für Geophysikalische Untersuchungen und geologische Kartierung, Sofia	85
 <u>ANWENDUNGEN IN DER KARTOGRAPHIE</u>	
BUCHROITHNER, M.: Computergestützte Verwertung von Weltraumphotographien	90
BÄHR, H.-P.: Landnutzungskartierung von Satelliten aus - ein Beispiel für friedliche Nutzung der Weltraumtechnologie	99
BEHRENS, J.: Die Grundlagenkarte Landwirtschaft 1: 10 000, 1:25 000 und 1:50 000 - eine neue Kartierungsbasis für Fernerkundungsinformationen in der Pflanzenproduktion der DDR	112
DONNER, R.; HARNISCH, G.: Untersuchungen zur Herstellung digitaler Bildmosaike	117
WOLODSCHENKO, A.: Zur Integration von kartographischen und aerokosmischen Forschungsmethoden	121
 <u>ANWENDUNGEN IN DER LANDWIRTSCHAFT</u>	
KUGLER, H.; GASSERT, R. <sup>1)</sup> : Inventur geökologischer Funktionselemente der Agrarlandschaft mittels Luftbildinterpretation	129
BARSCHE, H.; SÖLLNER, R.; WEICHELT, H.: Erfassung von Komponenten der Ertragsbildung auf der Grundlage spektraler Signaturen - Ergebnisse des INTERKOSMOS-Experiments "Kursk 85"	136
KADEN, K.: Zur Kennzeichnung der Vegetationsentwicklung aus der multitemporalen Dechiffrierung kosmischer Aufnahmen	152

<sup>1)</sup> unter Mitwirkung von H. Waldenburger und A. Sohrer

	<u>Seite</u>
TÓTH, K.: Einsatz von Fernerkundungsdaten für landwirtschaftliche Aufgabenstellungen	164
GEBHARDT, A.: Einsatz der Thermographie für Probleme der Pflanzenproduktion	168
 <u>ANWENDUNGEN IN DER OZEANOLOGIE, ATMOSPHÄRENFORSCHUNG UND UMWELTÜBERWACHUNG</u>	
BROSIN, H.-J.; GOHS, L.; SCHENKEL, G.; SEIFERT, T.; SIEGEL, H.: Untersuchungen über räumliche Inhomogenitäten in der Wassertemperatur und in Wasserinhaltsstoffen in der östlichen Ostsee auf der Grundlage von Schiffs- und Satellitenbeobachtungen	173
SIEGEL, H.: Über die Möglichkeiten der Aufstellung von Algorithmen zur Chlorophyllbestimmung aus spektralen Remissionskoeffizienten in der Ostsee	178
GOHS, L.: Möglichkeiten zur Gewinnung von Informationen über die Wasseroberfläche mit dem Mikrodensitometer	187
VAJEN, H.-H.: Temperatureichung von IR-Wetterbildern	193
SPÄNKUCH, D.; VOGEL, G.; DÖHLER, W.; HAUS, R.: Vergleich exakt berechneter atmosphärischer Transmissionsfunktionen gasförmiger Absorber mit LOWTRAN-5	198
KLIM, A.: Eine Näherungsmethode zur Transmissionsberechnung in der Erdatmosphäre	202
WELZER, W.: Verfahren zur Erfassung von Immissionswirkungen mit Methoden der Fernerkundung	208

## Teil II

<u>ANWENDUNGEN IN DER PLANETEN- UND KOMETENFORSCHUNG</u>	
WÄSCH, R.: Planeten- und Kometenforschung mit Methoden der Fernerkundung	216
BANKWITZ, P.; BANKWITZ, E.; WÄSCH, R.: Geologische Interpretation von Teilgebieten der Venus auf der Grundlage sowjetischer Radar-Aufnahmen	222
DANZ, M.; ELTER, G.; MANGOLDT, T.; MÖHLMANN, D.; RUBBERT, B.; WEIDLICH, U.: Ergebnisse der VEGA-Bildbearbeitung	236
WAGNER, C.: IR-Sondierung der Oberflächen atmosphäreloser planetarer Objekte	245
DUBOIS, R.; SPÄNKUCH, D.; SCHÄFER, K.; DÖHLER, W.; GÜLDNER, J.: Indirekte thermische Sondierung der mittleren Venusatmosphäre mit dem IR-Fourierspektrometer auf Venera-15	258
 <u>MERKMALSEXTRAKTION UND PHYSIKALISCH-MATHEMATISCHE GRUNDLAGEN</u>	
WIRTH, H.: Prinzipien der Bildung und die Bedeutung abgeleiteter Merkmale für die Auswertung von Multispektralaufnahmen	270
SÖLLNER, R.; SCHMIDT, K.; PRENA, M.: Zur Ableitung von Merkmalen aus Powerspektren für die Textur- und Strukturerkennung von natürlichen und künstlichen Objekten	276
WIRTH, H.; SCHILBACH, G.; WIRTH, A.: Beitrag zur Analyse von Fernerkundungsdaten im Sub-Pixel-Bereich	282
OPPITZ, K.: Zur rechnerinternen Modellierung dreidimensionaler Körper	289
HERR, W.; WEICHELT, H.: Die Vorverarbeitung multispektraler Radiometerdaten	296
LEITERER, U.; WELLER, M.: Spektralfotometer BA8-M mit Mikrorechner	307

DIGITALE ANALYSE VON BILDDATEN

GESCHKE, A.; SCHLOSSER, A.: Fernerkundungssoftware AMBA/R-RS	314
VAJEN, H.-H.; PANNOWITSCH, H.-J.: Geometrische Vorverarbeitung von Bilddaten polumlaufender Satelliten in Real-Time	319
GRUNDMANN, H.-J.: Ein Datenbasissystem für Bilddaten	323
LIECKFELDT, P.; MISSLING, K.-D.; NEUMANN, B.: Zugriffsoptimierte Abspeicherung großer Bilddatenmassive auf Plattenspeichern	325
GESCHKE, A.: Klassifikationsergebnisse mit dem Bildverarbeitungssystem (BVS) robotron A6470	330
STOYE, H.; USBECK, B.: Rechnergestützte Dechiffrierung der Nutzflächenstruktur in Siedlungen mit digitalisierten MS-Luftbildern	337
MEISTER, P.: Bildverarbeitung mit dem BVS A6470 und Möglichkeiten einer On-Line-Bildverarbeitung	344
SCHILDWACH, B.: Mikrorechnergestützte Lösungen in der Vorverarbeitung von Daten flächenhafter Abbildungen	349

SYSTEME FÜR DEN OPERATIVEN EMPFANG VON SATELLITENDATEN

TISČENKO, A. P.: Das Territorialprinzip bei Empfang und operativer Analyse kosmischer Fernerkundungsdaten	357
BETTAC, H.-D.; KLÄHN, D.; LANDROCK, R.; SCHWARZ, J.; SKOTTKE, H.-J.: Die modulare Wetterbild-Empfangsstation WES 3	363
SCHWARZ, J.; KLÄHN, D.: Antennen- und Mikrowellenbaugruppen für den Empfang meteorologischer Satelliten	374
SCHWARZ, J.; VOGEL, G.; SKOTTKE, H.-J.: Aufbau und Wirkungsweise eines mikrorechnergestützten Antennennachführsystems für den Empfang meteorologischer Satelliten	379
LANDROCK, B.; PAASCH, E.; STANKE, D.: Empfänger für analoge und digitale Daten meteorologischer Satelliten	383
ARNOLD, H.-P.; GUDER, H.-G.; LIECKFELDT, P.; REIMER, R.; WOLF, H.-J.: Magnetband-orientiertes System zur Erfassung digitaler Satellitendaten bis 1 Mbit/s	387
GÜNTHER, A.: Echtzeitvisualisierung von Wetterbildern	391

Nachtrag

HARNISCH, G.; HERRMANN, H.; PARLOWSKI, H.; PARLOWSKI, S.: Kleinräumige landwirtschaftliche Flächennutzungsstrukturen in Aufnahmen des FRAGMENT-Scanners	I
---	---

C o n t e n t s

## Part I

	<u>Seite</u>
Introduction	11
KAUTZLEBEN, H.: Opening speech of the conference	12
JÄHN, S.: The misuse of space research by militarization the outer space	15
MAREK, K.-H.: Remote sensing of the Earth as part of modern information processes in geosciences	18
MÜLLER, Kh.: 10 years of application of Carl-Zeiss JENA remote sensing equipment	27
MÜLLER, R.: Aspects of regulations in international law for remote sensing of the Earth	32
 <u>APPLICATIONS IN GEOLOGY AND SOIL MAPPING</u>	
HARFF, J.; BANKWITZ, E.; BANKWITZ, P.: Investigation of relations between geologic-geophysical feature fields and photolineations for a structural analysis of the upper crust of the Earth	39
KVITKOVIČ, J.; FERANEC, J.: Linear and non-linear structures of the Western Carpathian Mts., identified from spaceborne images	49
BERNDT, P.; UGLEV, J.V.: Some aspects of opto-electronic image processing for geological research	56
WEISE, K.: Large-scale soil mapping using remote sensing data	65
SCHRÖDER, H.: Multispectral analytic quantification of soil features qualified for mapping in the northwest of the town Halle (GDR)	72
KÜHN, F.; HÖRIG, B.; ULBRICHT, G.: Results and experiences of scientific cooperation in the field of spectrometry with the Institute for Geophysical Investigations and Geological Mapping in Sofia (Bulgaria)	85
 <u>APPLICATIONS IN CARTOGRAPHY</u>	
BUCHROITHNER, M.: Computer-aided utilization of space photographs	90
BÄHR, H.-P.: Land use mapping from space - an example for peaceful application of space technology	99
BEHRENS, J.: The Agricultural Basic Map (GKL) in the 1:10 000, 1: 25 000 and 1:50 000 scales - the new foundation for mapping of remote sensing information for agricultural plant production in the GDR	112
DONNER, R.; HARNISCH, G.: Investigations of digital mosaicing	117
WOLODSCHENKO, A.: Aspects of the integration of cartographic and aerospace investigation methods	121
 <u>APPLICATIONS IN AGRICULTURE</u>	
KUGLER, H.; GASSERT, R. <sup>1)</sup> : Inventory of geocological functional elements of agrarian landscapes by interpretation of aerial photographs	129
BARSCHE, H.; SÖLLNER, R.; WEICHELT, H.: Registration of components of plant development based on spectral features - results of the INTERCOSMOS-experiment "Kursk 85 "	136
KADEN, K.: Characterization of the development of vegetation by means of multi-temporal space imagery	152

<sup>1)</sup> under assistance of H. WALDENBURGER and A. SCHÜRER

TÓTH, K.: Application of remote sensing data for agricultural purposes	164
GEBHARDT, A.: Application of thermography for the solution of plant production problems	168

#### APPLICATIONS IN OCEANOLOGY, RESEARCH OF THE ATMOSPHERE AND ENVIRONMENTAL MONITORING

BROSIN, H.-J.; GOHS, L.; SCHENKEL, G.; SEIFERT, T.; SIEGEL, H.: Investigation of spatial inhomogeneties of water temperature and suspended matter in the eastern Baltic Sea based on observations from satellites and ships	173
SIEGEL, H.: Possibilities of the derivation of algorithms for the determination of chlorophyll from reflectance coefficients in the Baltic Sea	178
GOHS, L.: Possibilities of the acquisition of information about the water surface by microdensitometer measurements	187
VAJEN, H.-H.: Thermal calibration of IR meteorological images	193
SPÄNKUCH, D.; VOGEL, G.; DÖHLER, W.; HAUS, R.: Comparison of exactly calculated atmospheric transmittance functions of gaseous absorbers using LOWTRAN-5	198
KLIM, A.: An approximation method for calculation of transmittance in the Earth's atmosphere	202
WELZER, W.: Procedures for the registration of immission effects by means of remote sensing methods	208

#### Part II

#### APPLICATIONS IN RESEARCH OF PLANETS AND COMETS

WÄSCH, R.: Planetary and cometary research by means of remote sensing methods	216
BANKWITZ, P.; BANKWITZ, E.; WÄSCH, R.: Geological interpretation of a segment of the Venus surface by Soviet VENERA-15 and -16 radar images	222
DANZ, M.; ELTER, G.; MANGOLDT, T.; MÖHLMANN, D.; RUBBERT, B.; WEIDLICH, U.: Results of VEGA-imagery picture processing	236
WAGNER, C.: IR-sounding of surfaces of planetary objects without an atmosphere	245
DUBOIS, R.; SPÄNKUCH, D.; SCHÄFER, K.; DÖHLER, W.; GÜLDNER, J.: Indirect thermal sounding of the mid-regions of the Venusian atmosphere by the IR-Fourier spectrometer aboard VENERA-15	258

#### FEATURE EXTRACTION AND PHYSICAL-MATHEMATICAL FUNDAMENTALS

WIRTH, H.: Principles of formation and importance of derived signatures for the interpretation of multiband images	270
SÖLLNER, R.; SCHMIDT, K.; PRENA, M.: On the derivation of signatures from power spectra to recognize textures and structures of natural and artificial objects	276
WIRTH, H.; SCHILBACH, G.; WIRTH, A.: Contribution to the analysis of remote sensing data in the sub-pixel range	282
OPPITZ, K.: Computer-represented modelling of three-dimensional objects	289
HERR, W.; WEICHELT, H.: Preprocessing of multispectral radiometric data	296
LEITERER, U.; WELLER, M.: Spectral photometer BAS-M with microcomputer	307

DIGITAL ANALYSIS OF REMOTE SENSING IMAGERY

GESCHKE, A.; SCHLOSSER, A.: Remote sensing computer software AMBA/R-RS	314
VAJEN, H.-H.; PANNOWITSCH, H.-J.: Geometrical preprocessing of data from polar-orbiting satellites in real-time mode	319
GRUNDMANN, H.-J.: A database system for image data	323
LIECKFELDT, P.; MISSLING, K.-D.; NEUMANN, B.: Storage of mass data by magnetic discs for minimization of the access time	325
GESCHKE, A.: Classification results obtained by the image processing system (BVS) robotron A 4670	330
STOYE, H.; USEBECK, B.: Computer-aided decoding of land use structures in settlements by means of digitized airborne MS-images	337
MEISTER, P.: Image processing by BVS A 6470 and possibilities for on-line processing	344
SCHILDWACH, B.: Microcomputer-aided preprocessing of image data obtained by opto-electronic sensors	349

RECEIVING SYSTEMS FOR SATELLITE DATA

TISCHENKO, A.-P.: The territorial principle in reception and operative analysis of satellite remote sensing data	357
BETTAC, H.-D.; KLÄHN, D.; LANDROCK, R.; SCHWARZ, J.; SKOTTKE, H.-J.: The modular receiving station WES-3 for reception of meteorological images	363
SCHWARZ, J.; KLÄHN, D.: Microwave and antenna assemblies for the reception of meteorological satellite data	374
SCHWARZ, J.; VOGEL, G.; SKOTTKE, H.-J.: Structure and operation mode of a microcomputer-aided antenna autotrack system for the receiving of meteorological satellite data	379
LANDROCK, B.; PAASCH, E.; STANKE, D.: Receiver for analogous and digital meteorological satellite data	383
ARNOLD, H.-P.; GUDER, H.-G.; LIECKFELDT, P.; REIMER, R.; WOLF, H.-J.: Registration of digital satellite data up to 1 Mbit/s based on a magnetic tape system	387
GÜNTHER, A.: Real-time visualization of meteorological satellite data	391

Addenda

HARNISCH, G.; HERRMANN, H.; PARLOWSKI, H.; PARLOWSKI, S.: Interpretation of detailed agricultural land use structures based on imagery of the multispectral scanner FRAGMENT	I
--	---

	<u>стр</u>
<b>Часть I</b>	
Предисловие	II
КАУЦШЛЕБЕН Х.: Вступительное слово к открытию конференции	12
ЙЕН Э.: Милитаризация космоса - злоупотребление космическим исследованием	15
МАРЕК К.-Х.: Дистанционное зондирование - составная часть современных информационных процессов в науках о Земле	18
МОЛЛЕР К.: 10 лет использования техники предприятия Карл Цейсс Йена для дистанционного зондирования	27
МОЛЛЕР Р.: Актуальные вопросы международного права по дистанционному зондированию Земли	32
 <u>ПРИМЕНЕНИЕ В ГЕОЛОГИИ И КАРТОГРАФИРОВАНИИ ПОЧВ</u>	
ХАРФ Я., БАНКВИТЦ П., БАНКВИТЦ Э.: Исследование отношений между геолого-геофизическими полями признаков и фотолинеаментами для анализа структуры верхней коры Земли	39
КВИТКОВИЧ Ё., ФЕРЕНЦ Я.: Линейные и нелинейные структуры Западных Карпат, отдешифрованные по космическим снимкам	49
БЕРНДТ П., УТЛЕВ Ю.В.: Некоторые аспекты оптико-аналоговой обработки видеоизображений для целей геологических исследований	56
ВЕЙСЕ К.: Крупномасштабное картографирование почв по данным дистанционного зондирования Земли	65
ШРЕДЕР Х.: Количественное аналитическое определение признаков почв по многозональным данным для картографических целей в районе северо-западнее г.Галле	72
КОН Ф., ХЕРИГ Б., УЛЬБРИХТ Г.: Результаты и опыт научного сотрудничества в области спектрометрии с Институтом геофизических исследований и геологического картографирования в г. Софии (Болгария)	85
 <u>ПРИМЕНЕНИЕ В КАРТОГРАФИИ</u>	
БУХРОЙТНЕР М.: Автоматизированная обработка и использование космических фотоснимков	90
БЭР Х.-П.: Космическое картографирование землепользования - пример мирного использования космической технологии	99
БЕРЕНС Ю.: Базисная сельскохозяйственная карта в масштабах 1:10 000, 1:25 000 и 1:50 000 - новая основа для картографирования данных дистанционного зондирования в растениеводстве ГДР	112
ДОННЕР Р., ХАРНИШ Г.: Исследования по созданию цифровых мозаичных снимков	117
ВОЛОДЧЕНКО А.: Вопросы интеграции картографических и аэрокосмических методов исследования	121
 <u>ПРИМЕНЕНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ</u>	
I)	
КУТЛЕР Х., ГАССЕРТ Р.: Инвентаризация геоэкологических функциональных элементов аграрного ландшафта по аэроснимкам	129
БАРИШ Х., ЗЕЛЛНЕР Р., ВЕЙХЕЛЬТ Х.: Определение компонентов урожайности по спектральным признакам - результаты эксперимента Интеркосмоса "Курск-85"	136

I) при участии Вальденбургера Х. и Шюрера А.

КАДЕН К.: Характеристика развития растительности с помощью дешифрирования разновременных космических снимков	152
ТОТ К.: Использование данных дистанционного зондирования Земли для сельскохозяйственных целей	164
ГЕБХАРД А.: Применение методов термографии для решения проблем в растениеводстве	168

#### ПРИМЕНЕНИЕ В ОКЕАНОЛОГИИ, ИССЛЕДОВАНИИ АТМОСФЕРЫ И ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

БРОЗИН Х., ГОС Л., ШЕНКЕЛЬ Г., ЗЕЙФЕРТ Т., ЗИГЕЛЬ Х.: Исследование пространственных неоднородностей температуры воды и взвешенных материалов в восточных районах Балтийского моря на основе морских спутниковых наблюдений	173
ЗИГЕЛЬ Х.: Возможности создания алгоритмов для определения концентрации хлорофилла по спектральным коэффициентам отражения в Балтийском море	178
ГОС Л.: Возможности получения информации о поверхности воды с помощью микродензитометра	187
ВАЙЕН Х.-Х.: Калибровка изображений метеорологических спутников в инфракрасном диапазоне спектра	193
ШПЭНКУХ Д., ФОГЕЛЬ Г., ДЁЛЕР В., ХАУС Р.: Сравнение точно вычисленных атмосферных функций пропускания для газообразных поглотителей с помощью программы ЛОВТРАН-5	198
КЛИМ А.: Метод приближенного расчёта для пропускания в атмосфере Земли	202
ВЕЛЬЦЕР В.: Способ для регистрации иммиссионных явлений на основе методов дистанционного зондирования Земли	208

#### Часть II

#### ПРИМЕНЕНИЕ В ИССЛЕДОВАНИИ ПЛАНЕТ И КОМЕТ

ВЭШ Р.: Исследования планет и комет методами дистанционного зондирования	216
БАНКВИТЦ П., БАНКВИТЦ Э., ВЭШ Р.: Геологическая интерпретация фрагмента поверхности Венеры по радиолокационным снимкам советских станций Венера I5 и I6	222
ДАНЦ М., ЭЛЬТЕР Г., МАНГОЛЬД Т., МЁЛЬМАНИ Д., РУБЕРТ Б., ВЕЙДЛИХ У.: Результаты обработки изображений, полученных с КА ВЕГА-2	236
ВАГНЕР К.: Инфракрасное зондирование поверхности планетных объектов без атмосферы	245
ДУБОА Р., ШПЭНКУХ Д., ШЕФЕР К., ДЁЛЕР В., ГЮЛЬДНЕР Ю.: Косвенное термическое зондирование средней атмосферы Венеры при помощи инфракрасного Фурье спектрометра на "Венере-I5"	258

#### ВЫБОР ПРИЗНАКОВ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

ВИРТ Х.: Принципы образования и значение производных признаков при анализе мезозональных снимков	270
ЗЁЛДНЕР Р., ШМИДТ К., ПРЕНА М.: Вывод признаков для распознавания текстур и структур природных и искусственных объектов по спектрам мощности	276
ВИРТ Х., ШИЛЬБАХ Г., ВИРТ А': Об анализе данных дистанционного зондирования в области смешанных пикселей	282
ОПШИЦ К.: Моделирование трехмерных объектов на ЭВМ	289

	<u>СТР</u>
ГЕРР В., ВЕЙХЕЛЬТ Х.: Предварительная обработка многозональных радиометрических данных	296
ЛЕЙТЕРЕР У., ВЕЛЛЕР М.: Спектральный фотометр БАС-М с микро-ЭВМ	307

#### ЦИФРОВОЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ СНИМКА

ГЕШКЕ А., ШЛОССЕР А.: Программное обеспечение АМБА/Р-РС для дистанционного зондирования	314
ВАЙЕН Х.-Х., ПАННОВИЧ Х.-Ю.: Предварительная геометрическая обработка видеоданных спутников на полярных орбитах в реальном времени	319
ГРУНДМАНН Х.: Система базы данных для видеоизображений	323
ЛИКФЕЛЬД П., МИСЛИНГ К.-Д., НОЙМАНН Б.: Запись больших массивов видеоданных на магнитных дисках для быстрого доступа	325
ГЕШКЕ А.: Результаты классификации, полученные системой обработки изображений типа Роботрон А 6470	330
СТОЙЕ Х., УЗБЕК Б.: Автоматизированное дешифрирование типов землепользования в поселках по цифровым многозональным аэроснимкам	337
МЕЙСТЕР П.: Обработка изображений на ЭВМ А 6470 и возможности в режиме "он-лайн"	344
ШИЛЬДВАХ Б.: Предварительная обработка данных видеоизображений при помощи микро-ЭВМ	349

#### СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ПРИЁМА СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

ТИЩЕНКО А.П.: О территориальном принципе приёма и оперативного анализа космической информации	357
БЕТТАЦ Х.-Д., КЛЭН Д., ЛАНДРОКК Р., ШВАРЦ Й., СКОТТКЕ Х.: Модулярная станция ВЕС-2 для приёма видеоизображений от метеорологических спутников	363
ШВАРЦ Ю., КЛЕН Д.: Блоки антенн и СВЧ для приёма данных от метеорологических спутников	374
ШВАРЦ Ю., ФОГЕЛЬ Г., СКОТТКЕ Х.: Структура и принцип действия автоматизированной следающей системы антенн для приёма метеорологических спутниковых данных	378
ЛАНДРОКК Р., ПАШ Э., СТАНКЕ Д.: Приёмник для аналоговых и цифровых данных метеоспутников	383
АРНОЛЬД Х.-П., ГУДЕР Х.-Г., ЛИКФЕЛЬД П., РЕЙМЕР Р., ВОЛЬФ Х.-Ё.: Система на магнитной ленте для регистрации цифровых спутниковых данных до 1 Мбит/сек	387
ГОНТЕР А.: Визуализация видеоданных метеорологических спутников в реальном времени	391

#### ДОПОЛНЕНИЕ

ХАРНИШ Г., ХЕРРМАНН Х., ПАРЛОВСКИЙ Х., ПАРЛОВСКИЙ С.: Местные структуры сельскохозяйственного землепользования на основе снимков сканера ФРАГМЕНТ	I
---	---

### Vorwort

Im September 1986 jährte sich zum 10. Male der erste Weltraumeinsatz der metrischen Multispektralkamera MKF-6. Dieses Ereignis bedeutete für die DDR und andere sozialistische Länder den praktischen Einstieg in die Entwicklung der Fernerkundung der Erde mit aerokosmischen Mitteln und den Beginn einer Dekade der intensiven Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet.

Diesem historischen und über das damalige UdSSR/DDR-Weltraumexperiment "Raduga" zur aerokosmischen Multispektralfotografie weit hinausgehenden Ereignis war die 4. Wissenschaftliche DDR-Konferenz der Reihe

#### "Stand und Entwicklungstendenzen der Fernerkundung"

gewidmet, die als gemeinsame Veranstaltung der Arbeitsgruppe Naturwissenschaftliche Grundlagen der Geofernerkundung (AGNGF) der Wissenschaftlichen Räte für die Forschungsprogramme Geo- und Biowissenschaften (Leiteinrichtung: Zentralinstitut für Physik der Erde) sowie der Gesellschaft für Weltraumforschung und Raumfahrt der DDR (GWR) in Neubrandenburg durchgeführt wurde. Dem gemeinsamen Tätigkeitsgebiet der beiden Veranstalter entsprechend stand die Thematik

#### "Fernerkundung der Erde und anderer Himmelskörper"

im Mittelpunkt. Schwerpunkte des Programms waren

- neue methodische und gerätetechnische Lösungen zur Gewinnung, automatisierten Auswertung und kartographischen Darstellung von Fernerkundungsdaten,
- Nutzenwendungen von Fernerkundungsdaten bei der Erforschung der Erdoberfläche, insbesondere zur Kartierung thematischer Sachverhalte bei der Ressourcen- und Umweltforschung und bei der Erforschung von Planeten und Kometen.

An der Veranstaltung nahmen über 130 Fachleute aus mehr als 35 wissenschaftlichen Einrichtungen der DDR - darunter eine Reihe aktiver Mitgestalter des eingangs erwähnten Ereignisses vor 10 Jahren - sowie eingeladene bekannte Wissenschaftler aus der BRD, CSSR, aus Österreich, der VRP, UdSSR und UVR teil. Sie befaßten sich in über 40 Plenar- und 25 Postervorträgen sowie anregenden Diskussionen, die auch lebhaftete Fortsetzung bei den gemeinsamen kulturellen Veranstaltungen fanden, mit Forschungsergebnissen bei der Entwicklung der Fernerkundung im Rahmen der fachspezifischen Informationsprozesse in Wissenschaft und Volkswirtschaft. Die 10 Vortragssitzungen zu mathematisch-physikalischen und technologisch-gerätetechnischen Grundlagen und zur thematischen Nutzenanwendung der Fernerkundung bei der geologischen Erkundung, der Umweltüberwachung, der landwirtschaftlichen Bestandserfassung, der Kartenherstellung, der ozeanologischen und Atmosphärenforschung und - aus ganz aktuellem Anlaß - bei der Erforschung von Planeten und des Halleyschen Kometen vermittelten insgesamt einen guten Überblick über den derzeitigen Entwicklungsstand von Theorie und Praxis der Fernerkundung in der DDR sowie über internationale Tendenzen ihrer Weiterentwicklung, die bereits deutlich durch die Fortschritte auf dem Gebiet der modernen Informationstechnologien geprägt wird.

Insgesamt kann die Veranstaltung als ein wissenschaftlich und organisatorisch gelungener Beitrag zur Würdigung des ersten MKF-6-Einsatzes vor 10 Jahren angesehen werden.

Der vorliegende Band enthält die von den Vortragenden eingereichten Beiträge zu dieser Konferenz. Es ist beabsichtigt, die 5. DDR-Fernerkundungskonferenz mit internationaler Beteiligung im Jahre 1988 zur Thematik "Fernerkundung und Geoinformatik" durchzuführen.

K.-H. Marek

Zur Eröffnung der 4. Fernerkundungskonferenz, Neubrandenburg, 16. - 19. Juni 1986

Prof. Dr. H. KAUTZLEBEN

Akademie der Wissenschaften der DDR  
Zentralinstitut für Physik der ErdeOpening speech at the 4th Remote Sensing Conference, Neubrandenburg, June 16 - 19, 1986

Prof. Dr. H. KAUTZLEBEN

Academy of Sciences of the GDR  
Central Institute for Physics of the EarthВступительное слово 4-ой конференции дистанционного зондирования Нойбранденбург,  
16 - 19 июня 1986Проф. Х. Кауцлебен  
Академия наук ГДР  
Центральный институт физики Земли

Sehr geehrte Gäste, wertere Kolleginnen und Kollegen!

Im Namen der Veranstalter begrüße ich Sie sehr herzlich als Teilnehmer der 4. Wissenschaftlichen Konferenz über

"Stand und Entwicklungstendenzen der Fernerkundung der Erde mit aerokosmischen Mitteln".

Ich habe die angenehme Aufgabe, der Konferenz die besten Grüße und Erfolgswünsche des Präsidiums der Akademie der Wissenschaften der DDR zu übermitteln.

Die Akademie der Wissenschaften betrachtet die Fernerkundung der Erde mit aerokosmischen Mitteln nach wie vor als eine der aussichtsreichsten und ergebnisträchtigsten neuen Technologien im Bereich der Geo- und Kosmoswissenschaften sowie der damit verbundenen gesellschaftlichen, insbesondere volkswirtschaftlichen Bereiche. Die Akademie ist sehr daran interessiert, an der Weiterentwicklung und der breiten ökonomischen effektiven Anwendung dieser Hochtechnologie in enger Kooperation mit den betreffenden Einrichtungen der Volkswirtschaft und in enger internationaler sozialistischer Forschungs Kooperation aktiv tätig zu sein. Einen besonders herzlichen Gruß entbiete ich dem Fliegerkosmonauten der DDR, Genossen Generalmajor Dr. Sigmund Jähn.

Herzlich willkommen in unserer Mitte heißen wir die ausländischen Teilnehmer an unserer Konferenz.

Für diese, unsere 4. Konferenz ist mit gutem Grund das Thema "Fernerkundung der Erde und anderer Himmelskörper" gewählt worden. Am 12. April dieses Jahres haben wir gemeinsam mit den Bürgern der Sowjetunion, allen ihren Freunden in der Welt und den Experten und Interessenten der Erforschung und Nutzung des Weltraumes zu friedlichen Zwecken den 25. Jahrestag des ersten Welt- raumfluges eines Menschen, des Fluges von Jurij Gagarin, gewürdigt. |

Die von Jurij Gagarin gegebene Schilderung seiner Beobachtungen der Erde vom Raumschiff aus ist das erste Ergebnis der Fernerkundung der Erde aus dem Kosmos. Diese neue Methode zur Ge-

winnung von Informationen über unseren Lebensraum entwickelte sich in den folgenden Jahren in stürmischer Weise. Die erste Disziplin der Geowissenschaften, die die Fernerkundung zur routinemäßigen praktischen Nutzung führte, war die Meteorologie; Wissenschaft und Praxis der Meteorologie sind heute ohne kosmische Informationen über die Vorgänge in der Atmosphäre nicht mehr vorstellbar

Das zweite Ereignis in der Entwicklung der Fernerkundung der Erde, das wir in diesem Jahr besonders würdigen und das die Fachvertreter dieses Gebietes in der DDR besonders angeht, ist der erstmalige Einsatz der Multispektralkamera MKF-6 des Kombinates VEB Carl Zeiss JENA vor 10 Jahren im September 1976 an Bord des sowjetischen Raumschiffes Sojus-22. Wir haben die Freude, daß in unserer Mitte Genosse Prof. Dr. Müller vom Kombinat Carl Zeiss weilt, der an der Entwicklung der MKF-6 verantwortlich beteiligt war. Wer ist kompetenter als er, diese Leistung in einem Beitrag zu unserer Konferenz zu würdigen!

Den Teilnehmern der Konferenz ist sehr gut bekannt, welchen Aufschwung die Fernerkundung der Erde seitdem in der DDR genommen hat und welche Ausstrahlung diese Entwicklung, die sich in enger Zusammenarbeit mit den Partnern in der UdSSR vollzog und nur auf dieser Grundlage möglich war und ist, auf die Industrie der DDR hat. Über die Entwicklung im Kombinat Carl Zeiss wird Genosse Professor Müller selbst sprechen. Erwähnt sei aber auch, daß die Fortschritte in der Bildbearbeitungstechnik im Kombinat Robotron ohne die Erfahrungen und Anforderungen aus der Fernerkundung der Erde nicht möglich gewesen wären, ganz sicher aber erst wesentlich später erfolgt wären.

Man kann heute feststellen, daß der Einstieg in die Fernerkundung der Erde für die DDR nicht nur Aufträge an unsere Industrie für die Entwicklung und Lieferung der neuartigen Gerätetechnik und die Möglichkeit zur Nutzung von in der Umlaufbahn gewonnenen Fernerkundungsdaten gebracht hat, sondern daß das konventionelle Luftbildwesen in der DDR neue kräftige Entwicklungsimpulse erhalten hat, durch die Einführung der Fernerkundungstechnik es sich wesentlich erweitert und eine beachtliche Zahl neuer Anwendungsgebiete in Wissenschaft, Volkswirtschaft und weiteren gesellschaftlichen Bereichen geschaffen hat. Was im einzelnen im letzten Jahrzehnt erreicht wurde, welche Probleme dabei gelöst wurden und welche noch zu lösen sind, darüber wurde auf unseren bisherigen 3 Konferenzen über Stand und Entwicklungstendenzen der Fernerkundung berichtet. Die Vorträge dieser Konferenzen sind veröffentlicht worden. Darüber wird auch auf der heute beginnenden 4. Konferenz dieser Reihe berichtet werden. Dazu kann man aber auch die veröffentlichten Materialien der 10. Fachtagung Luftverkehr der Kammer der Technik zur Anwendung der Fernerkundung der Erde als volkswirtschaftliches Rationalisierungsmittel zu Rate ziehen, die vom 9. bis 11. 10. 1985 in Berlin-Schönefeld stattfand.

Schließlich sei auch darauf verwiesen, daß es zur Fernerkundung der Erde aus der Feder von Autoren der DDR bereits eine Vielzahl von wissenschaftlichen Veröffentlichungen gibt, daß es eine breite Öffentlichkeitsarbeit gibt und daß die zuständigen Organe ständig über aktuelle Einschätzungen der ökonomischen Ergebnisse verfügen.

Daß die 10. Fachtagung Luftverkehr der Kammer der Technik der Fernerkundung der Erde gewidmet war und vom KdT-Aktiv der INTERFLUG in Berlin-Schönefeld organisiert wurde, ist ein gutes Zeichen dafür, daß nunmehr im Rahmen des Luftverkehrsunternehmens der DDR ein leistungsfähiger Betrieb für die Anwendung der Fernerkundung der Erde in allen Bereichen der Volkswirtschaft entstanden ist. Die Einsatzgebiete dieses Betriebes Fernerkundung, Industrie- und Forschungsflug zeigen die bisher in der DDR erreichte Breite und Richtung der volkswirtschaftlichen Nutzung der Fernerkundung vom Flugzeug aus.

Wie in allen Ländern stehen auch bei uns die photogrammetrischen Arbeiten an der Spitze, dicht gefolgt von den geologischen Anwendungen. Erst mit größerem Abstand folgen die Anwendungen in den Bereichen Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Umweltschutz. In dieser Aufzählung widerspiegeln sich unsere Erfolge, aber auch die noch zu lösenden Aufgaben bei der wissenschaftlich-technischen und wirtschaftsorganisatorischen Vorbereitung für die umfassende Anwendung der von Luftfahrzeugen getragenen Fernerkundungstechnologie.

Wenn man sich international umschaut, kann man z. Z. folgende Phänomene im Entwicklungsstand und bei den Entwicklungstendenzen der Fernerkundung der Erde feststellen:

Erstens: Die technisch-technologischen Fortschritte haben es mit sich gebracht, daß die klassische, vorzugsweise auf die topographische Kartierung ausgerichtete Aerophotogrammetrie, die topographische und die thematische Luftbildinterpretation und die moderne, im Zusammenhang mit der Weltraumfahrt geschaffene Fernerkundung der Erde, die durch Multispektraltechnik und Digitaltechnik gekennzeichnet ist, eng zusammengerückt, z. T. bereits verschmolzen sind. Welche Varianten der Fernerkundung mit aerokosmischen Mitteln in welchem Maße genutzt werden, ist abhängig von der konkreten Aufgabenstellung und den Gegebenheiten des jeweiligen Landes.

Zweitens: Der gesellschaftliche Nutzen, der aus der Anwendung der Fernerkundung der Erde mit aerokosmischen Mitteln gezogen wird, hängt entscheidend von der Fähigkeit der verschiedenen gesellschaftlichen Bereiche und der Gesellschaft insgesamt ab, die durch Fernerkundung bereitstellbaren Daten in die gesellschaftlichen Informationssysteme aufnehmen und in den gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen verwerten zu können. Um diese Problematik zu lösen, müssen einerseits der reale Informationsgehalt der Daten der Fernerkundung tiefer ausgelotet werden und diese Daten nutzerfreundlicher gewonnen und aufbereitet werden und andererseits die bestehenden Informationssysteme auf die Aufnahme und Integration von Daten der Fernerkundung technisch-technologisch besser als bisher eingestellt werden. Ein besonders aktuelles Problem ist die Errichtung von territorialen Informationssystemen und in Verbindung damit die Entwicklung der topographischen und der thematischen Kartographie durch Einbeziehung der modernen rechnergestützten Informationstechnologien.

Verehrte Anwesende, unsere Konferenz findet in einer Zeit statt, in der die USA ihre Anstrengungen verstärken, den Weltraum zu militarisieren und dadurch eine militärische Überlegenheit über die UdSSR und ihre Verbündeten zu erreichen. Die Position der UdSSR dazu, der wir uns voll anschließen, ist gut bekannt. Wir wollen keine Ausdehnung des Wettrüstens auf den Kosmos; wir arbeiten für die friedliche Nutzung des Weltraumes zum Wohle aller Völker dieser Erde. Ich begrüße es deshalb sehr, daß Genosse Generalmajor Dr. Jähn gerade zu dieser Frage auf unserer Konferenz sprechen und die Forderungen aller Bürger der DDR, insbesondere der Kosmosforscher unseres Landes, darlegen wird.

Ich möchte betonen: die Teilnahme der DDR an der Erforschung und Nutzung des Weltraumes war von Anfang an durch die Zielstellung bestimmt und wird es weiterhin sein, die modernsten Errungenschaften von Wissenschaft und Technik zum Wohle des Volkes und zur Erhaltung des Friedens einzusetzen. Mit unserer Konferenz wollen wir dazu einen weiteren Beitrag leisten.

Über den Mißbrauch der Weltraumforschung durch Militarisierung des Alls

S. JÄHN

Fliegerkosmonaut der DDR, Straußberg

Zusammenfassung

Die Fernerkundung der Erde aus dem Weltraum bietet Möglichkeiten, zur Lösung grundlegender Aufgaben der Menschheit wie Katastrophenwarnung und Bewältigung von Rohstoff-, Ernährungs-, Energie- und Umweltproblemen beizutragen. Unter den Bedingungen des Wettrüstens werden jedoch sowohl die Ergebnisse von Wissenschaft und Technik auf das inhumane Streben nach Vernichtung ausgerichtet und damit deren Wesen und Zielstellung deformiert, als auch gewaltige hochentwickelte Produktivkräfte und wissenschaftliche Potentiale dem Fortschritt der Menschheit entzogen und vergeudet. Deshalb ist es erforderlich, den Weltraum als Zone des Friedens und der Zusammenarbeit zu erhalten.

Summary

Remote sensing from space can help to solve global problems of mankind like catastrophe-warning, food production, management of the natural resources, energy and ecological problems. Under the conditions of the arms race, however, the results of science and technology get an inhuman orientation on destruction, and immense highly developed productive forces and scientific potentials are wasted and not applied for the progress of mankind. Therefore it is necessary to maintain space as a region of peace and cooperation.

Резюме

Исследования Земли из космоса способствуют решению фундаментальных задач человечества - предупреждению катастроф, преодолению сырьевых, продовольственных, энергетических и экологических проблем. Однако, в условиях гонки вооружения достижения науки и техники используются для уничтожения, т.е. деформируется их суть и поставленные цели. Огромные высокоразвитые производительные силы и научные потенциалы отнимаются от прогресса человечества, поэтому необходимо сохранение космоса как зоны мира и сотрудничества.

1. Rolle und Platz des Weltraums im strategischen Konzept der USA-Militärs

Ausgehend von der "Sternenkriegs-Rede" des US-Präsidenten Reagan vom 23. März 1983 sowie der Präsidentendirektive Nr. 119 läßt sich nachweisen, daß sich das Pentagon bei der Hochrüstung auf 4 Schwerpunkte konzentriert:

- a) Die Schaffung von Systemen zur "Enthauptung" des Gegners, um dessen Reaktionen zu verzögern, zu desorganisieren und ein maximales Überraschungsmoment zu sichern.
- b) Die Schaffung neuer, äußerst zielgenauer strategischer Offensivwaffen zur Führung eines entwaffnenden Erstschlages.

- c) Die Schaffung von Systemen zur effektiven Abwehr zum Gegenschlag eingesetzter strategischer Kampfmittel der UdSSR.
- d) Die Modernisierung, den Ausbau und die Erhöhung der Überlebensfähigkeit der strategischen Systeme der Führung.

Die genannten Schwerpunkte lassen eindeutig erkennen, welche Rolle dem Weltraum im strategischen Konzept der USA-Militärs zukommt:

Es sollen die Voraussetzungen geschaffen werden, um das bislang gültige Prinzip der "gegenseitig gesicherten Vernichtung" durch das Prinzip des "gesicherten Überlebens des Angreifers" zu ersetzen.

## 2. Zu einigen Weltraumwaffensystemen der USA

Es werden die wichtigsten bereits vorhandenen bzw. in der Entwicklung befindlichen oder geplanten Weltraumwaffensysteme vorgestellt:

### a) Das Mehrzwecksystem "Raumfähre":

Auf Grund ihrer Einsatzmöglichkeiten

- zum Satellitentransport,
- zum Transport von Elementen des raumgestützten Raketenabwehrsystems,
- zur Satellitenbekämpfung,
- zur Erprobung von Waffensystemen,
- als Träger für konventionelle und Massenvernichtungsmittel und
- als Plattform zur Aufklärung und Feuerleitung

ordnet sie sich ein in die strategische Offensivplanung der US-Militärs.

### b) Antisatellitenwaffen (ASAT):

Sie haben die Aufgabe, gegnerische Weltraumobjekte, insbesondere Satelliten, zu zerstören oder auf eine andere Weise an der Erfüllung ihrer Funktion zu hindern. ASAT-Waffen sind für die USA in dem Maße immer bedeutsamer geworden, wie Satelliten für die politisch-militärische Entscheidungsfindung im globalen Maßstab unverzichtbar wurden, indem sie Funktionen der Aufklärung, Überwachung, Frühwarnung, Kommunikation, Navigation u. a. m. erfüllen.

Die USA-Führung betrachtet die ASAT-Kapazitäten als wesentlichen Bestandteil eines zu schaffenden Erstschlagspotentials für die "Enthauptung und Entwaffnung" der UdSSR im Rahmen einer geplanten "siegreichen Führung" eines Nuklearkrieges. Vorhandene und geplante ASAT-Systeme:

- auf der Basis des Flugzeuges F-15 und einer Zwei-Stufen-Rakete SRAM-ALTAIR-III,
- ein weiterentwickeltes System AMALS - Advanced Miniature Air Launched System,
- ein bodengestütztes System AMGLS - Advanced Miniature Ground Launched System.

### c) Das komplexe System "Raketenabwehr":

In den USA ist die Schaffung von Weltraumangriffswaffen angelaufen, die auf neuen physikalischen Wirkprinzipien beruhen. Damit wird das Ziel gestellt, die USA mit einem Raketenschild abzuschirmen und zugleich neue strategische raumgestützte Kräfte zur Bekämpfung von Zielen auf der Erde, auf See, in der Luft und im Weltraum zu entfalten.

Die Entwicklung für diese Offensivwaffen, bei denen bereits heute in den USA eine Viertelmillion Menschen gebunden sind, laufen in folgende Richtungen:

- Strahlenwaffen,
- Elementarteilchenbeschleuniger,
- elektromagnetische Kanonen sowie Antiraketen.

Die Steuerung aller Weltraumangriffswaffen der USA soll mit Hilfe eines schnellwirkenden Spezi­alsystems gewährleistet werden, das eine umfassende Kontrolle der Erdoberfläche und des Weltraums sichern kann. Es hat Raketenstarts festzustellen, die Flugbahnen der Raketen zu berechnen, Gefechtsköpfe auszumachen und zu verfolgen sowie diesen die Bekämpfungsmittel zuzuweisen.

### 3. Schlußfolgerungen

- Die kosmische Rüstung der USA ist einzuordnen in die Konzeption des frontalen, unverhüllten und alle gesellschaftlichen Bereiche umfassenden Kampfes gegen den revolutionären Weltprozeß, besonders gegen die Länder der sozialistischen Gemeinschaft.
- Die kosmischen Rüstungspläne sind Ausdruck für einen Wandel in der Militärstrategie der USA. Für diesen Wandel ist typisch, daß die Erringung einer militärstrategischen Überlegenheit über die UdSSR zum obersten Grundsatz gemacht wurde. Das offizielle militärstrategische Denken der USA ist heute eindeutig auf die militärische Vernichtung des realen Sozialismus ausgerichtet. Mit diesem Wandel einher geht eine Umbewertung von Rolle und Funktion des strategischen Kernwaffenpotentials (Schaffung einer nuklearen Alleinschlagskapazität). Hier ordnet sich das "SDI" genannte Waffenprogramm ein.
- Die Weltraumforschung und -rüstung beinhaltet den Aufbau strategischer Offensivsysteme, die Entwicklung eines großdimensionalen weltraumgestützten Raketenabwehrsystems sowie den Ausbau und die Modernisierung der strategischen Kommando-, Aufklärungs-, Leit- und Nachrichtensysteme.
- Mit der Kriegsführung in und aus dem Weltraum wollen die USA strategische Aufgaben erfüllen, die von der Sicherung einer standhaften, flexiblen Führung über die Vernichtung gegnerischer Raumschiffe, Satelliten und gestarteter strategischer Raketen bis hin zur Feststellung der Ergebnisse geführter Kernwaffenschläge reichen.
- Ausgehend vom derzeitigen Stand der Entwicklung der wichtigsten Komponenten der Weltraumrüstung ist einzuschätzen, daß die gegenwärtigen Möglichkeiten der USA von den vorgenannten strategischen Aufgabenstellungen noch weit entfernt sind.

Die Geofernerkundung als Bestandteil moderner geowissenschaftlicher Informationsprozesse

K.-H. MAREK

Akademie der Wissenschaften der DDR  
Zentralinstitut für Physik der Erde

Zusammenfassung

Der erste Einsatz der Multispektralkamera MKF-6 im Jahre 1976 stellte in den sozialistischen Ländern den praktischen Beginn der Arbeiten zur aerokosmischen Fernerkundung dar. In den 70er Jahren wurde ebenfalls weltweit begonnen, die praktischen Voraussetzungen zur Einführung informations- und systemtheoretischer Arbeitsweisen und automatischer Software- und Gerätesysteme sowie effektiver Technologien zur Datengewinnung, -verarbeitung und -darstellung auf allen raumbezogenen Gebieten zu schaffen. Dazu gehören insbesondere die Arbeiten zum Aufbau von Geoinformationssystemen (GIS).

Die Analyse des bisherigen Entwicklungsstandes zeigt für die Fernerkundung die Notwendigkeit einer neuen Betrachtungsweise - als integraler Bestandteil eines GIS und als Teil einer neuen Wissenschaftsdisziplin, der Geoinformatik. Prinzipielle Fragen zum Integrations-, Daten-, Interpretations- und Darstellungsproblem der Fernerkundungsdaten werden diskutiert.

Summary

The first application of the multispectral camera MKF-6 in the year 1976 was the practical begin of aerospace remote sensing in the socialist countries. The seventies were world-wide the beginning of efforts to create the practical prerequisites for the introduction of informational and system procedures, automatic software- and hardware systems as well as effective techniques for data acquisition, processing and presentation for all space-related fields. This includes especially the efforts for the creation of geoinformation systems (GIS). An analysis of the present state-of-the art shows the necessity to see remote sensing from a new point of view, namely as integrated part of a GIS-system and as part of a new scientific discipline: the geoinformatios. The paper discusses principal questions on problems of integration, acquisition, processing, interpretation and presentation of remote sensing data.

Резюме

Появление многозональной камеры МКФ-6 в 1976 г. означало для социалистических стран практическое начало широких работ по дистанционному зондированию Земли (ДЗЗ) аэрокосмическими средствами. С другой стороны, в 70-е годы во всем мире начались работы по введению достижений в области системного анализа, информационной теории, автоматических систем математического и технического обеспечения, а также эффективных технологий для сбора, обработки и представления данных во всех пространственно-природных областях. Особую роль играли работы по созданию геoinформационных систем (ГИС). Анализ состояния развития метода ДЗЗ указывает на необходимость нового понимания его как интегрального составляющего ГИС и как части формирующейся научной дисциплины - геoinформатики. Рассматривается ряд принципиальных вопросов по проблемам интегрирования, объема, интерпретации и картографическому отображению данных ДЗЗ.

Nahezu auf den Tag genau vor 10 Jahren traf sich hier in Neubrandenburg die kurz vorher im Rahmen des INTERKOSMOS-Programms der sozialistischen Länder gebildete Arbeitsgruppe Fernerkundung, um gemeinsame Arbeiten für den geplanten 1. Weltraumeinsatz der Multispektralkamera MKF-6 abzustimmen. Das dann auch 3 Monate später begonnene gemeinsame UdSSR/DDR-Experiment "Raduga" zur Multispektralphotographie, bei dem die MKF-6-Kameras im Raumschiff SOJUS-22 und an Bord von Spezialflugzeugen eingesetzt waren, bedeutete für die DDR und andere sozialistische Länder den praktischen Einstieg in die Entwicklung der Fernerkundung der Erde mit aerokosmischen Mitteln und zugleich den Beginn einer Dekade intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf diesem Gebiet.

Gegenwärtig können wir die Geofernerkundung bereits als einen unverzichtbaren Bestandteil moderner raumbezogener Informationstechnologien ansehen. Dazu sind intensive Entwicklungen, die die Formierung einer neuen Arbeitsrichtung Geoinformatik erkennen lassen, weltweit im Gange. Aus einer solchen Sicht muß man heute den ersten Einsatz einer MKF-6 vor 10 Jahren als ein Ereignis bewerten, das weit über ein wissenschaftlich-technisches Weltraumexperiment hinausging.

Der Tradition unserer Fernerkundungskonferenzen folgend, sollen zu Beginn einige aktuelle Aspekte zu Stand und Entwicklungstendenzen der Geofernerkundung - auch unter Berücksichtigung der Einordnung der Multispektralphotographie mit der MKF-6 - betrachtet werden,

## 1. Zum Entwicklungsstand der Fernerkundung

### 1.1. Datengewinnung

Bis zum Beginn der 80er Jahre war die Fernerkundung vorwiegend auf Entwicklungen zur Datengewinnung, insbesondere zur Sensortechnologie, orientiert. Die Stellung der MKF-6 als Repräsentant der photographischen Fernerkundungstechnologie läßt sich u. a. an der Entwicklung der räumlichen Auflösung kosmischer Fernerkundungssysteme (Abb. 1) in den vergangenen 25 Jahren erkennen. Die spektralen und geometrischen Auflösungen relevanter kosmischer Scanner-Systeme zeigt Abb. 2.

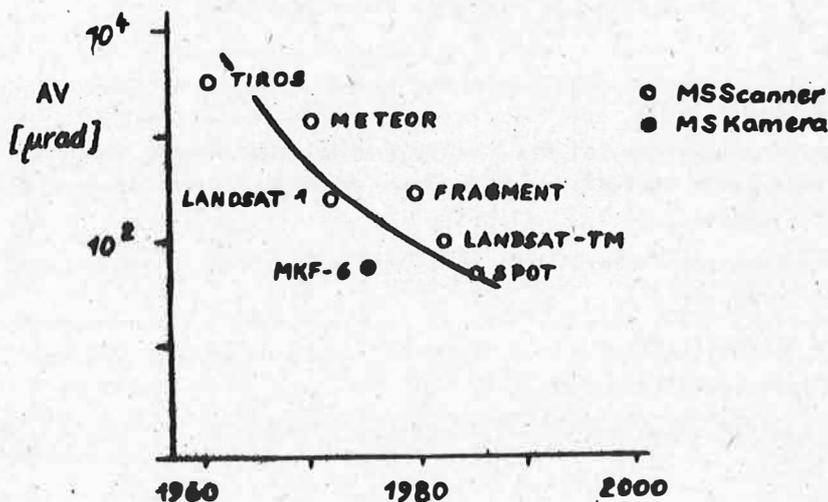


Abb. 1. Entwicklung der geometrischen Auflösung kosmischer multispektraler Erderkundungssysteme für volkswirtschaftliche Aufgabenstellungen

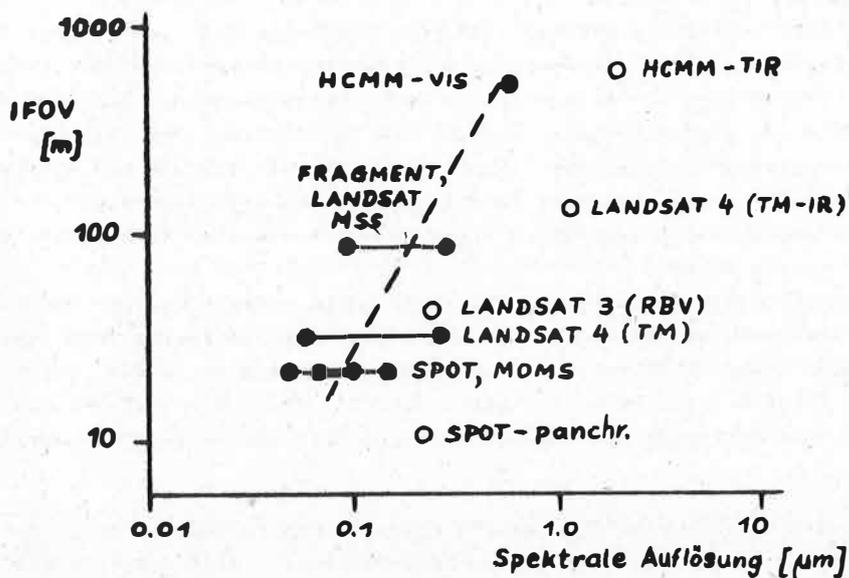


Abb. 2. Spektrale und geometrische Auflösung kosmischer Scannersysteme (erweitert nach [4])

Die Hauptetappen der Fernerkundung der Erde aus dem Weltraum werden repräsentiert durch die Multispektralsysteme

- Landsat MSS (1972) für kontinuierliche globale Erkundungen mit einer äquivalenten geometrischen Auflösung von etwa 200 m,
- MKF-6 (1976) für nichtoperative Erkundungen mit einer geometrischen Auflösung von etwa 15 m,
- SPOT (1986) für kontinuierliche globale Erkundungen mit einer äquivalenten geometrischen Auflösung von etwa 50 m.

#### 1.2. Datenanalyse und -nutzung

Auf dem Gebiet der Verarbeitung und Analyse von Fernerkundungsdaten waren die vergangenen Jahre gekennzeichnet durch intensive methodische Grundlagenforschungen. Sie betrafen insbesondere die Schwerpunkte

- physikalisch-mathematische Modellierung des Abbildungsprozesses der Objekteigenschaften in den Fernerkundungsdaten,
- Bewältigung des Datenproblems,
- Steigerung der Informationsausbeute,
- Entwicklung fachspezifischer Auswertetechnologien,
- Applikationsstudien.

Arbeiten zur Echtzeit-Datenanalyse, die über reine Experimente hinausgingen, sind weltweit erst in den letzten Jahren parallel mit den einsetzenden Entwicklungen zur Computertechnologie und Satellitenkommunikation angelaufen.

Zu den genannten Schwerpunkten liegt ein Vorlauf an Grundlagenerkenntnissen vor, der durch fachdisziplinäre Anwendungsforschung weiter umzusetzen ist.

Eine routinemäßige Anwendung dieser Technologie und eine umfassende Nutzung der Vielfalt von Fernerkundungsdaten ist bisher in größerem Umfang in der Geologie und in der Meteorologie erfolgt. Eine Reihe weiterer wissenschaftlicher Disziplinen und volkswirtschaftlicher Nutzerbereiche - in der DDR vor allem die Kartographie, Land- und Forstwirtschaft, Geographie, Territorialplanung, Umweltkontrolle, Wasserwirtschaft und Meeresforschung - hat die bisher verfügbaren Systeme in unterschiedlichem Umfang zur Methoden- und Technologieentwicklung sowie zur Sammlung eigener praktischer Erfahrungen in wissenschaftlichen Experimenten genutzt (vgl. [1] - [3]). Vor den Nutzerbereichen steht jetzt die anspruchsvolle Aufgabe, die sich mit der Verfügbarkeit von Fernerkundungsdaten ergebenden Möglichkeiten zur Verbesserung ihrer spezifischen Informationsprozesse auch ökonomisch voll zu erschließen.

Insgesamt ist in den letzten Jahren weltweit ein realistisches Bild von den Potenzen der Fernerkundungstechnologie für die globale Datensammlung und ihrer prinzipiellen Aussagemöglichkeiten zur Ableitung geowissenschaftlich relevanter Parameter bzw. zur Eignung in den verschiedenen Anwendungsgebieten (Abb. 3.) erkennbar geworden.

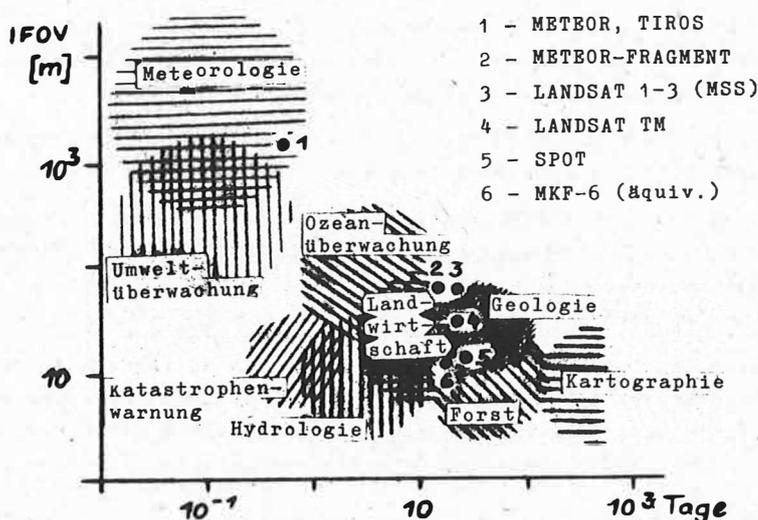


Abb. 3. Hauptanwendungsgebiete der kosmischen Fernerkundung in Abhängigkeit von geometrischer Detailauflösung und Wiederholrate der Datengewinnung (erweitert nach [4])

## 2. Zur künftigen Entwicklung der Fernerkundung

International wird vielfach die Auffassung vertreten, daß die seit etwa 10 - 15 Jahren andauernde experimentelle Phase der Fernerkundung der Erde Ende der 80er/Anfang der 90er Jahre prinzipiell abgeschlossen sein und mit ihrer Routinenutzung begonnen wird, u. a. für Probleme mit solchen gesamtgesellschaftlichen Dimensionen wie Katastrophenvorwarnung, operative Umweltüberwachung, Ernteprognose, Seismotektonik, thematische Kartendarstellung in Echtzeit u. ä. Wenn man die Fernerkundung als Bestandteil moderner geowissenschaftlicher Informationstechnologien versteht, sind folgende Problemstellungen von Interesse:

- das Integrationsproblem der Fernerkundungsdaten in Geoinformationssysteme,
- das Datenproblem,

- das Interpretationsproblem,
- das Problem der nutzeradäquaten Ergebnisdarstellung.

### 2.1. Zum Integrationsproblem

Die bisher noch nicht befriedigende Effektivität der volkswirtschaftlichen Nutzung der Fernerkundung ist neben ihrer gegenwärtigen technologischen Unvollkommenheit auch in bedeutendem Maße darauf zurückzuführen, daß die Fernerkundung bisher weitgehend wie eine traditionelle Meßmethode für einzelne Phänomene verstanden und ihre besondere Spezifik - Operativität und periodische Wiederholbarkeit (Regelmäßigkeit) der Datengewinnung zur Ableitung von Zeitreihen über den Zustand der natürlichen Umwelt, nahezu Gleichzeitigkeit der Datengewinnung in globalen Dimensionen und im Detail u. a. - nicht ausreichend berücksichtigt wurde. Mit den sich gegenwärtig abzeichnenden qualitativ neuartigen technologischen Entwicklungen (Sensoren, Prozessoren, Informationssysteme mit Datenbanken und Expertensystemen usw.) ist die bereits auf der 1. DDR-Fernerkundungskonferenz ( [13, S. 17] ) betonte Betrachtungsweise der Fernerkundung jetzt offensichtlich geworden:

- Die Fernerkundung ist nur als integraler Bestandteil eines Geoinformationssystems effektiv. Sie stellt eine der qualitativ und quantitativ hochwertigsten Methoden zur Gewinnung von Daten über die natürliche Umwelt dar.

Mit der neuen Herangehensweise und den neuen technischen Möglichkeiten, die sich mit der generellen Umgestaltung und Neubewältigung der informationellen Prozesse ergeben, sind solche gesellschaftlich hochrelevanten Anwendungen erkennbar geworden, wie

- die Aktualisierung der Datenbestände in Geoinformationssystemen in Echtzeit als Grundlage für nahezu alle territorialen Leitungs-, Planungs- und Entscheidungsprozesse,
- der Aufbau eines integrierten Erdbeobachtungssystems auf der Basis der gemeinsamen Verarbeitung bzw. Kombination (Interpretation) unterschiedlichster Geoinformationen (Datenquellen, -formate usw.) und Simulationsmodelle,
- die Analyse, Erkennung und Prognose von Umweltprozessen, die die Erde als Gesamtsystem bzw. einzelne Regionen betreffen (Beschreibung, Modellierung und Analyse von Langzeitprozessen unterschiedlichster Art, wie z. B. von hydrologischen oder biogeochemischen Kreisläufen und energetischen Flüssen, Entwicklung von Ökosystemen bzw. Bioräumen einschl. Landschaftsentwicklung und Bioproduktivität, globale Tektonik usw.).

Die Grundstruktur eines geowissenschaftlichen Informationsprozesses, der auf einer solchen qualitativ höheren Bewertung der Fernerkundung im Zusammenwirken mit den neuen technischen Entwicklungen in der Sensorik und der Informatik sowie mit den neuen Dimensionen der Nutzung beruht, zeigt Abb. 4.

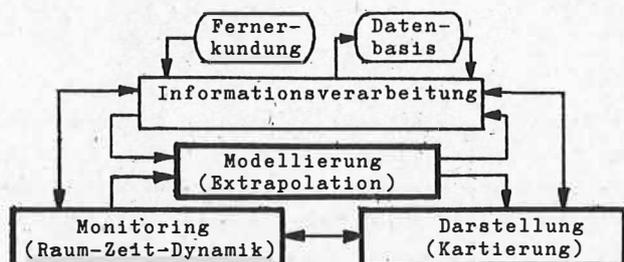


Abb. 4. Grundstruktur eines geowissenschaftlichen Informationsprozesses

## 2.2. Zum Datenproblem

Damit auch in der Praxis die Fernerkundung im Bestand eines Geoinformationssystems als operative Technologie mit hoher Effektivität betrieben und genutzt werden kann, müssen

- die meteorologischen Probleme (ggf. durch Mikrowellensysteme),
- die Steigerung des Informationsgehalts der Daten (Auflösungsvermögen, Wiederholraten, An-bord-Verarbeitung),
- die Direktübertragung der Daten zum Nutzer und
- das z. Z. noch unakzeptable Datenproblem

beherrscht werden.

Tab. 1. Zum Datenproblem in der Fernerkundung

Datengewinnung	Landsat MSS	15 M Bit/s
	Meteor-Priroda	8
	SPOT	25
	MOMS	40
	Landsat TM	85
	MKF-6 ( $\Delta = 25 \mu\text{m}$ ) <sup>1)</sup>	340 M Bit
Datenverarbeitung	Anzahl elementarer Rechenoperationen:	
	je Bildelement	$> 10^2$
	je Szene ( $10^7$ Pixel)	$> 10^9$
	Für Echtzeitverarbeitungen:	
Systemleistungen	$10^8 - 10^9$ <sup>2)</sup> Operationen/s	
Interpretation	Für Echtzeitanalysen:	$\sim 10^3$ Szenen/Tag

1)  $\Delta$  -Digitalisierungsintervall

2) Vergleich: Displayprozessor des BVS A 6472:  $10^7$  Operationen/s

Tab. 1. vermittelt einen Eindruck von der Größenordnung des Datenproblems. Es wird erkennbar, daß bei Übertragungsraten von ca.  $10^7$  Bildelementen/s mit einem Datenumfang von ca.  $10^{11} - 10^{13}$  Bit/Tag und bei Echtzeitverarbeitungen mit Forderungen von  $\geq 10^{13} - 10^{14}$  elementaren Rechenoperationen je Tag sowie den daraus resultierenden und z. Z. nicht beherrschbaren System- und Interpretationsleistungen zu rechnen ist.

Dabei ist bemerkenswert:

- je nutzerfreundlicher der Sensor (Auflösung, Anzahl der Spektralbereiche) ist, umso größer wird das Datenproblem,
- selbst bei Datenkompressionen auf 1 % werden die Probleme der Echtzeitanalysen (z. B. Umweltmonitoring, Katastrophenwarnung u. a.) kaum spürbar verändert,
- der Interpretator bleibt der Engpaß der gesamten Technologie.

## 3.3. Zum Interpretationsproblem

Das Datenproblem scheint sich mit den in den letzten Jahren in Gang gekommenen Fortschritten auf dem Gebiet der mathematischen Modellierung sowie durch entsprechende Hard- und Softwareentwicklungen (z. B. Parallelprozessoren) etwas zu entspannen. In der Praxis sind die Aktivitäten meist gerichtet auf die Anbord-Vorverarbeitung zur Redundanzminderung, auf eine effektive Merkmalsextraktion und die Objektklassifizierung.

Die Klassifizierungsergebnisse müssen durch einen Experten unter Einbeziehung von Referenzwissen und Bewertungsregeln intelligent interpretiert und verifiziert werden. Pro Anwendungsfall sind erfahrungsgemäß einige 100 Bewertungskriterien erforderlich. Eine Automatisierung dieses Interpretationsvorgangs ist auch deshalb nicht trivial, weil die komplex zu behandelnden Daten oft ein Konglomerat numerischer und nichtnumerischer Ausgangsgrößen darstellen. Das Problem besteht in der Praxis darin, ein geeignetes Softwaremodell für eine Experteninterpretation zu finden, die auch von solchen Datennutzern durchgeführt werden kann, die zur Fernerkundungstechnologie keine unmittelbare Beziehung haben, wie z. B. staatliche Planungs- und Kontrollorgane.

Ähnliche Probleme des Verstehens von Bildinhalten und der Informationsableitung in Echtzeit existieren z. B. in der Robotertechnik, wo bereits begonnen wurde, dafür intelligente Technik in Form von Expertensystemen zu nutzen. Derartige Expertensysteme, die gesicherte statistische bzw. Wahrscheinlichkeitsaussagen und Entscheidungsregeln akkumulieren ("lernen") können, erscheinen offensichtlich für die Fernerkundung sehr vorteilhaft, da hier über automatische Bildanalysen eine Verarbeitung von Multidaten für komplexe Echtzeitüberwachungen durchgeführt werden muß. Mit dem Expertensystem erfolgt dabei die "Wissensrepräsentation" zur Kontrolle der automatischen Bildanalyse, d. h. die Umsetzung von Fachwissen in ein System einfacher, miteinander zusammenhängender Regeln.

Im technologischen Prozeß der Fernerkundung stellt die Etappe der Dateninterpretation eine echte "wissensbasierte Verarbeitung" mit Lernfähigkeiten dar und kann somit prinzipiell durch ein solches Expertensystem ersetzt werden. Mit Expertensystemen erscheint es damit möglich, den komplexen Interpretationsvorgang vom Menschen auf den Rechner zu übertragen und den menschlichen Fachinterpretator, zumindest teilweise, zu ersetzen sowie das Ergebnis quasi in Echtzeit abzuleiten.

#### 2.4. Zum Darstellungsproblem der Fernerkundungsdaten im geowissenschaftlichen Informationsprozeß

Ein Großteil der geowissenschaftlichen Arbeit besteht bekanntlich in der Bestandsaufnahme, Überwachung und Modellierung verschiedenartiger, relativ komplexer globaler und regionaler Prozesse und wird damit weitgehend durch die Sammlung, Verarbeitung, Speicherung und Bereitstellung großer räumlicher Datenbestände bestimmt. Die Zweckmäßigkeit der Nutzung solcher moderner Technologien, wie

- der Fernerkundung zur operativen Gewinnung von Geoinformationen über große Gebiete und
- der Digitalkartographie zur automatischen Bereitstellung von Geoinformationen in Form digitaler Kartenmodelle

ist dabei offensichtlich.

Die kartographische Modellierung in unterschiedlichen Strukturniveaus und Dimensionsstufen spielt besonders wegen der wachsenden Komplexität des geowissenschaftlichen Arbeitsgegenstandes eine zunehmende Rolle. Die Kartographie hat in den letzten Jahren wesentliche Veränderungen erfahren: Sie orientiert selbst künftig in größerem Umfange auf die digitale Bereitstellung räumlicher Daten, wodurch natürlicherweise auch eine digitale Sammlung, Manipulation und Analyse der Daten zweckmäßig geworden ist. Dabei ermöglichen die in den (kartographischen) Datenbanken organisierten verschiedenartigen, sog. "mehrschichtigen" Datensätze eine Ableitung räumlicher Daten und Informationen in Form von digitalen Modellen. Auf einer solchen Grundlage wird die automatische Verarbeitung kartographischer Daten mit Hilfe automatischer kartographischer Systeme (AKS) ermöglicht. Besonders bei mittel- und kleinmaßstäbigen Kartierungen (< 1:50 000) werden an die Datengewinnung, -speicherung, -verarbeitung und -ausgabe sehr hohe Anforderungen gestellt. Komplexe kartographische Wissensspeicher verfügen gegenwärtig über 20 - 40 Schichten übereinander liegender Elemente.

Die inhaltlich-methodischen und technologischen Verflechtungen zwischen Kartographie und Fern-

erkundung sind hier recht eng ("Geoikonik"). Sie haben u. a. entscheidend zur schnellen und erfolgreichen Entwicklung der Satellitenkartographie beigetragen. Der Haupteinsatz der Satellitenverfahren für die Herstellung und Laufendhaltung von Karten erfolgt gegenwärtig in den Maßstabbereichen 1:250 000 ... 50 000.

Über die Beziehungen zur Fernerkundung im engeren Sinne hinausgehend ist der Aufbau von automatischen kartographischen Systemen inhaltlich und ökonomisch eng verknüpft mit der Schaffung der bereits in 2.1. genannten Geoinformationssysteme [5]. Zusammenhänge zwischen Fernerkundung, kartographischem System und Geoinformationssystem entstehen nicht nur formal dadurch, daß Fernerkundung und Digitalkartographie als Bestandteile eines integrierten Geoinformationssystems ihre höchste Effektivität erreichen, sondern sie werden auch durch folgende Wechselbeziehungen deutlich:

- a) ein automatisches kartographisches System ist bezüglich seiner Softwareausstattung und Hardwarekonfiguration einerseits in der Lage, nahezu alle Bedürfnisse der digitalen Auswertung von Fernerkundungsdaten zu befriedigen und stellt andererseits eine erste Ausbaustufe für ein Geoinformationssystem dar. Dieser Aspekt hat auch erhebliche ökonomische Bedeutung;
- b) die häufigste Nutzungsform eines Geoinformationssystems ist neben der Möglichkeit zur geowissenschaftlichen Komplexinterpretation die Verfügbarmachung von Geoinformationen, darunter von Interpretationsergebnissen aus der Fernerkundung, in Form von kartographischen Modellen (digital oder graphisch);
- c) Fernerkundungsdaten sind einerseits die wichtigste Quelle zur Laufendhaltung von Geoinformationen einschl. Karten, andererseits tragen Geoinformationen dazu bei, die aus der Fernerkundung gewonnenen Daten qualifiziert zu interpretieren;
- d) der Kern eines Geoinformationssystems ist ein digitales Modell von räumlichen Daten, wie Karteninhalte, Fernerkundungsdaten u. a. Geoinformationen. Geoinformationssystem und automatisches kartographisches System verfügen über einheitliche Datenarten, -verwaltung und einheitliche Grundfunktionen.

Die Datenbasis nimmt dabei eine zentrale Stellung ein. Sie ist auf die Nutzung von Methoden der digitalen Bildverarbeitung orientiert und hat - wie bereits genannt - eine schichtenweise Struktur. Da diese Schichten thematisch aufgebaut sind, wird durch eine solche Struktur die Einbeziehung der verschiedenartigen Geoinformationen (flächenhafter Fernerkundungsdaten, profilhafter oder punktbezogener Bodenreferenzdaten u. ä.) in den Verarbeitungsprozess sowie eine variable und multivalente Nutzbarkeit ermöglicht.

### 3. Fernerkundung als Teildisziplin der Geoinformatik

Mit ihrer Realisierung in der Kartographie und im Bestand von Geoinformationssystemen ist die Fernerkundung - ebenso wie die Digitalkartographie - in der Lage, die künftigen modernen Informationstechnologien in den Geowissenschaften wesentlich mit zu prägen. Da somit eine prinzipiell neue Qualität für komplexe geowissenschaftliche Modellierungen, Analysen und Interpretationen erreichbar wird, geht ihre Bedeutung weit über eine Intensivierung der Informationsverarbeitung hinaus.

Die skizzierten Aspekte sind Bestandteile einer neuen Disziplin, der Geoinformatik [5], die zunächst vorwiegend ingenieurwissenschaftlich orientiert ist (angewandte Informatik), künftig jedoch auch starke geowissenschaftliche Inhalte entwickeln wird.

Die Perspektive der Fernerkundung und gleichzeitig ihre Entwicklungschance ist offensichtlich in ihrem speziellen Beitrag zu sehen, den sie für die Entwicklung dieser Hochtechnologie auf unserem Fachgebiet - der Geoinformatik - zu leisten in der Lage ist.

Literaturverzeichnis

- [1] o.V. 1. Konferenz "Fernerkundung - Stand und Entwicklungstendenzen" 1981  
Veröff. Zentralinstitut für Physik der Erde Nr. 74, Potsdam 1982
- [2] o. V. 2. Konferenz "Fernerkundung - Stand und Entwicklungstendenzen" 1982  
Veröff. Zentralinstitut für Physik der Erde Nr. 76, Potsdam 1984
- [3] o. V. 3. Konferenz "Fernerkundung - Stand und Entwicklungstendenzen" 1984  
Veröff. Zentralinstitut für Physik der Erde Nr. 82, Potsdam 1986
- [4] Freysse, G.: Die Perspektive der Fernerkundung am Ende des Jahrzehnts.  
ESA sp-214, S. 297 - 300
- [5] Marek, K.-H.: Über den Beitrag der Fernerkundung zur Entwicklung moderner geodätisch-kartographischer Informationsprozesse.  
Vermessungstechnik 34 (1986) 4. S. 111 - 113

K. MÜLLER

VEB Kombinat Carl Zeiss JENA

Zusammenfassung

Es werden der historische Hintergrund und der Ablauf der Arbeiten, die zur Entwicklung und Konstruktion der ersten Multispektralkamera MKF-6 führten, geschildert.

Die MKF-6 und ihre Nachfolgetypen sind heute Bestandteil einer vom Kombinat Carl Zeiss Jena produzierten, hocheffektiven Gerätekette zur Bereitstellung des Basismaterials für die Lösung unterschiedlichster Aufgabenstellungen von Kartographie, Photogrammetrie und Fernerkundung.

Anhand von in der Sowjetunion publizierten Zahlen und Informationen zur Nutzung von multispektralen Fernerkundungsdaten werden die Bedeutung und die Perspektiven dieser neuen Technologie diskutiert.

Summary

The author gives a survey of the historical background and the steps of work which led to the development and construction of the first multiband camera MKF-6. The MKF-6 and its following modifications have developed today into a part of the highly effective complex of devices produced by the Kombinat Carl Zeiss JENA for the supply of basic material to solve quite different tasks for cartography, photogrammetry and remote sensing.

The importance and the prospects of this new technique are discussed in the light of figures and facts published in the Soviet Union on the utilization of multispectral remote sensing data.

Резюме

Рассматривается развитие и создание первой конструкции многозональной камеры МКФ-6. Камера МКФ-6 и ее последующее развитие являются сегодня составной частью созданных на народном предприятии Карл-Цейсс Йена высокоэффективного комплекса приборов, с помощью которых получают материал для решения разных задач в области картографии, фотограмметрии и при дистанционном зондировании Земли.

**На основе опубликованных в Советском Союзе материалов по использованию многозональных данных дистанционного зондирования обсуждаются значение и перспективы новой технологии.**

Im Frühherbst 1986 jährt sich zum 10. Male der erste Weltraumeinsatz einer MKF-6. Das ist gleichzeitig der 10. Jahrestag des ersten Schrittes unseres Kombines Carl Zeiss JENA in die Weltraumtechnik. Seither verging kein bemannter sowjetischer Raumflug, ohne daß eine der Varianten der MKF-6 dabeigewesen wäre. Alle Interkosmonauten arbeiteten mit einem dieser Geräte; der indische Kosmonaut z. B. brachte eine große Zahl wertvoller Aufnahmen von seinem Flug um die Erde und auch großes Interesse an der Zeiss-Technik mit.

Die ersten Anfänge dieses bedeutenden kosmischen Meßkammerprojektes reichen bis in das Jahr 1973 zurück. Damals wurden dem KCZ auf Initiative der Interkosmos-Organisation und mit aktiver Unterstützung unseres Ministeriums für Wissenschaft und Technik verschiedene Vorschläge für kosmische Gerätetechnik unterbreitet. Nach sorgfältiger Analyse, bei der wir selbstverständlich auch die wirtschaftliche Tragfähigkeit im Auge hatten, entschieden wir uns zu der Empfehlung, die Multispektraltechnik aufzugreifen. Sie wurde bestätigt und 1974 kam es zu ersten Kontakten von Wissenschaftlern und Technikern des KCZ mit Spezialisten der sowjetischen Raumfahrtindustrie und der Akademie der Wissenschaften. Von sowjetischer Seite wurde eine technische Aufgabenstellung vorgelegt, die offenkundig das Resultat langjähriger Vorarbeiten im Kosmos und mit Anwendern der Multispektraltechnik in der UdSSR war.

Die Anforderungen an die Grundsatzparameter der Meßkammer waren statistisch bearbeitet worden, wodurch die äußerst wichtige Einschätzung der Breitenwirkung ermöglicht wurde, die sich in den Folgejahren hervorragend bestätigt hat.

Es ist vollkommen natürlich, daß eine durch Anwenderinteressen diktierte technische Aufgabenstellung hier und da die Grenzen realisierbarer Technologie überschreitet. Der nächste Schritt besteht deshalb im Versuch, die Grenzen der Technologie beim Geräteentwickler voll auszuschöpfen, vielleicht sogar an der einen oder anderen Stelle etwas in die Weiterentwicklung der Technologie hineinzustecken, um ein möglichst gutes technisches Lösungskonzept zu gewinnen.

Dieser Konzipierungsprozeß verlief etwa in der zweiten Hälfte des Jahres 1974. Die erste Hälfte 1975 war dann vor allem dem Ausstreiten der verbliebenen Differenzen zwischen Aufgabenstellung und technologisch gerade noch Machbarem gewidmet. Im Juni 1975, kurz vor der SOJUS-APOLLO-Unternehmen der UdSSR mit den USA, wurde der technische Kompromiß abschließend fixiert und die technische Aufgabenstellung in ihrer Endfassung beiderseits unterzeichnet. Diese Aufgabenstellung beinhaltete die Entwicklung einer Sechskanal-Multispektralkamera für unbemannte Satelliten. Sie sollte ihre Aufnahmen automatisch schießen und dann mit der Rückkehrkapsel wieder auf die Erde geholt werden. Das Projekt sah vor, daß der erste Flug etwa 1978 erfolgt. Tatsächlich kam jedoch alles ganz anders.

Die beiden Teilnehmer aus dem Sojus-Apollo-Unternehmen hatten vereinbart, je zwei Raketen zum Start bereitzustellen, damit für den Fall einer Havarie immer noch eine Chance für eine erfolgreiche Kopplung im Weltraum verblieb. Wie gut bekannt ist, verlief jedoch alles, sehr gut und glücklich, was aber nun zur Folge hatte, daß eine SOJUS-Rakete für andere Aufgaben zur Verfügung stand. Die Sache war jedoch nicht so trivial, wie es scheinen könnte. Der Grund dafür liegt in der begrenzten Garantiezeit eines solchen kosmischen Geschosses. Da es Menschen transportieren soll, darf das Risiko nicht zu groß werden. Deshalb war durch die zuständigen Organe eine Frist gesetzt, bis zu der ein Start möglich war. Danach gab es nur noch die Verschrottung. Für die übriggebliebene SOJUS-Rakete aus dem SOJUS-APOLLO-Unternehmen lag diese Grenze der Garantiefrist Ende September 1976. Um die Rakete bewarben sich mehrere Vorhaben, darunter ein multispektrales Fernerkundungsprojekt. Die Frage war, welches Vorhaben als das wichtigste angesehen werden würde, und ob es in der verfügbaren Zeit machbar war. Die Würfel fielen eindeutig zugunsten der volkswirtschaftlichen hochbedeutsamen kosmischen Fernerkundung, und es blieb nun die alles entscheidende Fristenfrage.

Im Herbst 1975 legte der Minister für Elektrotechnik und Elektronik der DDR dem Generaldirektor des Kombinats Carl Zeiss JENA zwei sehr klare Fragen vor: Kann die Multispektral-Meßkammer so schnell entwickelt und gebaut werden, daß der Start im Herbst 1976 erfolgen kann? Kann außerdem das Projekt trotz der Kürze der Zeit von der Variante "unbemannt" auf die Variante "bemannt" abgeändert werden?

Prof. Dr. W. Biermann war seinerzeit erst kurze Zeit in seinem Amt als Generaldirektor. Er hatte die Antworten zu unterschreiben und dafür geradezustehen. Ich hatte ihm dazu die letztlich entscheidenden Aussagen zu treffen, und ich will nicht verheimlichen, daß es kompliziert war. Von der prinzipiellen technischen Lösbarkeit her sah ich keine beunruhigenden Probleme. Alles bewegte sich auf technologischen Feldern, die wir im KCZ gut beherrschten. Auch für die etwas kritische Frage der Hochleistungsobjektive, die ja starken mechanischen Belastungen ausgesetzt werden, gab es Dank unserer Aktivitäten auf dem Gebiet der Mikrolithographie einen soliden Vorlauf. Wir konnten die bewährte UM-Fassungs-technologie für das Pinatar übernehmen. Das eigentliche Risiko lag im Zeitfaktor. Immerhin waren ja auch noch Vormuster zu entwickeln, zu bauen und zu erproben:

Das dynamische Muster, das Wärmemuster und schließlich das technologische Muster. Zeit war auch nicht bis zum Herbst 1976, sondern es war deutlich weniger, denn das für den Einsatz bestimmte Gerät mußte ja auch im Raumschiff montiert, justiert und allseitig erprobt werden - und das noch vor dem Transport nach Baikonur - wo für die komplette Kapsel ebenfalls nochmalige ausgiebige Tests erforderlich waren. In diesem Zusammenhang ist vielleicht eine kleine Episode aufschlußreich. Nachdem das Projekt MKF-6 schon lief, etwa Anfang Januar 1976, stellte mir der technische Leiter der sowjetischen Seite in einem sehr vertraulich geführten Gespräch die Gewissensfrage, ob wir ehrlich glauben, die Termine halten zu können. Wenn wir auch um die Schwierigkeiten wußten und sie tagtäglich zu spüren bekamen, so waren wir doch ehrlich von der Erfolgchance überzeugt. Ich lud deshalb meinen Partner nach Jena ein und versprach ihm, daß er Ende Februar bereits das Wärmemuster sehen könne. Und er kam, und er überzeugt sich. Das Ergebnis war eine noch kompromißlosere und operativere Unterstützung unserer Arbeiten durch die sowjetische Seite. Nicht alles ging glatt. Der Termin für die Übergabe des technologischen Musters konnte trotz großer Anstrengungen nicht gehalten werden, die sowjetische Abnahmedelegation mußte unverrichteter Dinge wieder abreisen. Zwei Wochen später waren wir jedoch soweit und am 15. 5. 1976 wurde dieses Gerät nach Moskau geflogen.

Natürlich war eine Terminkette solcher Art nur durch den Bruch mit allen Gepflogenheiten möglich. Das war auch die Quintessenz meiner Aussage am Beginn des Unternehmens an Genossen Prof. Dr. Biermann, und es war die Quintessenz seiner Entscheidung und seines Handelns. Alles Weitere ist ja dann in der Öffentlichkeit gut bekannt geworden.

Seit jenen Jahren hat sich das aerokosmische Fernerkundungssystem des Kombinats Carl Zeiss JENA beachtlich gemauert. Sein Wachsen und Werden wurde auf den vorangegangenen Konferenzen mit verfolgt, so daß ich mich mit der Darstellung des erreichten Standes kurzfassen kann.

Die Bestandteile des Zeiss-Systems:

- Kosmische Aufnahmetechnik; dazu gehören die aus der MKF-6 weiterentwickelten multispektralen kosmischen Aufnahmesysteme vom Typ MKF-6M und Neuentwicklungen.
- Flugzeugaufnahmetechnik; die MKF-6M wurde für den Einbau als MKF-6M mit Adapter weiterentwickelt. Dieses Aufnahmesystem wird bereits seit Jahren in Bildflugzeugen eingesetzt. Speziell für den Flugzeugeinsatz wurde das vierkanalige multispektrale Aufnahmesystem MSK-4 entwickelt.

Das geschaffene Hochleistungsaufnahmesystem vereinigt in sich alle aus der Entwicklung

und Erprobung der kosmischen Aufnahmetechnik und der Tradition der Luftbildmeßkammerentwicklung gesammelten Erfahrungen, verbunden mit hohem Automatisierungsgrad durch Verwendung von modernen Mikrorechnersystemen.

- Der Präzisionskopierautomat PKA zur hochproduktiven und genauen Herstellung von Kopien der Originalaufnahmen von MKF-6 bzw. MSK-4 ohne Minderung der Detailwiedergabe.
- Der Präzisionsprojektionsautomat PPA zur Vergrößerung der auf 70-mm-Format aufgenommenen Bilder der MKF-6 bzw. MSK-4 auf die in der Photogrammetrie üblichen Formate. So kann die gesamte photogrammetrische Interpretations- und Meßtechnik für die Auswertung der Aufnahmen verwendet werden.
- Das Präzisionsentzerrungsgerät "Rectimat C" zur Entzerrung und Umbildung von Meßbildern in den Maßstab und die geometrischen Verhältnisse einer gewünschten Karte mit hoher Genauigkeit. Der weite Vergrößerungsbereich gestattet bei Vorvergrößerung im PPA die Maßstabstransformation von 1:2000 000 auf 1:50 000.
- Das Film-Ein-/Ausgabegerät FEAG zur digitalen Abtastung von Schwarzweißfilmaufnahmen mit hoher Geschwindigkeit, hoher photometrischer und geometrischer Genauigkeit für die Eingabe in digitale Bildverarbeitungsanlagen; weiterhin zur Ausgabe bzw. Registrierung digitaler Bildinformation als fotografisches Bild auf Schwarzweißfilm mit gleicher Präzision.  
Mit Hilfe dieses Gerätes ist es möglich, die Vorteile der analogen Bildverarbeitung, die das dargestellte multispektrale Gerätesystem beinhaltet, mit den Vorteilen der digitalen Bildverarbeitung zu kombinieren.
- Der Multispektralprojektor MSP-4C zur Herstellung interpretationsgerechter Farbmischbilder. Bis zu 4 Bilder eines multispektralen Satzes werden deckungsgleich auf einen großformatigen Bildschirm projiziert und mit Hilfe von Glas-Interferenz-Filtern fachkoordiniert.  
Damit werden die relativen Schwärzungsunterschiede zwischen den einzelnen Bildern in kräftige Farbdifferenzen transformiert, die das menschliche Auge hundertfach besser zu trennen vermag als die entsprechenden Grauwertabstufungen und die Auskunft geben über die Eigenschaften und Besonderheiten der abgebildeten Objekte.

Aus bekanntgewordenen, bereits in die Phase der Produktion eingeführten Verfahren, z. B. auf den Gebieten der Erfassung und des Schutzes der forstwirtschaftlichen Ressourcen, erweist sich die Kombination der visuellen Interpretation mit Verfahren der digitalen Bildverarbeitung als besonders effektiv und zukunftssträchtig, wobei in der Phase der Erarbeitung des technologischen Schemas und seiner Einführung die visuelle Interpretation mit Hilfe von MSP-4, Interpretoskop, Densitron u. a. Geräten im Vordergrund stehen wird und in der Phase der routinemäßigen Abarbeitung der erprobten Technologien mit hoher Arbeitsproduktivität die Kette fotografische Aufnahme (MKF-6, MSK-4) - hochauflösende Digitalisierung mit FEAG - Verarbeitung im Dialogbetrieb im Bildverarbeitungssystem BVS A 6472 bzw. A 6473 des VEB Kombinat Robotron und je nach Bedürfnis - Darstellung des Ergebnisses als digitales Modell, über FEAG als Fotokarte, über Automatische Koordinatographen (z. B. C 1218) als Signaturenkarte. Selbstverständlich ist auch die Verarbeitung nichtfotografischer, z. B. von Scannern gewonnener, Aufnahmen möglich, wobei die Vorzüge des Gerätekomplexes hinsichtlich seiner geometrischen Genauigkeit und Auflösung nicht ausgenutzt werden.

Zur volkswirtschaftlichen Wirksamkeit der kosmischen Fernerkundung sind im Laufe der Zeit zunehmend mehr Fakten bekanntgeworden. Ich darf an einige Angaben erinnern, die Anfang des

Jahres in einem redaktionellen Artikel der sowjetischen Zeitschrift "Erkundung der Erde aus dem Kosmos" gemacht wurden. Hauptredakteur ist bekanntlich G. I. Martschuk und man darf sicher annehmen, daß die Daten mit der Einschätzung des Staatlichen Komitees für Wissenschaft und Technik der UdSSR korrespondieren.

Aus dem zitierten Material geht hervor, daß gegenwärtig in der UdSSR mehr als 1000 Organisationen die Fernerkundung der Naturressourcen zur Lösung ihrer Aufgaben benutzen. Ihnen stehen jährlich mehr als eine Million Blatt Dokumente zur Verfügung, die aus Kosmosaufnahmen zweckgerichtet abgeleitet wurden. Das wird gestützt durch umfassende Forschungsergebnisse, die in bezug auf Gewinnung und Bearbeitung kosmischer Informationen durchgeführt wurden. Unlösbar integrierter Bestandteil dieses Systems mit hohem spezifischen Gewicht stellt die Multispektralfotografie dar. So wurden in kurzer Zeit mit bedeutendem ökonomischen Effekt topographische Karten der durch die BAM erschlossenen Gebiete angefertigt, die eine der Grundlagen für die Herausbildung territorialer Produktionskomplexe bilden. Oder ein anderes Beispiel. Für das Studium des Naturpotentials Tadshikistans wurden auf der Grundlage von Kosmosaufnahmen thematische Karten hergestellt, die für dreißig verschiedene Arbeitsrichtungen die Naturgegebenheiten darstellen. Die Palette reicht von der Suche nach Boden, der als Ackerland geeignet ist über natürliche Futterreserven bis hin zu Erdöl- und Erdgasvorkommen. Die Arbeiten haben zu dem Schluß geführt, daß die Grundeinschätzung des Naturpotentials mit kosmischen Mitteln drei- bis viermal schneller möglich ist als auf herkömmliche Weise und daß die Kosten dabei nur den 12. bis 15. Teil des sonst Üblichen ausmachen.

Es wird eingeschätzt, daß die Zahl der Anwendungsfälle kosmischer Fernerkundungsinformationen in der Perspektive um das 2,5- bis 3fache zunimmt und daß in entsprechender Weise die Zahl der Nutzerorganisationen ansteigt. Die Fernerkundung der Erde ist damit zu einem der tragenden Faktoren für die friedliche Kosmosforschung zum Wohle der Menschen geworden. Und dieser Tatsache und diesem Ziel trägt ja auch unsere Konferenz Rechnung.

Gestatten Sie, daß ich zum Abschluß noch einmal kurz auf den Beitrag des Kombinats Carl Zeiss JENA zur Entwicklung der Fernerkundung zurückkomme. Was können wir heute über die MKF-6 sagen? Wir können ein solches Gerät heute zu jeder beliebigen Zeit im Kosmos antreffen. Durch die Weiterentwicklungen wurde es sehr "kosmonautenfreundlich" und erfordert immer weniger Aufmerksamkeit, Zeit und Mühe beim Betreiben. Die Zuverlässigkeit ist bekannt, schon auf Salut 6 flog ein Gerät vier Jahre, von 1978 bis 1982, für das die ursprüngliche Garantiezeit von zwei Jahren zweimal verlängert wurde. Auf Salut 7 ist die MKF-6M seit 1982 in Betrieb. Eine größere Zahl von sechskanaligen Geräten ist in Flugzeugen eingesetzt, eines der ersten dieser Exemplare wird bald die Schwelle von 100 000 Aufnahmesätzen überschreiten. Das Grundkonzept einer höchstauflösenden und relativ kleinformatischen Aufnahme hat sich dabei bestens bewährt. Mit der Weiterentwicklung des fotografischen Materials wird die heute bei etwa 10 m liegende Bodenauflösung noch um 30 % verbesserbar sein. Wir haben allen Grund, auf dem 1975/76 begonnenen Wege weiter voranzuschreiten.

Aktuelle Fragen der völkerrechtlichen Regelung der Erdfernerkundung

R..Müller

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
WB Internationale RechtsbeziehungenZusammenfassung

Der Autor untersucht das Verhältnis von Souveränität und Weltraumfreiheit. Am Beispiel der Erdfernerkundung wird dargestellt, daß keine Aktivität zur Erforschung und Nutzung des Weltraumes nur nach einem dieser Prinzipien bewertet werden darf. Dort, wo erforderlich, liegt die Lösung im Kompromiß - unter strikter Beachtung der Grundprinzipien des Völkerrechts, insbesondere dem der souveränen Gleichheit und der Verpflichtung zur gegenseitig vorteilhaften Zusammenarbeit. Die Konvention der RGW-Länder zur Erdfernerkundung von 1978 ist in dieser Hinsicht beispielgebend.

Weiterhin wird die Arbeit des Rechtsunterausschusses des Weltraumkomitees zur Kodifikation der Erdfernerkundung skizziert und die Grundsätze des Prinzipienkataloges von 1986 erläutert.

Summary

The author examines the correlation between sovereignty and freedom of outer space. Using the example of remote sensing, he demonstrates that no activity for the exploration and utilization of outer space can be judged solely by one of these principles. If required, it can only be a question of arriving at a compromise, taking into account by all means the general principles of international law, in particular that of sovereign equality and the obligation for mutually advantageous cooperation. The remote sensing convention of 1978, concluded between the CMEA-countries, may serve as an example in this respect. Furthermore, the author deals with the process of codification on remote sensing, done by the COPUOS/LSC, and illustrates the main provisions of the draft of principles, adopted in 1986.

Резюме

Автор исследует соотношение суверенитета и свободы космоса. На примере ДЗЗ показано, что нельзя никакую активность по разведке и использованию космического пространства оценивать лишь на основе одного из этих принципов. Там, где это необходимо - решение в компромиссе, при точном соблюдении основных принципов международного права, прежде всего суверенного равенства и обязательства к взаимно выгодному сотрудничеству. Примером в этом отношении служит конвенция стран СЭВа от 1978 года по дистанционному зондированию Земли.

Далее дается обзор о работе правого субкомитета космического комитета по кодификации дистанционного зондирования Земли и разъясняются основные положения каталога принципов 1986 года.

Die völkerrechtliche Regelung menschlicher Aktivitäten zur Erforschung und Nutzung des Weltraumes vollzieht sich - auf Grund deren globaler Bedeutung für die gesamte Menschheit - seit 1957 überwiegend in den zuständigen Organen der Vereinten Nationen. (1) Spätestens seit Beginn der 70er Jahre war in diesem Kodifikationsprozeß eine entscheidende Veränderung zu berücksichtigen: Neben die eigentliche Erforschung und Nutzung des Weltraumes, die ihren Stellenwert im Gesamtgefüge der Weltraumaktivitäten behalten wird, traten und treten neue Nutz- anwendungen der Weltraumtechnologie, deren Zielwirkung erdgerichtet ist. Eine dieser Nutz- anwendungen ist die satellitengestützte Erdfernerkundung; ihre spe- zifische Aufgabe besteht bekanntermaßen darin, Objekte auf der Erdoberfläche bzw. deren Untergrund zu beobachten, Daten darüber zu speichern und die Grund- lage für zweckgerichtete Aufbereitungen und Analysen zu liefern. (2)

Und damit ist der zwischenstaatliche Konfliktbereich abgesteckt: Wenngleich Nutzen und Vorteil der Erdfernerkundung international anerkannt sind, sehen die Staaten, die nicht über die erforderliche Weltraumtechnologie verfügen bzw. nicht an Erdfernerkundungsoperationen beteiligt sind, in der Beobachtung ihrer Territorien einen Eingriff in ihre Hoheitsrechte und verweisen auf ihre Gebietshoheit. (3) Andererseits kann das Prinzip der Freiheit der Er- forschung und Nutzung des Weltraumes zu friedlichen Zwecken als Rechtsprinzip universelle Geltung beanspruchen.

Dieser Rechtsbildungsprozeß wurde durch die UN-Resolution von 1961 und 1963 (4) begonnen und vom Grundsatz her durch den Weltraumvertrag von 1967 (5) - Finch (6) bezeichnet ihn als "Magna charta of outer space" - abgeschlossen. Schon 1970 fand das Weltraumfreiheitsprinzip Aufnahme in die UN-Prinzipiendeklara- tion. (7) Daraus resultiert, daß die Untersagung von Weltraumaktivitäten (un- abhängig von ihrer Zielrichtung) mit Verweis auf das Souveränitätsprinzip nicht haltbar ist. Dort, wo erforderlich, kann es nur darum gehen, einen ausgewogenen Kompromiß zwischen Weltraumfreiheit und Souveränität herzustellen, wobei die im allgemeinen Völkerrecht geltenden Grundprinzipien, insbesondere das Prinzip der souveränen Gleichheit und die Pflicht zur gegenseitig vorteilhaften Zusam- menarbeit, unbedingt zu berücksichtigen sind.

Bezogen auf die Erdfernerkundung bedeutet das zunächst, kompromißfähige Elemente zu bestimmen. Bereits die Erdfernerkundung als solche der staatlichen Erlaubnis erkundeter Staaten zu unterstellen, muß ausgeschlossen werden. Das würde erstens zu einer Unterordnung des Weltraumfreiheitsprinzips unter das Souveränitätsprin- zip führen, und zweitens erwächst aus der bloßen "Beobachtung" keinem Staat ein Nachteil. (8) Eine derartige Gefahr ist allerdings gegeben, wenn die aus der Beobachtung gewonnenen Informationen verwertet oder weitergegeben werden. Zumindest kann das Recht eines Staates auf freie Entscheidung über seine politischen, so- zialen, wirtschaftlichen und sonstigen Angelegenheiten betroffen sein, aber auch direkte wirtschaftliche Nachteile zu unterstellen, ist realistisch. (9) Der eigentliche Konflikt zwischen erkundenden und erkundeten Staaten siedelt sich demzufolge im Bereich der Datenauswertung und Informationsanwendung und deren

Weitergabe an. Die sozialistischen Staaten sehen die Lösung dazu in der Vereinbarung spezifischer Kriterien zur Datenweitergabe. Gemäß Artikel 4 der Konvention über die Erdfernerkundung von 1978 (10) stimmen die Vertragspartner überein, keine Daten oder daraus gewonnene Informationen über Objekte mit einem besseren Auflösungsgrad als 50 m weiterzugeben, wenn diese Objekte in einem anderen Mitgliedsland des Abkommens gelegen sind und das Einverständnis dieses Staates nicht vorliegt. Damit ist das souveräne Recht jedes Vertragsstaates, über die auf seinem Territorium gelegenen natürlichen Ressourcen selbständig zu entscheiden, hinreichend gesichert und die Durchführung der Erdfernerkundung gewährleistet. Weiterhin vereinbarten die Vertragsparteien in Artikel 10 umfangreiche Maßnahmen der Zusammenarbeit für alle Phasen des Erdfernerkundungsprozesses, um daraus gemeinsam baldmöglichst den wirksamsten praktischen Nutzen ziehen zu können. Insbesondere diese Verpflichtung ist beispielgebend für die Zusammenarbeit der sozialistischen Staaten; sie wird dem Anliegen, Weltraumtätigkeit als internationale Angelegenheit zu begreifen, im Geltungsbereich der Konvention gerecht.

Der Aufgabe, eine universelle Lösung vorzubereiten, widmet sich seit 14 Jahren der Rechtsunterausschuß des Weltraumkomitees. Nunmehr scheint ein Ergebnis vorzuliegen, das die Zustimmung aller beteiligten Staaten findet. Es mag zum besseren Verständnis des Kodifikationsprozesses und zur Bewertung des vorliegenden Ergebnisses beitragen, wichtige Phasen der Arbeit des Rechtsunterausschusses zu skizzieren: Ab 1979 befand sich ein von der UdSSR (11) eingebrachter **Prinzipienkatalog** in der Diskussion, der 17 Prinzipien umfaßte. Eine Schlüsselstellung - weil besonders umstritten - nahmen die Prinzipien zur völkerrechtlichen Verantwortlichkeit des erkundenden Staates für staatliche und nicht-staatliche Aktivitäten, zum Zugangsrecht des beobachteten Staates zu Daten betreffend sein Territorium und zum Zustimmungsbedürfnis des beobachteten Staates vor der Weitergabe von Daten betreffend sein Territorium an Dritte ein.

Da diese Prinzipien auf den entschiedenen Widerstand der kapitalistischen Staaten stießen, unterbreitete Brasilien (12) 1982 einen Kompromißvorschlag, der nur noch den Zugang der beobachteten Staaten zu Primär- und aufbereiteten Daten sichern und die Verantwortlichkeit der erkundenden Staaten auf den Fall, daß die Datenweitergabe für den betroffenen Staat tatsächlich Nachteile bewirkt, begrenzen wollte. Dieser Vorschlag stand auf der Sitzung des Rechtsunterausschusses des UN-Weltraumkomitees 1984 zur Diskussion. Die sozialistischen Staaten und die Mehrheit der dort vertretenen Entwicklungsländer erklärten sich bereit, diesem Kompromißvorschlag zuzustimmen, (13) um den Auftrag der UN-Vollversammlung, Prinzipienentwürfe zur Erdfernerkundung zu formulieren, (14) zu erfüllen. Die westlichen Staaten sahen sich jedoch außerstande, selbst dieser vermittelnden Lösung zu folgen. Stattdessen unterbreitete Frankreich (15) eigene Prinzipienentwürfe - und wurde dabei von der BRD, Italien, Kanada u. a. Staaten unterstützt - aus denen das Problem der Datenweitergabe völlig eliminiert wurde und die völkerrechtliche Verantwortlichkeit auf die Fälle beschränkt werden sollte, wo durch den Erkundungs-

prozeß an Bord eines Satelliten selbst einem anderen Staat Schaden zugefügt wird.

Der Rechtsunterausschuß stand deshalb 1985 erneut vor der Aufgabe, einen tragfähigen Kompromiß zu erarbeiten, der die Interessen aller beteiligten Staaten gebührend berücksichtigt. Wichtige Vorarbeiten dazu leistete zweifellos Österreich, das zum Abschluß der Beratungen im Weltraumausschuß einen Prinzipienkatalog (16) einbrachte. Dieser Entwurf stand im Mittelpunkt der Beratungen des Rechtsunterausschusses 1986 und wurde im Konsensus aller Ausschußmitglieder angenommen (17).

Welche Lösungen bietet der Katalog für die wesentlichsten Rechtsfragen der Erdfernerkundung an?

Der Begriff "Erdfernerkundung" wird definiert als das Sondieren der Erdoberfläche aus dem Weltraum unter Nutzung der Eigenschaften elektromagnetischer Wellen, die von den sondierten Objekten ausgestrahlt, reflektiert oder gebeugt werden, d. h., als Vorgang an Bord von Satelliten (Prinzip Ia), während der inhaltlich weitergehende Begriff "Erdfernerkundungsaktivität" auch die Prozesse auf der Erde, u. a. die Auswertung der Daten, mit einschließt (Prinzip Ie).

Hervorhebung verdient die Zweckbestimmung der Erdfernerkundung: Sie soll der Verbesserung der Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcen und der Landnutzung sowie dem Umweltschutz dienen (Prinzip Ia). Militärische Aufklärungsaktivitäten - gleichfalls friedlichen Zielen dienend und u. a. geregelt in den **SALT-Verträgen** (18) bzw. im **ABM-Vertrag** (19) - werden somit von diesem Katalog nicht erfaßt.

In den Prinzipien II - IV wird der bei der Durchführung der Erdfernerkundung zu beachtende völkerrechtliche Rahmen abgesteckt: Die UNO-Charta - namentlich die völkerrechtlichen Grundprinzipien - der Weltraumvertrag von 1967 und die relevanten ITU-Bestimmungen (Prinzip III) sollen sichern, daß Erdfernerkundungsaktivitäten dem Wohl und den Interessen aller Staaten dienen, und zwar unabhängig von deren Entwicklungsstand und unter besonderer Berücksichtigung der Bedürfnisse der Entwicklungsländer (Prinzip II). Die besonderen Belange der erkundeten Staaten finden in Prinzip IV Niederschlag: Die Erdfernerkundung darf nicht zum Nachteil der legitimen Rechte und Interessen dieser Staaten durchgeführt werden. Um die Konsequenzen dieses Prinzips zu verdeutlichen, hat die DDR bei der Annahme des Katalogs die Erklärung abgegeben, daß für den Fall der nachteiligen **Durchführung** und daraus resultierender Schäden selbstverständlich die Normen der völkerrechtlichen Verantwortlichkeit zur Anwendung kommen. Voraussetzung dafür ist, daß der erkundete Staat überhaupt über die jeweilige, ihn betreffende Aktivität erfährt. Dafür sieht Prinzip IX des Kataloges folgende Lösung vor: Im Einklang mit Artikel IV des Weltraumregistrierabkommens von 1975 und Artikel XI des Weltraumvertrages von 1967 ist jeder erkundende Staat verpflichtet, den Generalsekretär der UNO über seine Aktivitäten zu informieren. Der Generalsekretär hat diese Informationen weiterzuleiten. Der betroffene Staat soll zusätzlich das Recht haben,

ihn interessierende weitergehende Informationen anzufordern, soweit das praktisch durchführbar ist.

Schwerpunkt der Auseinandersetzung um die Erdfernerkundungsproblematik war dar- gestelltmaßen der Datenzugang, (20) nunmehr geregelt in Prinzip XIII. Demnach soll der erkundete Staat berechtigt sein, die über seinem Staatsgebiet gewonne- nen Daten sowie die daraus aufbereiteten Informationen zu angemessenen finanziel- len Bedingungen zu erwerben. Dieser Erwerb soll auf der Basis der Nichtdiskrimi- nierung, unter Berücksichtigung der Bedürfnisse und Interessen der Entwicklungs- länder und umgehend erfolgen, sobald die jeweiligen Daten zur Verfügung stehen.

Gemäß Prinzip XIII kann der erkundete Staat fordern, an einer spezifischen Erkun- dungsaktivität beteiligt zu werden; der Betreiberstaat hat dann mit dem Antrag- steller in Konsultationen zu treten. Die Bereitschaft aller erkundeten Staaten vorausgesetzt, andere Länder an ihren Aktivitäten und Programmen zu beteiligen, könnte dieses Prinzip den geeigneten Rahmen bilden, um die internationale Zusam- menarbeit bei der Erforschung und Nutzung des Weltraumes zum Wohle der gesamten Menschheit zu festigen.

Die völkerrechtliche Verantwortung der Betreiberstaaten von Fernerkundungssatel- liten ist in Übereinstimmung mit Artikel VI des Weltraumvertrages von 1967 gere- gelt, wobei auf die Feststellung Wert gelegt werden muß, daß mit Prinzip XIV, letzter Satz, alle Phasen des Erkundungsprozesses, einschließlich der Datenaus- wertung und -weitergabe, erfaßt werden.

Insgesamt ist festzustellen:

Bislang ist nicht vorgesehen, den Katalog in die Form einer UN-Konvention zu kleiden; er wird voraussichtlich als Empfehlung verabschiedet werden.

Positiv zu werten ist, daß erkundete Staaten gemäß Prinzip XII frühzeitigen Zugang auf einer nichtdiskriminierenden Basis zu allen über ihrem Staatsgebiet gewonnenen Daten einschließlich der daraus gewonnenen analysierten Informa- tion haben sollen. Bedauerlich ist allerdings, daß das zwischen den soziali- stischen Ländern angewandte und von vielen Staaten geforderte Prinzip, wonach der erkundete Staat zu bestimmten, sein Territorium betreffenden Daten Erst- zugang hat und über die Weitergabe dieser Daten an Drittstaaten die Entschei- dung trifft, keinen Eingang in den Katalog gefunden hat.

Problematisch ist m. E. auch die nicht eindeutige Regelung der völkerrecht- lichen Verantwortlichkeit des Betreiberstaates für alle Phasen des Erkun- dungs- und Auswertungsprozesses. In diesem Zusammenhang verdient die erwähn- te Erklärung der DDR zu Artikel IV unbedingtes Interesse.

Fußnoten

- (1) Vgl. dazu AUTORENKOLLEKTIV: Meshdunarodno-pravovye problemy osvoenija kosmosa  
Moskau 1983, S. 18 ff.
- (2) Vgl. ausführlicher bei PIRADOW, A. S., u. a.: Weltraumrecht  
Berlin 1978, S. 187 f.
- (3) So zusammengefaßt bei HEERE, W. P.: Earth resources satellites in:  
XVII. Colloquium des IISL  
Amsterdam 1974, S. 3
- (4) UN-Res. 1963 (XVIII vom 13. 12. 1963
- (5) GBl. der DDR Teil I 1968 Nr. 5 S. 125 ff.
- (6) FINCH, E. R.: **The Geostationary Orbit - ECOSPACE III  
in: XXVI. Colloquium des IISL  
Budapest 1983, S. 7**
- (7) Deklaration über die Prinzipien des Völkerrechts betreffend die freundschaftlichen Beziehungen und die Zusammenarbeit zwischen den Staaten in Übereinstimmung mit der Charta der Vereinten Nationen vom 24. 10. 1970  
in: Völkerrecht, Dokumente  
Berlin 1980, Teil 3, S. 709
- (8) LINDORF, Th.: Zu einigen Rechtsfragen der satelliten-  
gestützten Fernbeobachtung der Erde  
in: Über einige Probleme des Weltraum-  
rechts  
Berlin 1980, S. 45/46
- (9) So auch REINTANZ, G.: Zur Entwicklung des Weltraumrechts  
in: Neue Justiz 3/1979, S. 117  
und in der bürgerlichen  
Literatur v. KRIES, W.: Erkundung der Erde aus dem Weltraum  
in: Vereinte Nationen 4/1977, S. 116  
In diesem Sinne auch  
HAMPE, W.: Aktuelle Fragen der Entwicklung des  
Weltraumrechts im Rahmen der UNO  
in: Neue Justiz 10/1982, S. 440
- (10) in GBl. II 1980 Nr. 1 S. 27 ff.
- (11) A/AC. 105/288  
Die Bemühungen der UdSSR und der anderen sozialistischen Staaten um  
das Zustandekommen einer Erdfernerkundungs-Konvention sind instruktiv  
zusammengefaßt bei  
GÓRBIEL, A.: Outer Space in International Law  
Łódź 1981, S. 48 und 50
- (12) WG/RS (1982) /WP. 11
- (13) Vgl. u. a. die Stellungnahmen der UdSSR (Press Release OS/293), der  
DDR (Press Release /S 290) sowie Kolumbiens (Press Release OS/293)
- (14) A/Res. 38/80, Pkt. 5 a) vom 10. 2. 1984
- (15) A/AC. 105/C. 2/L. 144
- (16) UN-Doc. A/AC. 105/L. 158 vom 26. 6. 1985; vgl. dazu auch die  
Kommentierung bei  
BENKÜ, M. / GRUBER, G.: Weltraumrecht in den Vereinten Nationen  
in: ZLW. Köln 4/1985, S. 286 ff.

- (17) WG/RS (1986) /CRP. 1/Add. 1 vom 8. 4. 1986
- (18) Art. V Ziff. 1 SALT I vom 26. 5. 1972  
in: Völkerrecht, Dokumente a. a. O.,  
Bd. 3, S. 810  
und Art. XV Ziff. 1 SALT II vom 18. 6. 1979  
ebenda, S. 1075
- (19) Art. XII Ziff. 1 des Vertrages über die Begrenzung der Raketenabwehr-  
systeme vom 26. 5. 1972 i. d. F. vom 3. 7. 1974  
in: Völkerrecht, Dokumente  
a. a. O., Bd. 3, S. 808
- (20) Vgl. dazu auch  
MÜLLER, R. / REINTANZ, G.: Das Verhältnis von Souveränität und  
Weltraumfreiheit - am Beispiel der Erd-  
fernerkundung  
in: Wiss. Zeitschrift der MLU Halle,  
Heft 1/1985, S. 42

Untersuchung der Beziehungen zwischen geologisch-geophysikalischen Merkmalfeldern und Fotolineationen für die Strukturanalyse der oberen Erdkruste

J. HARFF, E. BANKWITZ, P. BANKWITZ  
Akademie der Wissenschaften der DDR  
Zentralinstitut für Physik der Erde

Zusammenfassung

Zur Identifikation verdeckter Störungen der oberen Erdkruste werden geologisch-geophysikalische Felder und Fotolineationen der Geofernerkundung komplex interpretiert. Die geophysikalisch-geologischen Merkmalfelder werden dabei als Realisierung stochastischer Prozesse aufgefaßt.

Durch "Parallel-Lineationen und "Quer-Lineationen", bezogen auf das Streichen verdeckter Störungssysteme, werden entsprechende mehrdimensionale "Lineationsfelder" bestimmt.

Mittels der vorgeschlagenen Methode werden empirische Momente zweiter Ordnung von Parallel- und Quer-Lineationsfeldern und verallgemeinerte Funktionen zur multivariaten Analyse geschätzt und mit Verfahren der statistischen Testtheorie verglichen.

Bei signifikanten Unterschieden der Momente sind Hinweise auf das Vorliegen von Störungen im Untergrund gegeben.

Die Anpassung linearer Modelle an verallgemeinerte empirische Momentenfunktionen erlaubt die Ableitung geometrischer Parameter der Störungssysteme und damit die Kartierung dieser Systeme.

Summary

Geologic-geophysical feature fields and fotolineations are complexly interpreted for the identification of buried fault zones of the upper earth's crust.

Here, the geologic-geophysical feature fields are regarded as realizations of random fields. By "parallel lineations" and "cross lineations" - related to the direction of the buried fault systems - the according multidimensional "lineation fields" are determined.

By the elaborated method experimental second-order moments of parallel- and cross lineation fields and generalized functions for multivariate analysis are evaluated and compared by methods of the statistical test theory. Significant differences between the moments of parallel- and cross lineation fields point to faults in the upper crust. Fitting experimental generalized moment functions by linear models permit the identification of geometric parameters of fault systems and by it the mapping of these systems.

Резюме

Для идентификации скрытых нарушений верхней земной коры была проведена комплексная интерпретация геолого-геофизических полей и фотолинементов, полученных по космическим данным. Геофизическо-геологические признаки полей рассматриваются при этом как реализация стохастических процессов.

Соответствующие многомерные "поля линементов" определяются через "параллельные линементы и поперечные линементы", отнесённые к простираниям скрытых систем нарушения. С помощью предложенного метода оцениваются эмпирический момент второго порядка параллельных и поперечных полей линементов и обобщённые функции многовариантного анализа, а также проводится сравнение с методами статистической теории. При заметных различиях моментов указывается на наличие нарушений в подпочве. Применение линейных моделей к обобщённым эмпирическим функциям момента позволяет сделать выводы для геометрических параметров систем нарушения и картирование этих систем.

## 1. Einleitung

Für die Analyse der Struktur der Erdkruste in geologischen Untersuchungsgebieten kann eine Vielzahl verschiedener geowissenschaftlicher Informationen verwendet werden. Das betrifft sowohl geologische Beobachtungen, Messungen geophysikalischer oder geochemischer Felder als auch Interpretationen von Fernerkundungsaufnahmen der Erde. Besonders bei der Identifikation und Untersuchung verdeckter Strukturen stellt sich das Problem der effektiven Verknüpfung der verschiedenen Informationskategorien mit dem Ziel der Ableitung von Modellen des Baus und der Strukturentwicklung in regionalen oder lokalen Krusteneinheiten.

Besondere Aufmerksamkeit wird dabei der Identifikation von Störungssystemen geschenkt, mit deren Bildung Prozesse der Mineralisation und Lagerstättengenese eng verbunden sind. Mit vorliegender Arbeit wird versucht, einen methodischen Beitrag zu dieser Problematik zu leisten. Dabei werden ein multivariates stochastisches Modell und eine geostatistische Methode zur komplexen Interpretation von Fotolineationen und geophysikalischen Messdaten verwendet, um qualitative strukturgeologische Hypothesen und Modelle linearer Störungssysteme zu stützen und Aussagen über Tiefenreichweite und Geometrie dieser Störungssysteme abzuleiten.

Grundlage bildet die Definition der Lineationsfelder als Spezialfall mehr-dimensionaler Zufallsfunktionen und die Untersuchung der Momentfunktionen zweiter Ordnung.

Mit den Ergebnissen der hier vorgeschlagenen geostatistischen Analyse werden Grundlagen für die weiterführende quantitative Unterersetzung gegeben. Diese Unterersetzung besteht z.B. in der Anwendung der Potentialfeldtheorie i. S. der Lösung inverser Aufgaben zur Interpretation der durch Einzellineationen gegebenen Realisierungen der Zufallsfelder. Auf letztere Problematik wird im Rahmen dieser Arbeit jedoch kein Bezug genommen.

## 2. Das Modell

Das Untersuchungsgebiet wird als Teil der Erdoberfläche mit dem Symbol  $R$  bezeichnet

$$R = X \times Y, \quad r \in R.$$

$R$  ist bestimmt durch kartesische Flächenkoordinaten  $X$  und  $Y$  mit Werten  $x \in X$  und  $y \in Y$ . Damit sind die Punkte  $r$  der Fläche  $R$  eindeutig durch entsprechende Vektoren  $r = (x, y)$  bestimmt. Für das Untersuchungsgebiet wird eine Menge geologisch-geophysikalischer Felder gewählt, die als  $n$ -dimensionale Zufallsfunktion zweiter Ordnung aufgefaßt und modelliert wird.

$$\vec{Z}(r) = \vec{m}(r) + \vec{Y}(r), \quad \forall r \in R.$$

Dabei bezeichnen  $\vec{m}(r)$  die Erwartungswert-Vektorfunktion und  $\vec{Y}(r)$  den Fluktuationsvektor. Die Komponenten des Feldes  $\vec{Z}(r)$

$$Z_k(r) = m_k(r) + Y_k(r), \quad k \in \{1, \dots, n\}$$

werden dabei so gewählt, dass die Erwartungswertfunktionen  $m_k(r)$ ,  $k \in \{1, \dots, n\}$  i.S. der Potentialfeldtheorie Krusteninhomogenitäten in jeweils verschiedenen Teufenbereichen widerspiegeln. Damit ist die Struktur des zu untersuchenden Krustenbereichs "schichtweise" auf die einzelnen Komponenten des  $n$ -dimensionalen Zufallsfeldes abgebildet.

Für die Störungsidentifikation sind insbesondere Anomalienflanken der Erwartungswertfunktionen von Bedeutung, die auf einen Vertikalversatz der Schichtfolge an Störungssystemen hinweisen können.

Ebenso wie die Anomalien der Potentialfelder können Lineationen an der Erdoberfläche, die als "Fotolineation" aus Fernerkundungsaufnahmen ableitbar sind, Informationen über die Struktur eines Krustenbereichs liefern.

Jede Lineation  $L_i$  stellt eine Untermenge der Fläche  $R$  dar

$$L_i \subset R, \quad l_i \in L_i.$$

Die Elemente  $l_i$  bilden linear geordnete Punktmengen. Eine Lineation wird eindeutig definiert

$$L_i := (\varphi_i, d_i, \hat{l}_i).$$

Dabei stellen  $\varphi_i$  den Richtungswinkel,  $d_i$  die Länge und  $\hat{l}_i$  einen Endpunkt der Lineation dar.

Die Lineationen können sowohl lineare Störungssysteme des Untergrundes als Abschiebungen oder Flexuren mit vertikalem Versatz der Schichtfolgen als auch quer dazu verlaufende Weitungsstrukturen ohne einen Horizontalversatz der Schichtfolgen nachzeichnen.

Bei der Abbildung des Störungssystems auf die Lineationen ist ebenso wie bei der Beziehung zwischen Quelle und Potentialfeld von einer stochastischen Relation auszugehen.

Aus diesem Grunde werden die Lineationen als Realisierungen von Zufallsvektoren aufgefaßt. Dabei ist zu unterscheiden zwischen dem Zufallsvektor der störungsparallelen Lineation (im folgenden Parallel-Lineation genannt)

$$\vec{Z}^P = (\Phi^P, D^P, \hat{L}^P)$$

und dem Vektor der quer zum Störungssystem verlaufenden Lineation (im folgenden Quer-Lineation genannt)

$$\vec{Z}^C = (\Phi^C, D^C, \hat{L}^C).$$

Dabei stellen  $\Phi^*$  die Zufallsvariable des Richtungswinkels,  $D^*$  die Zufallsvariable der Lineationslänge und  $\hat{L}^*$  die Zufallsvariable des Endpunkts dar.

Als wesentliches Unterscheidungskriterium dient der Erwartungswert der Richtungswinkel  $E[\Phi^P] = \bar{\varphi}^P$  und  $E[\Phi^C] = \bar{\varphi}^C$ , deren Differenz maximal wird  $|E[\Phi^P] - E[\Phi^C]| \rightarrow \text{MAX}$ .

Weitere Strukturmerkmale des Störungssystems, wie z.B. die "Achse", können aus den Erwartungswerten der o.a. Zufallsgrößen einfach abgeleitet werden.

Durch die Lineationen werden zwei Zufallsfunktionen bestimmt. Wir unterscheiden das Parallel-Lineationsfeld

$$\vec{Z}^P(l) = \vec{m}^P(l) + \vec{Y}^P(l), \quad \forall l \in L^P$$

und das Quer-Lineationsfeld

$$\vec{Z}^C(l) = \vec{m}^C(l) + \vec{Y}^C(l), \quad \forall l \in L^C.$$

Sowohl  $\vec{Z}^P(l)$  als auch  $\vec{Z}^C(l)$  stellen Teilmengen des Feldes  $\vec{Z}(r)$  dar, so daß die Fluktuationen dieser Felder identisch sind.

Für das Parallel-Lineationsfeld muß von der Hypothese der Stationarität zweiter Ordnung ausgegangen werden.

D.h., der Erwartungswertvektor ist in Richtung der Störung, in der keine Variation der Potentialfeld-Quelle angenommen wird, konstant

$$E[\vec{Z}^P(l)] = \vec{m}^P, \quad \forall l \in L^P.$$

Entsprechend ist die Kreuzvariogramm-Matrix lediglich als Funktion des Abstandes  $h$  auf  $L^P$  anzusehen:

$$\Gamma^P(h) = (\gamma_{ks}^P(h)), \quad k, s \in \{1, \dots, n\}$$

mit

$$\begin{aligned} \gamma_{ks}^P &= \frac{1}{2} E[(Y_k(1+h) - Y_k(1))(Y_s(1+h) - Y_s(1))] \quad (1) \\ &= \frac{1}{2} E[(Z_k(1+h) - Z_k(1))(Z_s(1+h) - Z_s(1))], \quad l \in L^P \end{aligned}$$

Dagegen erfaßt das Quer-Lineationsfeld die Variation der Erwartungswertvektor-Funktion des Feldes  $\vec{Z}(r)$

$$E[\vec{Z}^C(l)] = \vec{m}^C(l), \quad \forall l \in L^C.$$

Die Variation dieser Funktion ist durch den Vertikalversatz der Schichtfolge und damit eine Inhomogenität der Quelle quer zum Streichen des Störungssystems bedingt.

In die Kreuzvariogramm-Matrix des Lineationsfeldes  $\vec{Z}^C(l)$  geht damit auch die Variation der Erwartungswertvektor-Funktion ein. Da deren Änderung im Störungsbereich als linear anzusehen ist, hängt auch die Kreuzvariogramm-Matrix  $\Gamma^C(h)$  nur vom Abstand  $h$ , nicht aber von den

Punkten  $l \in L^c$  ab

$$\Gamma^c(h) = (\gamma_{ks}^c(h)) \quad k, s \in \{1, \dots, n\}$$

mit

$$\gamma_{ks}^c(h) = \frac{1}{2} E \left[ (\gamma_k^c(1+h) - \gamma_k^c(1)) (\gamma_s^c(1+h) - \gamma_s^c(1)) \right] + \frac{1}{2} \left[ (m_k^c(1+h) - m_k^c(1)) (m_s^c(1+h) - m_s^c(1)) \right], \quad l \in L^c \quad (2)$$

Wegen der identischen Fluktuationen von Parallel- und Quer-Feld kann man schreiben:

$$\gamma_{ks}^c(h) = \gamma_{ks}^p(h) + \frac{1}{2} \left[ (m_k^c(1+h) - m_k^c(1)) (m_s^c(1+h) - m_s^c(1)) \right], \quad l \in L^c \quad (3)$$

Betrachtet man paarweise die Elemente der Hauptdiagonalen der Kreuzvariogramm-Matrizen  $\Gamma^c(h)$  und  $\Gamma^p(h)$ , d.h. die einfachen Variogramme der Komponenten  $Z_k(l)$ ;  $k \in \{1, \dots, n\}$  der n-dimensionalen Zufallsfunktionen und modelliert diese durch geeignete Funktionen, wie z.B. das sphärische Modell, so weisen diese Modelle bei Vorliegen von Störungen in den jeweiligen Teufenbereichen signifikante Unterschiede auf. Als ein wesentliches Unterscheidungskriterium kann dabei der Vergleich der Varianzen

$$\sigma_k^c = \gamma_{kk}^c(h), \quad h > a_k^c \quad \text{und} \quad \sigma_k^p = \gamma_{kk}^p(h), \quad h > a_k^p$$

dienen, ( $a_k^c$  und  $a_k^p$  bezeichnen dabei den Range-Parameter der Variogramme für Parallel- und Quer-Lineationsfeld  $Z_k^c(l)$  und  $Z_k^p(l)$ ).

Zur komplexen Analyse der multivariaten Lineationsfelder werden hier verallgemeinerte Momente auf Grundlage einer Spurbildung der Kreuzmomentmatrizen definiert.

Zur einheitlichen Skalierung der Merkmalsfelder werden dazu die Kreuzvariogramm-Matrizen durch Bildung der HADAMARD-Produkte mit geeigneten Gewichtsmatrizen  $\Delta$  normiert

$$\bar{\Gamma}^g(h) = \Gamma^g(h) * \Delta, \quad g \in \{p, c\}.$$

Ein Beispiel für eine Konkretisierung der allgemein angegebenen Gewichtsmatrix  $\Delta$  wird unten gegeben.

Die verallgemeinerten Variogramme der Lineationsfelder ergeben sich nun folgendermaßen

$$G^g(h) = Sp(\bar{\Gamma}^g(h)), \quad g \in \{c, p\}.$$

Wegen der Beziehungen (3) kann man nun eine Funktion

$$D(h) = G^c(h) - G^p(h) \quad (4)$$

definieren, die genau die Variation der n-dimensionalen Erwartungswertvektorfunktion des Quer-Lineationsfeldes summarisch erfaßt.

Der Verlauf der Funktion  $G(h)$  drückt generelle geometrische Eigenschaften des Störungssystems aus. Insbesondere der Bereich des Anstiegs der Funktion  $D(h)$  spiegelt die für die Kartierung wesentliche "Weite" des Störungssystems als Erwartungswert wider. Zur Modellierung der Funktion  $D(h)$  eignen sich einfache lineare Funktionen.

### 3. Die Methode

Die hier vorgeschlagene Methode zur geostatistischen Strukturanalyse der Kruste gliedert sich in die folgenden beiden Hauptschritte:

- (1) Analyse von Richtung, Verteilung und Längen der Fotolineationen. Aus dieser Analyse ergeben sich Hypothesen über die Lineationen als Indikationen von Störungssystemen der Kruste.
- (2) Schätzung von Momentfunktionen zweiter Ordnung von Parallel- und Quer-Lineationsfeldern, zur Prüfung von Hypothesen über die Existenz von verursachenden Störungssystemen und Ableitung von Aussagen über deren Teufenreichweite und Geometrie.

Mit dem vorliegenden Beitrag wird nur die zweite Aufgabenstellung behandelt. Zur Frage der statistischen Analyse der Verteilung linearer Elemente der Fläche wird auf die bekannte Literatur, wie AGTERBERG (1974) verwiesen.

Mit der Lösung der ersten o.a. Aufgabenstellung erhält man zwei Lineationsmengen mit einer maximalen Differenz der Erwartungswerte der Richtungswinkel, die als Realisierungen von Vektoren  $\vec{z}^p$  und  $\vec{z}^c$  aufgefaßt werden. Zur Prüfung der Hypothesen über die strukturgeologische

Indikation der Lineationfelder sind zunächst für endliche Punktmengen der Einzellineationen  $L_j$  Werte der Merkmalsfelder  $Z_k(l_j)$  auf Grund von Messungen des Merkmalsfeldes in ihrer Umgebung zu schätzen.

Dazu wird die Methode der linearen Interpolation genutzt

$$Z_k^M(l_j) = \sum_i \lambda_i z_k(r_i), \quad i \in \{1, \dots, N\}, \quad l_j \in L_j.$$

Dabei bezeichnen  $Z_k^M(l_j)$  den Schätzwert des Feldes  $Z_k$  im Punkt  $l_j$ ,  $z_k(r_i)$  einen entsprechenden Meßwert in der Umgebung und  $\lambda_i$  ein Gewicht, das i. S. einer optimalen Schätzung bestimmt wird.

Es erfolgt nun zunächst für die Einzelmerkmalsfelder die Schätzung der Variogramme. Dafür wird die bekannte Formel verwendet

$$\delta_{kk}^{gM}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z_k^M(l_{i+h}) - Z_k^M(l_i))^2, \quad l_i \in L^g, \quad g \in \{c, p\}. \quad (5)$$

Durch Anpassung eines Modells, z.B. der sphärischen Funktion (S. JOURNEL & HUIJBREGIS 1978), werden die empirischen Varianzen

$$s_k^g = \delta_{kk}^{gM}(h), \quad h > a^{gM}, \quad g \in \{c, p\}$$

geschätzt.

Zur Prüfung der Hypothese  $H_0: \sigma^c = \sigma^p$  gegen die Alternativhypothese  $H_1: \sigma^c \neq \sigma^p$  wird ein Störungsindex bestimmt

$$FI = s_k^c / s_k^p.$$

Übersteigt der Störungsindex den Wert einer F-Verteilung mit  $f_1$  und  $f_2$  Freiheitsgraden und einer Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$ , so wird die Hypothese  $H_0$  zugunsten der Hypothese  $H_1$  verworfen und die Annahme einer Vertikaleörung in Richtung des Parallel-Lineationfeldes  $Z_k^p(l)$  gestützt.

Die Untersuchung der Merkmalsfelder erfolgt sequentiell, so daß "stockwerkweise" die Störung vom Hangenden zum Liegenden verfolgt werden kann.

Die Schätzung der verallgemeinerten Variogrammfunktionen erfolgt mit folgender Formel:

$$G^{gM}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \sum_{k=1}^n (Z_k^M(l_{i+h}) - Z_k^M(l_i))^2 \cdot \delta_k^M, \quad l_i \in L^g, \quad g \in \{c, p\}. \quad (6)$$

Dabei bezeichnet  $\delta_k^M$  ein Element der Hauptdiagonalen der empirischen Gewichtsmatrix  $\Delta^M$ . Diese Matrix wird hier folgendermaßen konkretisiert

$$\Delta^M = (s_{ks} / n), \quad k, s \in \{1, \dots, n\}$$

mit

$$s_{ks} = \frac{1}{N-1} \sum_i (z_k(r_i) - m_k^M) (z_s(r_i) - m_s^M).$$

Dabei werden die empirischen Erwartungswerte  $m_k^M$  und  $m_s^M$  anhand der Gesamtmeßdaten der Felder  $Z_k(r)$  und  $Z_s(r)$  bestimmt, und  $z_k(r_i)$ ,  $z_s(r_i)$  stellen räumlich unkorrelierte Meßdaten dar.

Unter der Voraussetzung der identischen Fluktuationen der Lineationsfelder und der daraus abgeleiteten Beziehungen (3) und (4) kann man nun die Funktion  $D^M(h)$  einfach bestimmen

$$D^M(h) = G^{cM}(h) - G^{pM}(h). \quad (7)$$

An die experimentelle Funktion  $D^M(h)$  kann ein lineares Modell einfach mit der Methode der kleinsten Quadrate angepaßt werden. Aus dem Abstand der Schnittpunkte der linearen Modellfunktionen kann dann die Weite des Störungssystems geschätzt werden.

#### 4. Ein Anwendungsbeispiel

Als Anwendungsbeispiel wurde ein Gebiet aus dem Bereich der Norddeutsch-Polnischen Senke ausgewählt.

Zwei geophysikalische Felder gingen in die Untersuchung ein. Das Feld der Laufzeit elastischer Wellen (s. Abb. 1) liefert entsprechend einem Meßpunktabstand von 4 km Informationen über die Krustenstruktur bis 1000 m Teufe und damit den Bau mesozoischer Schichtfolgen.

Als zweites Feld wurde die Bouguer-Schwere gewählt (Abb. 1) als Ausdruck der Struktur der tieferen Kruste bis zu einem Bereich von 10 bis 12 km mit paläozoischen und proterozoischen Gesteinen.

Auf Grund einer statistischen Häufigkeitsanalyse der Fotolineationen konnten korrespondierende Realisierungen einer Parallel- und einer Quer-Lineation identifiziert werden. Ausgewählte Einzellineationen sind in Abb. 1 dargestellt.

Werte der Lineationsfelder wurden mittels linearer Interpolation nach den vorliegenden Meßdaten der geophysikalischen Felder geschätzt. Mit diesen Werten wurden zunächst die experimentellen Variogramme des Feldes der Laufzeit elastischer Wellen bestimmt. Die experimentellen Variogramme für Parallel- und Quer-Lineationsfelder sind in Abb. 2 dargestellt. Die nach einer Modellanpassung geschätzten Varianzen  $s_{\Delta t}^C$  und  $s_{\Delta t}^P$  sind in der Abb. 2 gekennzeichnet.

Mit  $s_{\Delta t}^C = 1,36$  und  $s_{\Delta t}^P = 0,11$  ergibt sich ein Störungsindex  $FI_{\Delta t} = 12,4$ . Verglichen mit dem entsprechenden Wert einer F-Verteilung, kann mit  $f_1=f_2=60$  Freiheitsgraden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha = 0,001$  die Hypothese  $H_0$  verworfen und die Annahme eines Störungssystems im Teufenbereich bis 1,0 km gestützt werden (s. auch Werte der F-Statistik in Tab. 1).

In gleicher Weise wurden die Meßdaten der Bouguer-Schwere behandelt. Experimentelle Variogramme des entsprechenden Parallel- und Quer-Lineationsfeldes sind in Abb. 3 dargestellt. Mit  $s_{\Delta g}^C = 1,42$  und  $s_{\Delta g}^P = 0,04$  ergibt sich der Störungsindex  $FI = 35,5$  für die Bouguer-Schwere, d.h., auch für den Bereich der tieferen Kruste kann damit die Existenz der Störung angenommen werden (s. Tab. 1).

Die experimentellen, verallgemeinerten Variogramme des 2-dimensionalen Parallel- und Quer-Lineationsfeldes  $G^{P*}(h)$  und  $G^{C*}(h)$  sind ebenso wie die Funktion  $D^*(h)$  in der Abb. 4 dargestellt.

Es wurde eine Anpassung eines linearen Modells an  $D^*(h)$  vorgenommen. Der Abstand der Schnittpunkte der Geraden

$$D(h) = - 0,125 + 0,1772 h$$

mit  $D(h) = 0,0 \quad \forall h < 3,5 \text{ km}$  und  $D(h) = 1,28 \quad \forall h > 41,5 \text{ km}$  gibt mit  $A = 38,5 \text{ km}$  die sich im 2-dimensionalen Quer-Lineationsfeld abbildende generelle Weite des Störungssystems an.

In Abb. 5 ist das Störungssystem mit der aus den Erwartungswerten von Richtungswinkel und Startpunkt abgeleiteten Achse und der Weite A in Beziehung zu den vereinfachten Isolienienkarten der Laufzeit und der Schwere als Projektion an die Erdoberfläche dargestellt.

Auf Grund der Tiefenreichweite wird für dieses Störungssystem eine proterozoische-paläozoische Anlage und eine meso-neozoische Reaktivierung angenommen.

Insbesondere die Reaktivierung ist für lagerstättenkundliche Fragen, wie die Bildung oder Zerstörung von Fallen für flüssige und gasförmige Kohlenwasserstoffe, relevant.

## 5. Literatur

AGTERBERG, F.P.: Geomathematics. Mathematical background and geo-science application.- Amsterdam: Elsevier 1974

JOURMEL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J.: Mining geostatistics.- New York: Acad. Press 1978

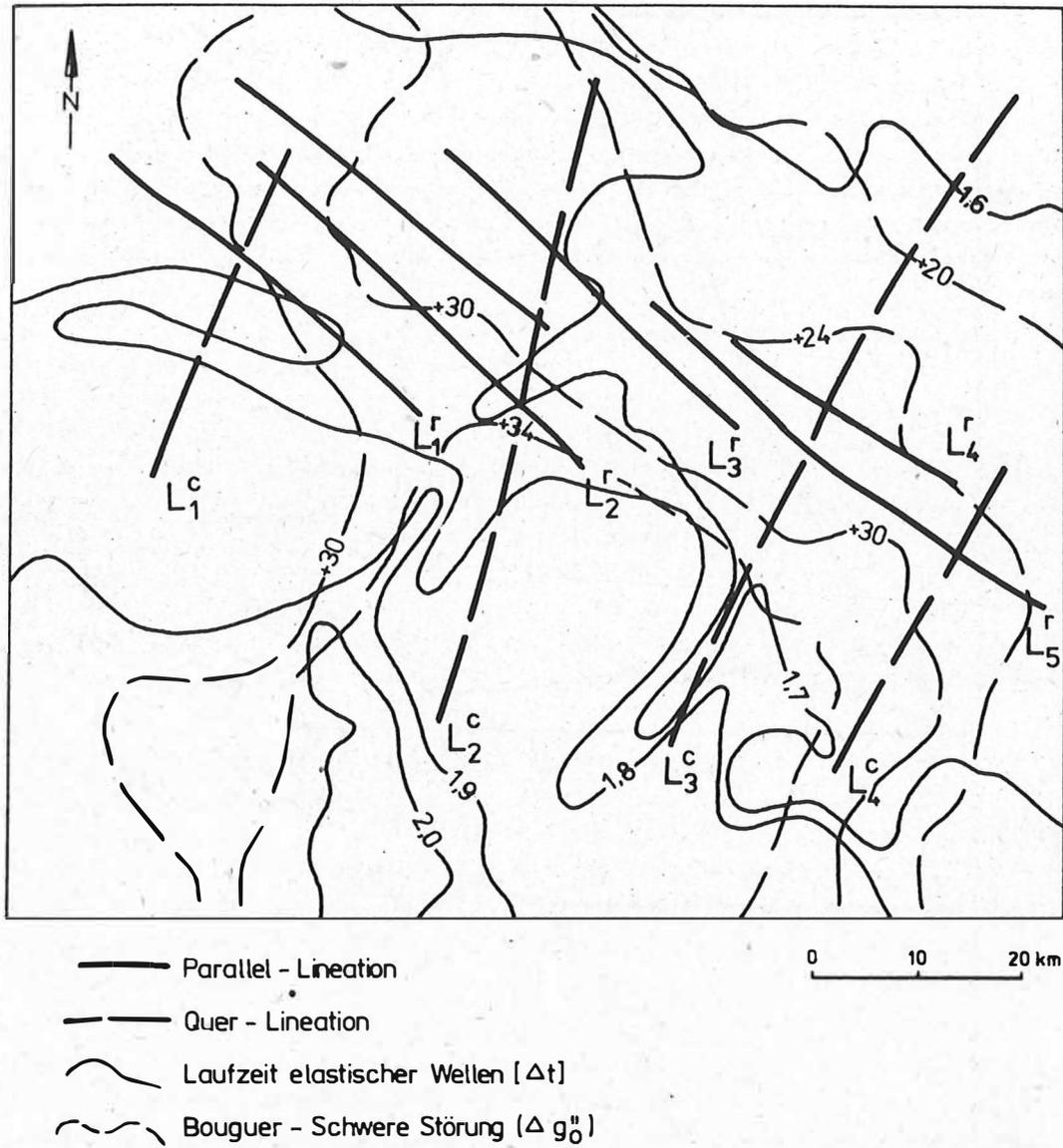


Abb. 1 Geophysikalische Felder und Fotolineationen eines Untersuchungsgebietes im Bereich der Norddeutsch-Polnischen Senke

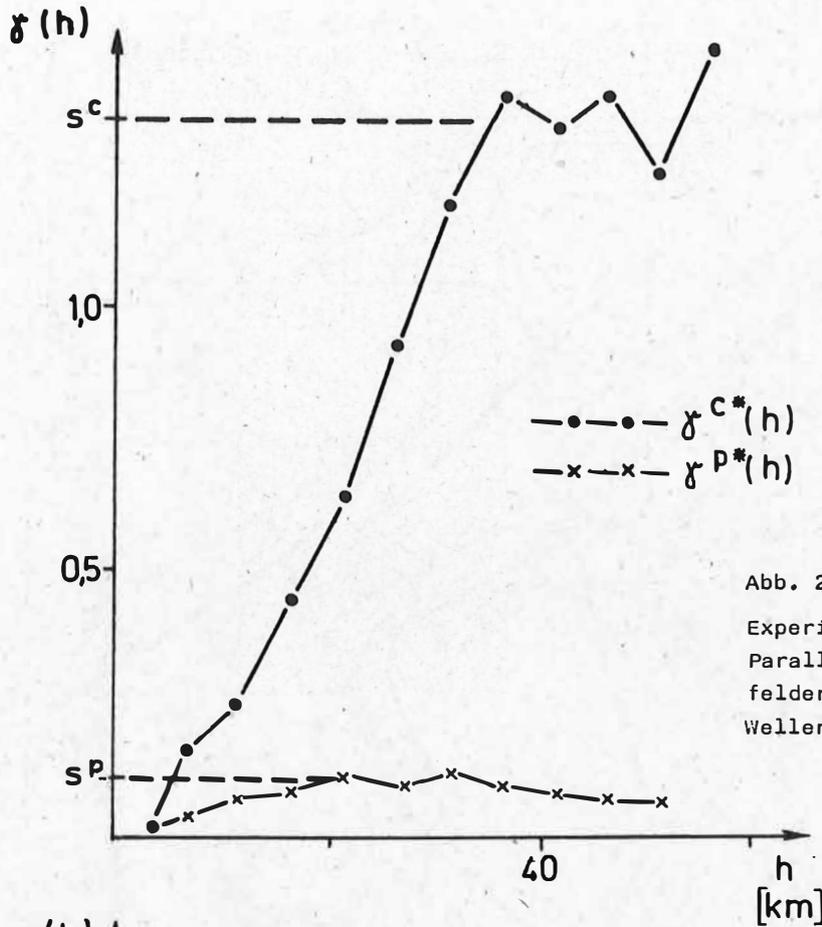


Abb. 2

Experimentelle Variogramme für Parallel- und Quer-Lineationsfelder (Laufzeit elastischer Wellen)

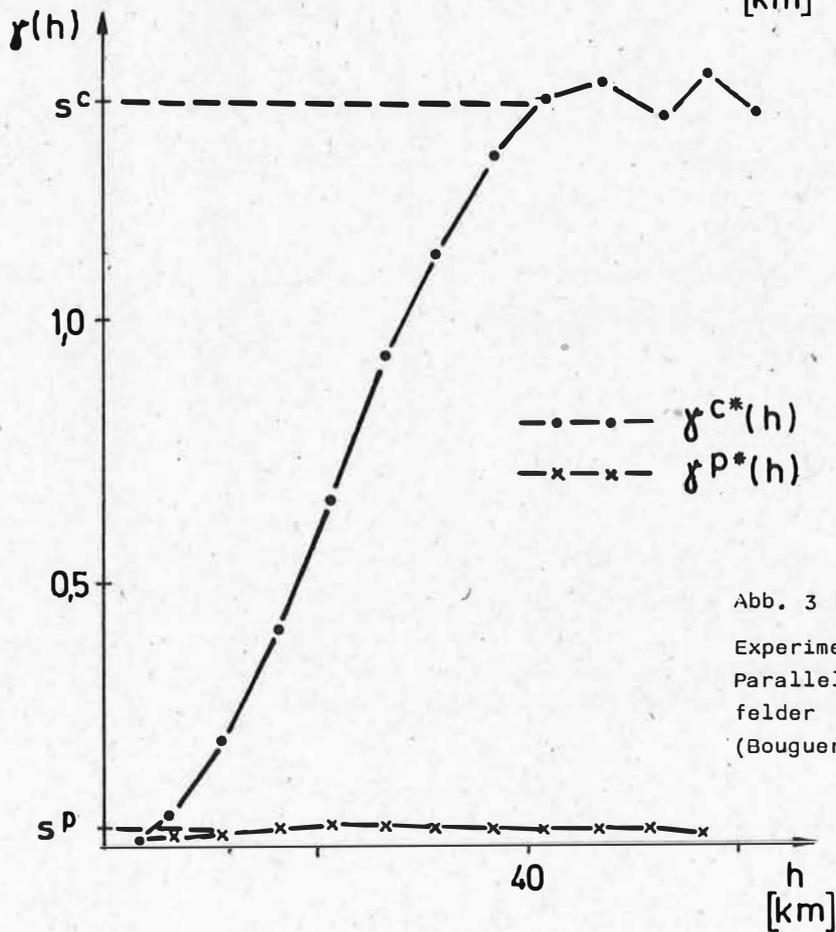


Abb. 3

Experimentelle Variogramme für Parallel- und Quer-Lineationsfelder (Bouguer - Schwere Störung)

Merkmals - feld	$s^c$	$s^p$	Störungs- index F I	F - Wert $f_1 = f_2 = 60$ $\alpha = 0.0001$	Störung ?
Laufzeit (1000m Teufe)	1.36	0.11	12.4	2.7	ja
Gravimetrie (10km Teufe)	1.42	0.04	35.5	2.7	ja

Tab. 1 Interpretation des Störungsindex FI bezogen auf Tiefenbereiche 1000 m und 10 km des Untersuchungsgebietes

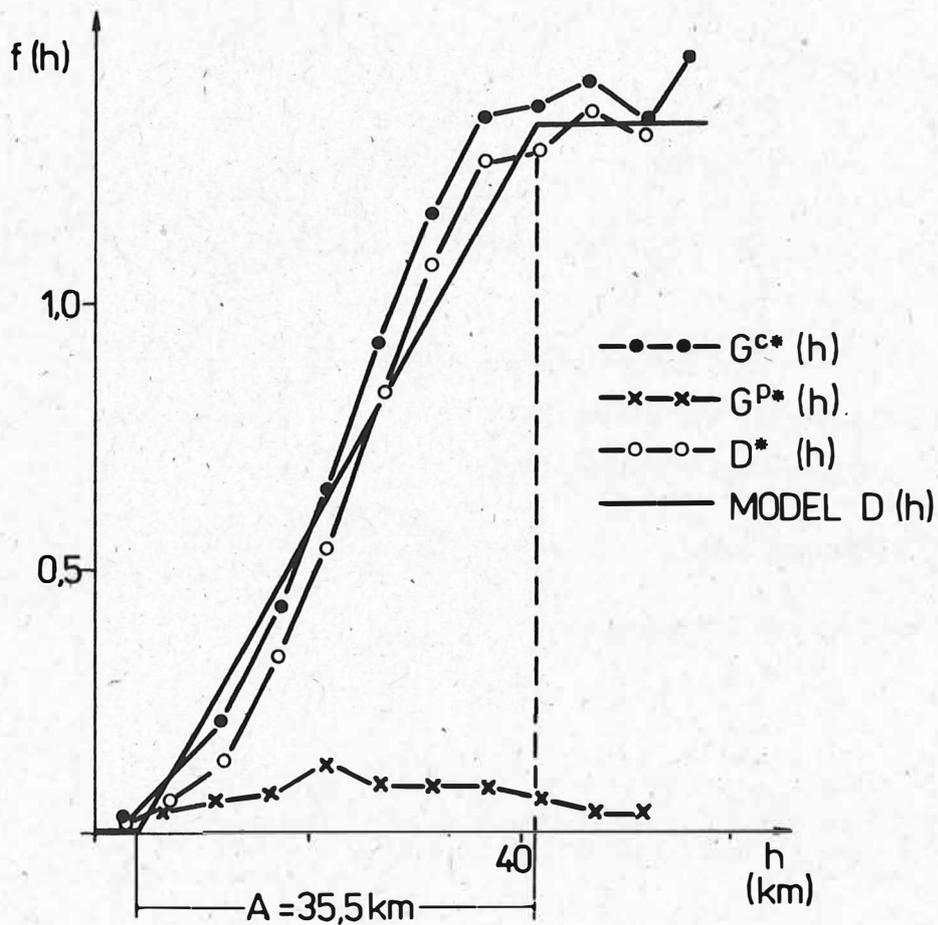


Abb. 4 Experimentelle verallgemeinerte Variogramme der 2-dimensionalen Parallel- und Quer-Lineationsfelder, Differenzfunktion  $D^*(h)$  und lineares Modell

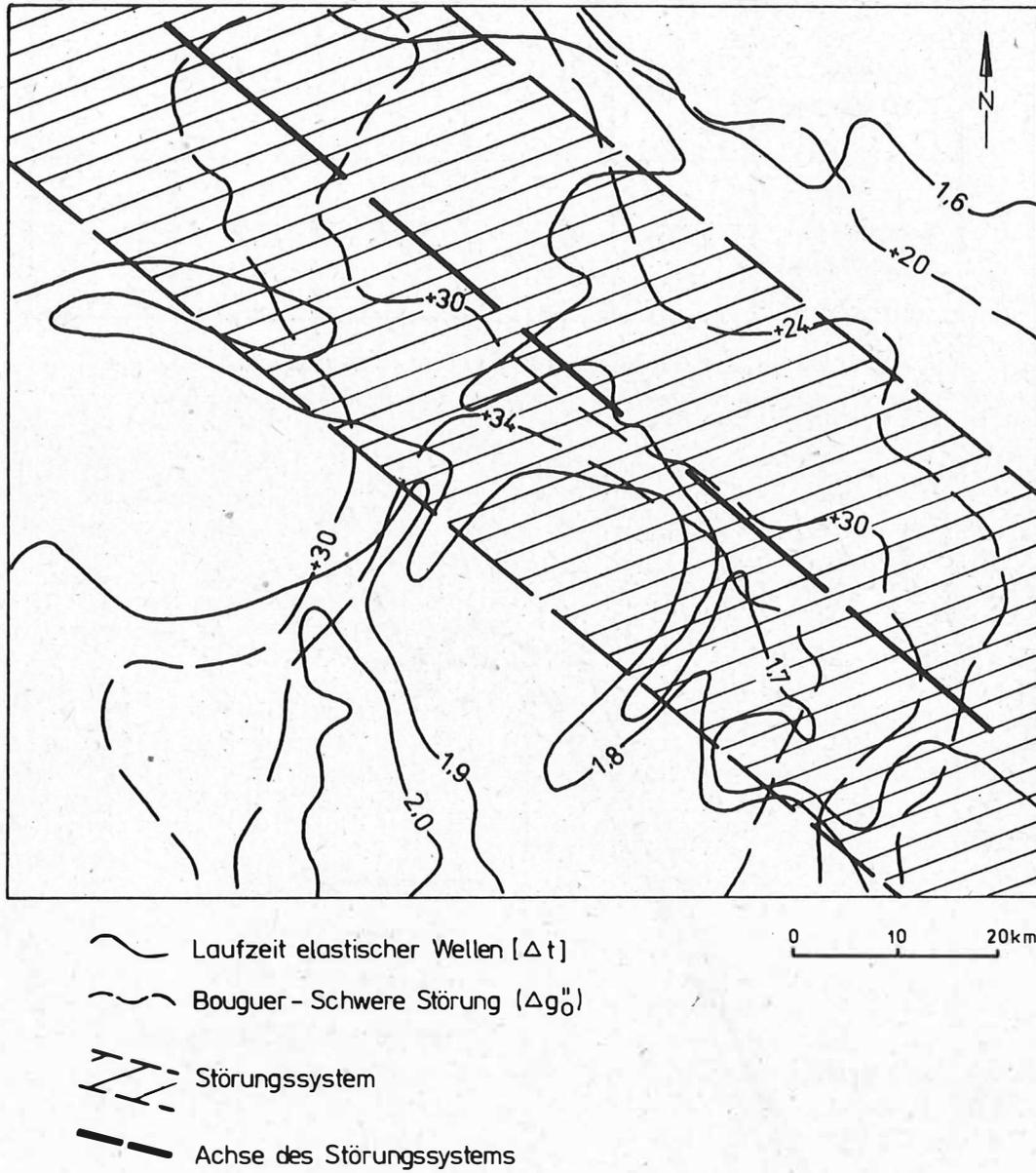


Abb. 5

Störungssystem als Ergebnis der Interpretation der experimentellen Variogramme und abgeleiteter Funktionen von Parallel- und Quer-Lineationsfeldern, von Laufzeit elastischer Wellen und Bouguer - Schwere Störung

Lineare und nichtlineare Scheidelinien der Westkarpaten, identifiziert mittels kosmischer Aufnahmen

J. KVITKOVIČ; J. FERANEC

Slovakische Akademie der Wissenschaften  
Geographisches Institut BratislavaZusammenfassung:

Es werden die geologischen Ergebnisse einer visuellen Interpretation von LANDSAT-Aufnahmen (multispektral, multitemporal) für das Gebiet der Westkarpaten (ČSSR) mitgeteilt, wobei der Schwerpunkt auf einer detaillierten Lineations-Analyse liegt.

Summary:

The paper presents the geological results of the visual interpretation of LANDSAT images (multispectral, multitemporal) for the Western Carpathian Mts. (Czechoslovakia), with the emphasis on detailed lineation analysis.

Резюме

Показывается результат визуальной геологической интерпретации снимков, полученных системой LANDSAT, для района западных Карпат /ЧССР/. Приводится детальный анализ линеаментов.

Die Interpretation multispektraler kosmischer Aufnahmen für geomorphologische und geologische Zwecke liefert Beiträge zur Gewinnung neuer Erkenntnisse über das Wesen und die Entwicklung geologischer Strukturen und Morphostrukturen, über ausgeprägte Oberflächenformen u. ä. Viele dieser Angaben stimmen überein mit bekannten Tiefbruchzonen, Störungssystemen, Reliefformen und weiteren geologisch-geomorphologischen Phänomenen der Erdkruste.

Als lineare und nichtlineare Scheidelinien betrachten wir gerade oder kreis- bis ellipsenförmige lineare Elemente, die auf den Aufnahmen durch markante Abbildungsdichte (Grautonänderung) zum Ausdruck kommen und sich in den meisten Fällen auch durch die Form der Täler, Bergrücken, Hänge, die Lage der Sättel bzw. durch weitere geometrische Aspekte des Reliefs, deren Grundrißcharakteristika auf den Aufnahmen [7] abzeichnen. Nach Korrelation der angeführten Scheidelinien mit Ergebnissen geologisch-geomorphologischer und geophysikalischer Forschungen wurde festgestellt, daß viele von ihnen z. B. Bruchstörungsabschnitten, Vulkanitkomplexen u. ä. entsprechen. Mehrere identifizierte lineare und nichtlineare Scheidelinien präzisieren jedoch den Verlauf bekannter Bruchstörungen, evtl. weisen sie auf ihre weitere Fortsetzung hin, vor allem im Kontext breiterer regionaler Bindungen und tragen auch zu neuen Erkenntnissen bei, wie es in diesem Beitrag angeführt wird. Wir möchten besonders betonen, daß identifizierte lineare und nichtlineare Scheidelinien nicht als tektonische Störungen bzw. Lineamente betrachtet werden können. Durch diese Termini werden oft lineare und nicht-

lineare Charakteristika der Erdoberfläche unrichtig bezeichnet – gewonnen vor allem durch Interpretation kosmischer Aufnahmen – die nur ihre geometrischen Aspekte dokumentieren. Die Äußerung der angeführten Charakteristika der Erdoberfläche auf kosmischen Aufnahmen kann verursacht sein z. B. durch das Vorkommen geradliniger Flußtäler, Geländekanten, Vegetationsstreifen, verschiedener anthropogener/technogener Objekte u. ä. Die erwähnten geometrischen Aspekte der Erdoberfläche müssen jedoch keine tektonischen Prädispositionen widerspiegeln. Deshalb ist es falsch, das Eigenschaftswort "linear" mit dem Hauptwort "Lineament" bei der Charakterisierung gegenständlicher Resultate der Interpretation kosmischer Aufnahmen zu vertauschen, ohne Beweise durch geomorphologische, geologische und geophysikalische Forschung zu haben.

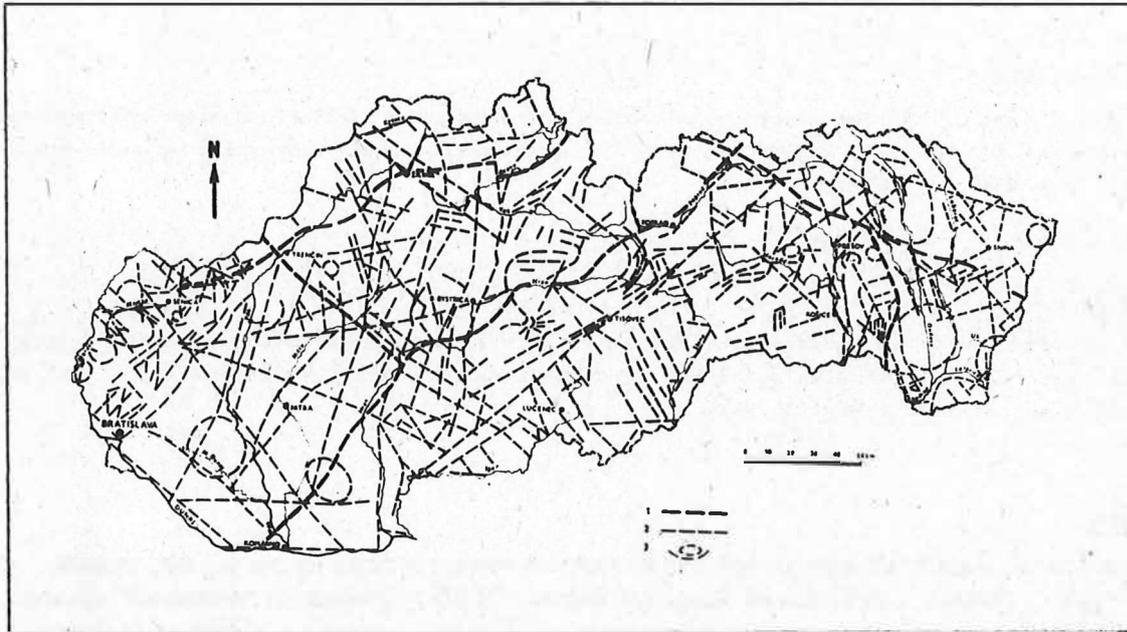


Abb. 1: Lineare und nichtlineare Scheidelinien der Westkarpaten, identifiziert mittels kosmischer Aufnahmen (Autoren: J. Kvitkovič, J. Feranec)

- 1 - lineare Scheidelinien, die tiefreichenden Störungen entsprechen;  
 2 - lineare Scheidelinien; 3 - nichtlineare Scheidelinien

Das Ziel der Arbeit ist nicht nur, ein umfassenderes Bild über einige Regionen der Westkarpaten zu bieten, sondern sie als eine Gesamtheit aus dem Aspekt des Vorkommens linearer und nichtlinearer Scheidelinien in Karten, Maßstab 1:1 Mill. (Abb. 1), darzustellen. Zu diesem Zweck haben wir LANDSAT-Aufnahmen der Kanäle 5 und 6 benutzt; das Gebiet der Slowakei bedecken 5 Aufnahmen dieses Typs.

Die Aufnahmen wurden im Februar und November 1978, also außerhalb der Vegetationsperiode, registriert. Zur Präzisierung der Interpretationsergebnisse, die mit dem Multispektralprojektor MSP-4 gewonnen wurden, wäre es nötig, Ergebnisse von weiteren Registrierungen aus verschiedenen Zeitabschnitten zu vergleichen. Als Interpretationsmerkmale haben wir bei der Analyse der Aufnahmen Form und Farbton der Objekte benutzt.

Die interpretierten Aufnahmen wurden im sichtbaren bis nahen infraroten Teil des Spektrums gemacht. Er bietet uns nur Informationen über Objekte, die sich an der Erdoberfläche befinden. Bei Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Oberflächenformen des Reliefs und der Lithologie der Gesteine kann man aber auch <sup>auf</sup> tieferliegende Phänomene schließen, die nicht direkt sichtbar sind.

Der Originalmaßstab der interpretierten Aufnahmen war 1:3 336 000. Der Multispektralprojektor MSP-4 vergrößert die Aufnahmen konstant 5mal, so daß der Arbeitsmaßstab ungefähr 1:600 000 war. Das gewonnene Interpretationsschema linearer und nichtlinearer Scheidelinien wurde photographisch verkleinert und mit Hilfe eines Luftbild-Umzeichners in die topographische Karte 1:1 000 000 transformiert.

## Charakteristik identifizierter linearer und nichtlinearer Scheidelinien der Westkarpaten

### 1. Scheidelinien, die mit bekannten tektonischen Störungen identisch sind

Die Klippenzone, ein markantes geologisch-geomorphologisches Objekt, das die Äußeren Karpaten von den Inneren trennt, kommt auf kosmischen Aufnahmen vor allem durch das Relief und teilweise durch Grauton-Anomalien zum Ausdruck. Ihr Verlauf ist nahezu vom Myjava-Hügelland bis zum Vihorlat-Gebirge identifizierbar. Stellenweise (im Tal des Flusses Váh, bei Orava, Poprad und Laborec) ist die Linie durch quartäre Flußakkumulation und Hangsedimente maskiert. Geradlinig zieht sie z. B. vom Dunajec-Tal entlang des Fußes der Felszone Pieniny, Čergov bis zum Sekčov-Tal. Landschaftsphysiognomisch ist das angeführte tektonische Phänomen durch Klippenformen des Reliefs, Waldenklaven u. ä. betont. Eine die Klippenzone begleitende Störungszone, das sog. Peripieninen-Lineament, besitzt nach geologischen und geophysikalischen Anzeichen eine Tiefenreichweite bis in den Oberen Mantel [10].

Eine weitere tiefreichende Störung, nachgewiesen vor allem durch gravimetrische Untersuchungen, ist eine Linie der Richtung NO-SW, die sich auch morphologisch äußert. Sie zieht aus dem Poprad-Tal durch den westlichen Teil des Gebirges Kozie chrby in das Tal des Flusses Čierny Váh, durch den Sattel zwischen Andrejcová und Orlová in der Tatra-Gruppe von Král'ová hora in das Tal des Flusses Hron, teilweise seinem Verlauf folgend. Weiter zieht sie am NW-Rand der Gebirgsgruppe Pol'ana durch das Becken Zvolenská kotlina, abermals in das Hron-Tal in Richtung Komárno. Diese Linie ist auf kosmischen Aufnahmen identifizierbar, vor allem auf Grund des Verlaufes der Täler, ihrer plötzlichen Biegungen, der Anordnung der Rücken. Die angeführte Linie hat nach O. Fuszán et al. [10] eine Tiefveranlagung und stellenweise folgt sie der Grenzlinie zwischen Tatrikum und Veporikum.

Die dritte lineare Scheidelinie dieser Kategorie der Richtung NW-SO zieht aus dem Gebiet von Gottwaldovo durch den Sattel Jastrabské sedlo entlang der nördlichen Begrenzung der Berge Tribeč, Pohronský Inovec, in Fortsetzung durch das Gebirge Štiavnické vrchy und das Krupina-Plateau in das Becken Ipelčká kotlina. Diese Scheidelinie entspricht dem Verlauf des tiefreichenden Bruches von Skýcov [10].

Eine weitere, in den Mantel reichende Störung verläuft fast in Richtung N-S am östlichen Rand der Gebirge Slanske vrchy bis zur Klippenzone [19].

Die angeführten, mit tiefreichenden tektonischen Linien identischen Scheidelinien stellen das neotektonische Grundnetz der Westkarpaten dar, durch das einzelne Blöcke auf dem Gebiet der SSR begrenzt sind [11, 18, 19].

2. Weitere Grundrichtungen linearer Scheidelinien, die auf kosmischen Aufnahmen identifiziert wurden und nur teilweise mit Ergebnissen geologischer, geomorphologischer und geophysikalischer Forschungen verglichen wurden, sind folgende:

#### 2.1. Nord-Süd Richtungen

Eine der markantesten Scheidelinien der angeführten Richtung zieht von der äußeren Flyschzone in Richtung Dolný Kubín und Ružomberok in das Tal von Revúca und Korytnica, dann weiter nach Podkonice in die Becken Zvolenská und Pliešovská kotlina, abklingend in das Tal Krupinica. Die Scheidelinie äußert sich vor allem durch den Verlauf der Täler. Sie ist im Abschnitt durch das Revúca- und Neresnica-Tal im Becken Pliešovská kotlina durch geologische Forschungen und im Krupinica-Tal auch durch geophysikalische Arbeiten bestätigt worden [15, 27].

Eine weitere ausgeprägte Scheidelinie der analysierten Richtung zieht von der Klippenzone an der nördlichen Begrenzung der Malá Fatra durch das Ľubochňa-Tal in der Großen Fatra, durch die Gebirge Staré Hory, Kremnické vrchy (Ihráč) ins Gebirge Štiavnické vrchy (Sklené Teplice, Repište, P. Hodruša). Morphologisch kommt sie auch im Pukanec-Ausläufer des Donautieflandes zum Ausdruck. In den mittelslowakischen Neovulkaniten in Richtung der beschriebenen Scheidelinie verläuft eine weitere ausgeprägte Bruchlinie [15].

Ein weiteres System von Scheidelinien begrenzt markant das Becken Turčianska kotlina. Die am Ostrand des Beckens Turčianska kotlina entlang ziehende Scheidelinie geht weiter durch den Westrand der Gebirge Kremnické vrchy ins Becken Žiarska kotlina und in das Hron-Tal bis Žarnovica. Sie zieht durch den SW-Ausläufer des Gebirges Štiavnické vrchy, wo ihr vor allem geradlinige Abschnitte der Täler der angeführten Richtung entsprechen und findet im Donautiefeland ihren Ausklang. Diese Scheidelinie äußert sich morphologisch durch Facettenflächen vor allem am Kontakt der Becken mit Gebirgen. Es handelt sich um eine Störung von regionaler Bedeutung, die durch M. Mahel' und V. Konečný nachgewiesen wurde [27]. Sie und weitere sich kreuzende Bruchlinien haben eine wesentliche Rolle bei der Entstehung der Vulkantätigkeit und der Formung der Morphostrukturen des Slowakischen Mittelgebirges gespielt.

Diese markante Richtung kann auch am Westrand des Beckens Žilinská kotlina (am Kontakt mit dem Gebirge Súľovské vrchy) identifiziert werden (Fortsetzung durch den Sattel Pačkovské sedlo, den östlichen Gebirgsfuß der Malá Magura, das Becken der oberen Nitra, durch Skýcov in das Žitava-Tal). Die Scheidelinie macht sich auf kosmischen Aufnahmen durch markante Grautonänderungen bemerkbar (im Abschnitt des Kontaktes zwischen Becken und Gebirgen) und im weiteren Teil durch beinahe geradlinigen Verlauf der Täler.

Der tektonische Ursprung dieser Scheidelinie wurde in den meisten Abschnitten durch E. Mazúr [30] und M. Mahel' [28] bestätigt.

Scheidelinien der angeführten Richtung können weiter am Bergfuß des Považský Inovec und im Váh-Tal unterhalb der Stadt Nové Mesto nad Váhom festgestellt werden, wo sie die Auen der Flüsse Váh und Dudváh vom Trnava-Hügelland trennen. Verhältnismäßig ausgeprägt ist eine Scheidelinie der charakterisierten Richtung im Morava-Tal.

Im Gebiet des Ostslowakischen Tieflandes ist der Pozdišov-Rücken geradlinig fast von Vel'ká Domaša bis Trhovište ausgeprägt. Die Horststruktur des Pozdišov-Rückens gibt seine tektonische Begrenzung an. Das Gebirge Slanské vrchy stellt geomorphologisch eine komplizierte Horststruktur dar, die am Ende des Pliozän und im Quartär auf das angrenzende Gebiet unregelmäßig aufgeschoben wurde [13, 17, 18, 31]. Auf geologischen Karten und Profilen wird seine Genese nicht eindeutig dokumentiert [29, 34 u. a.]. Die Abbildung des Gebirges Slanské vrchy auf kosmischen Aufnahmen bestätigt eine früher ausgesprochene Annahme des Vorkommens linearer Scheidelinien der Richtung NNW-SSO und im mittleren und südlichen Teil fast N-S. Die westlichen Gebirgsränder haben am Kontakt mit dem Becken Košická kotlina einen fast analogen Verlauf. Ausgeprägt ist eine Scheidelinie der Richtung NNW-SSO, die vom Dargov-Sattel zum Becken Zlatá Baňa reicht.

Tektonischen Ursprungs ist auch das Olšava-Tal, einerseits im eigentlichen Gebirge, andererseits im Becken Košická kotlina. Eine Scheidelinie fast geradliniger N-S Richtung begrenzt den westlichen Gebirgsrand bis zu seinem Ende in der UVR. Im Becken Košická kotlina treten weitere lineare Scheidelinien der N-S Richtung auf, vor allem im Gebiet von Prešov, das mit dem Bruchsystem von Hornád in Zusammenhang steht.

Das Gebirge Branisko äußert sich als ausgeprägte Horststruktur. Sie wird im Osten und Westen durch lineare Scheidelinien der Richtung N-S begleitet, die durch Bachureň in das Torysa-Tal fortsetzen.

## 2.2. Nordwest-Südost Richtungen

Auf den analysierten kosmischen Aufnahmen kam keine Scheidelinie zum Vorschein, die mit dem Verlauf des Bruches unter der Tatra identisch wäre. Diese Feststellung könnte vielleicht präzisiert werden durch die Interpretation kosmischer Aufnahmen, die in mehreren Zeitabschnitten außerhalb der Vegetationsperiode und bei unterschiedlichem Sonnenstand gewonnen wurden.

Eine der bedeutenden linearen Scheidelinien in NW-SO Richtung ist am Fuße der West-Tatra identifizierbar. Sie verläuft unter den Facettenhängen im westlichen Teil des Gebirges, zieht durch das Becken Podtatranská kotlina durch das Čierny Váh-Tal in die Kráľ'ová hol'a-Tatra-Zone. Die Täler dieses Teiles der Niederen Tatra haben auf kosmischen Aufnahmen einen halbkreisförmigen Verlauf.

Eine weitere Scheidelinie ist identifizierbar vom Kysuca-Tal in Richtung über das Gebirge Javorníky ins Váh-Tal, durch den Durchbruch von Strečno, durch das Becken Breznianska kotlina bis zum Ort Tisovec. Diese Linie äußert sich auf kosmischen Aufnahmen vor allem in der Anlage der Täler und in manchen Abschnitten durch Grauton-Unterschiede.

Parallel mit der angeführten Linie verläuft eine andere, ebenfalls im oberen Keil des Kysuca-Tales, durch das Ge-

birge Javorníky in Richtung Kysucké Nové Mesto, Vadicov in die Kleine Fatra (Sattel unter dem V. Kriváň 1710 m. u. M.) zum Durchbruch des Flusses Váh bei Král'ovany, wo sie an der N-S Störung bei der Stadt Ružomberok abklingt.

Eine Scheidelinie der analysierten Richtung kann in der äußeren Flyschzone identifiziert werden. Sie erstreckt sich in Richtung Považská Bystrica durch den südlichen Bergfuß der Kleinen Fatra, das Žiar-Gebirge, am westlichen Rand des Gebirges Kremnické vrchy entlang, in das Becken Pliešovská kotlina. Sie wird belegt durch Bruchstufen, vor allem der Kleinen Fatra und des Gebirges Žiar. Eine weitere Parallele dieser Linie zieht durch das Teplička-Tal in Richtung Trebichava im Gebirge Strážovské vrchy, durch den Ort Zemianske Kostolany, quer durch das Vtáčnik-Gebirge zum Ort Horná Ždaňa, durch Sklené Teplice am Südrand des Beckens Pliešovská kotlina bis in das Becken Juhoslovenská kotlina.

Scheidelinien der analysierten Richtung, die mit durch geologisch und geophysikalisch belegten tektonischen Störungen übereinstimmen [10], können identifiziert werden vom Ort Jablonica über die Kleinen Karpaten, das Donautiefeland in Richtung Stárove. Ähnliche Scheidelinien verlaufen vom Ort Pezinok und von der Thebener Pforte entlang der Donau [19].

Im Slowakischen Erzgebirge sind lineare Scheidelinien der Richtung NW-SO ziemlich regelmäßig vorhanden. Ein häufigeres Vorkommen ist am Südhang des Gebirges zwischen den Flüssen Ipel' und Slaná konzentriert, wo der größte Teil der Nebenflüsse der Slaná tektonische Prädisposition besitzt [8]. Die durch das Slaná-Tal ziehende Scheidelinie hat unterschiedliche Richtungen und wurde durch geologische Forschungen, vor allem von Š. Bajaník et al., belegt [1].

Im Ostslowakischen Tiefland kann zur Richtung NW-SO eine durch das Rožňava-Tal ziehende Scheidelinie zugeordnet werden. Das erwähnte Tal folgt einer Bruchstörung, die durch Bruchhänge des Gebirges Zemplínske vrchy angezeigt wird. Diese, bis in das Becken Košická kotlina durchziehende Scheidelinie wurde vor allem durch J. Seneš und J. Švagrovský [36] und weitere Autoren [3, 27] bestätigt. Eine ähnliche Scheidelinie begrenzt den NO-Rand des Gebirges Zemplínske vrchy. Scheidelinien der analysierten Richtung kommen ebenfalls im Gebiet der Gebirge Vihorlatské vrchy und Nízke Beskydy vor, denen sich auch das Flußnetz anpaßt.

### 2.3. Nordost- und Südwest-Richtung

Eine der bedeutsamsten Scheidelinien dieser Richtung kann mit der Muran-Bruchlinie identifiziert werden. Auf der kosmischen Aufnahme läßt sie sich schon im Torysa-Teil des Gebirges Levočské vrchy erkennen, zieht dann über das Becken Hornádska kotlina am Rande des Gebirges Kozie chrbty bis zum Kontakt der Niederen Tatra mit dem Slowakischen Paradies, am SO Rand des Plateaus Muránska planina entlang und findet ihre Fortsetzung in Richtung Tisovec, Utekáč im oberen Teil des Ipel'-Tales durch stratovulkanische Komplexe des Plateaus Krupinská planina bis ins Ipel'-Tal beim Ort Šahy. Die Aktivität dieser Linie im Gebiet des Plateaus Krupinská planina äußert sich vor allem im unteren Baden durch die Entstehung eruptiver Zentren des Andesitvulkanismus [15]. Die Linie besitzt die Form schmaler Depressionen, Sättel, Täler, in welchen es stellenweise zu scharfen Flußknicken kommt, vor allem derjenigen Wasserläufe, die senkrecht auf die tektonische Linie zufließen. Am Kontakt des Beckens Ipel'ská kotlina mit dem Plateau Krupinská planina äußert sich eine durch Bruchhänge auf Neovulkaniten belegte Scheidelinie. Eine weitere Scheidelinie kann im Hron-Tal beim Eintritt in das Becken Zvolenská kotlina identifiziert werden; sie findet ihre Fortsetzung im nördlichen Teil des Gebirges Kremnické vrchy, am Nordrand des Beckens Žiarska kotlina, bei Vtáčnik, im Gebirge Považský Inovec und äußert sich auch in den Kleinen Karpaten (Becken Ložonská kotlina).

Auffallend ist die Scheidelinie, die aus dem Becken Turčianská kotlina im Grenzbereich des Gebirges Žiar und der Kleinen Fatra in Richtung der Orte Vrcko, Čičmany, Zliechov, Trenčianske Teplice verläuft und im Becken Trenčianska kotlina ausklingt. Sie wird vor allem durch geradlinige Abschnitte, Talknicke und Sättel charakterisiert.

Südlich von Rožňava zieht in Richtung Košice eine ausgeprägte Scheidelinie, die den Slowakischen Karst vom Slowakischen Erzgebirge trennt. Sie setzt sich fort in Richtung Herľany in das Laborec- und Cirocha-Tal, wo sie in der Umgebung des Ortes Snina abklingt. Mehrere Abschnitte dieser Scheidelinie entsprechen Bruchlinien. Im Hnilec-Tal sind auffallende NO-SW und NW-SO-Knicke, denen sich der gegenwärtige Wasserlauf anpaßt. Eine der

Scheidelinien äußert sich auch im Bystrá-Tal, im Gebirge Cierna hora und im Bergland Šarišská vrchovina.

Aus dem Vel'ká Svinka-Tal beim Austritt aus dem Gebirge Branisko zielt eine lineare Scheidelinie durch die Furche Široká brázda zum südlichen Bergfuß von Čergov, in die Furche Kurinská brázda am Fluß Topla. Diese Linie äußert sich durch Grautonänderungen der Abbildung wie auch morphologisch, vor allem durch die Bruchhänge von Bachurňa und Čergov.

Fast analog in Richtung und Habitus ist die Scheidelinie nördlich von Prešov, die durch Stráže ins Bergland Ondavská vrchovina zieht und im Ondava-Tal oberhalb des Ortes Stropkov ausklingt.

#### 2.4. West-Ost-Richtungen

Eine ausgeprägte, vor allem durch Grauton-Änderungen der Abbildung sich äußernde lineare Scheidelinie ist identifizierbar vom Becken Lošonská kotlina in Richtung zum Südrand des Gebirges Považský Inovec, in Fortsetzung zum Bergland Tribeč, wo sie die Zobor-Gruppe vom übrigen Gebirge trennt. Von dort zieht sie zum südlichen Bergfuß der Štiavnické vrchy und klingt im Plateau Krupinská Planina in der Umgebung des Ortes Plášt'ovce ab. Weitere Scheidelinien sind erkennbar im südlichen Teil des Donautieflandes, wie auch in den Gebirgen Javorníky und Súľ'ovské vrchy mit Ausläufern in der Kleinen, z. T. der Großen Fatra. Andere Scheidelinien der analysierten Richtung treten in den Becken Ipel'ská, Rimavská und Hordádska kotlina und auch im Gebiet der West-Beskidien auf.

#### 3. Nichtlineare Scheidelinien

In der äußeren Flyschzone äußert sich am markantesten die nichtlineare Scheidelinie mit dem Zentrum Vel'ká Domaša, Stropkov, Svidník. Die Morphologie der Rücken und Täler hat einen ausgeprägten ellipsenartigen Verlauf. Diese Struktur durchbricht auffällig die Grundrichtungen der Rücken und Täler der Richtung NW-SO an ihren Peripherien. Am Ostrand der Struktur befindet sich die bekannte Erdöllagerstätte - Miková, wo bis zum Jahre 1951 Erdöl gefördert wurde. Am NW Rand der Struktur wurden durch Bohrarbeiten Kohlenwasserstoffanzeichen zwischen den Orten Smilno und Zborov und am Nordrand der Ringstruktur beim Ort Vyšný Komárnik festgestellt.

Identifizierte lineare Scheidelinien im Rahmen der angeführten Struktur haben vor allem die Richtung NW-SO, aber es sind auch Scheidelinien der Richtungen W-O und N-S vorhanden, die vor allem an den Verlauf der Haupt- und Nebentäler gebunden sind. Aus den bislang geologisch festgestellten tektonischen Störungen wurden z. B. der Bruch in den Tälern der Wasserläufe Ondava, Radomka, Hažinka, Laborec u. a. [29] bestätigt.

Im Ostslowakischen Tiefland äußern sich 3 verhältnismäßig ausgeprägte nichtlineare Scheidelinien. Die größte von ihnen zieht durch die südlichen Teile des Bergrückens Pozdišov, dreht sich bogenartig in Richtung Michalovce und läuft bis zum Zusammenfluß der Flüsse Ondava und Trnávka. Von dort findet sie ihre Fortsetzung in einer Linie, die die flache Abdachung der Gebirge Slanské vrchy durchzieht. Die zweite befindet sich im Grenzgebiet oberhalb des Flusses Latorica, der durch seine Biegung ihren südlichen Teil begrenzt. In beiden erwähnten Kreisstrukturen wurden durch geologische Forschungen Lagerstätten von Kohlenwasserstoff festgestellt, von welchen einige schon genutzt wurden [34, 37]. Eine weitere auffallende nichtlineare Scheidelinie ist in der Ebene, im Bereich des Flusses Bodrog, identifizierbar.

Im Rahmen des Záhorie-Tieflandes, unseres perspektivreichsten Gebietes für Erdöl, können wir mehrere nichtlineare Scheidelinien identifizieren, in den erkundete Lagerstätten industriell ausgebaut werden. Im Jahre 1980 wurde eine neue Lagerstätte von Erdgas und Erdöl beim Ort Závod (in vorneogenem Substrat) entdeckt [33], die sich im Bereich einer nichtlinearen Scheidelinie nördlich vom Ort Malacky befindet.

Auch im Donautiefland gelang es, nichtlineare Scheidelinien zu identifizieren und zwar am Hron-Hügelland und im Donau-Flachland südlich vom Ort Sered'. Am Nordrand der letztgenannten Scheidelinie wendet sich der Fluß Váh von der ursprünglichen N-S Richtung in Richtung SO. Diese Änderung kann auf die Aktivität der angenommenen Ringstruktur hinweisen.

Nichtlineare Scheidelinien im Gebirge Slanské vrchy widerspiegeln Formen neovulkanischer Strukturen. Eine von ihnen befindet sich im Gebiet des Beckens Zlatá baňa und ist erosiv-tektonischen Ursprungs. Sie trennt das Olsa-va-Sammelgebiet in seinem nördlichen Teil. Eine weitere nichtlineare Scheidelinie stellt den freigelegten Lakkolitkörper von Amphibol-Pyroxen-Andesit dar, der den Berg Oblík bildet.

Zum Schluß möchten wir darauf hinweisen, daß das zusammengestellte Schema ein erstes Gesamtbild über die linearen und nichtlinearen Scheidelinien der Westkarpaten im Maßstab 1:1 000 000 repräsentiert. In weiteren Arbeiten wird es präzisiert und ergänzt und mit den Ergebnissen geomorphologischer, geologischer und geophysikalischer Forschungen verglichen werden.

---

Das Literaturverzeichnis zu diesem Beitrag (38 Titel) kann auf Wunsch zugeschickt werden.

Einige Aspekte der optoanalogen Bildbearbeitung für die geologische Forschung

P. BERNDT <sup>1)</sup>; J.V. UGLEV <sup>2)</sup>

1) Zentrales Geologisches Institut, Berlin

2) Laboratorium für Aeromethoden, Leningrad

Zusammenfassung

Der hohe Grad an Störfaktoren in aerokosmischen Bildmaterialien, der geologische Indikationen nur bedingt erkennen läßt, macht es notwendig, spezielle Bildbearbeitungen vorzunehmen, um die geologische Information einer Dechiffrierung besser zugänglich machen zu können. Dabei kommt ein breites Spektrum von Verfahren, angefangen von einfachen fotografischen Kontrastoperationen, über Maskierungs- und Filterverfahren, bis hin zu kombinierten Hybrid-systemen unter Einbeziehung optoelektronischer Mittel zur Anwendung. Diese Verfahren sind praxiswirksam und mit hoher Effektivität und Ökonomie in der Bildbearbeitung einsetzbar.

Summary

The high degree of disturbance in aerial and space photographs which allows geological indications to be identified only partly, requires specific image processing procedures to render geological information more accessible for decoding.

A great number of methods can be used for this purpose beginning from simple photographic contrast operations, methods of masking and filtering and finally, combined hybrid systems including opto-electronic tools.

These methods are effective for operational use and can be applied in image processing with high effectivity and economy.

Резюме

Высокий уровень помех на аэрокосмических материалах, позволяющий условное распознавание геологических индикаций, требует специальной обработки изображений для того, чтобы геологическая информация лучше поддавалась дешифрированию. При этом применяется широкий диапазон методов, начиная с простых фотографических контрастных операций, маскирующих и фильтрующих методов и кончая комбинированными гибридными системами с подключением оптоэлектронных средств.

Эти методы используются на практике и применяются при обработке изображений с большой эффективностью и экономичностью.

Für die Fernerkundung der Erde stellen Aero- und kosmische Aufnahmen nach wie vor Hauptinformationsquellen dar. Insbesondere gilt dies für die Geologie, trotz der schnellen Entwicklung anderer Fernerkundungsmethoden, wie z.B. der Aerogeophysik. Da geologische Objekte an der Erdoberfläche und damit auch im Aero- oder kosmischen Bild nur als indirekte Indikation in unterschiedlichster Form in Erscheinung treten, und das Signal-Rausch-Verhältnis für diese Indikationen bei Aufnahmen, teilweise oder vollständig bedeckter, anthropogen stark beeinflusster Territorien, wie der DDR, eher ungünstig sein kann, müssen an die Datengewinnung und an die primäre fototechnische Bearbeitung der gewonnenen Materialien bestimmte Anforderungen gestellt werden. Die Wiedergabe von indikativen Elementen geologischer Objekte muß

- a) die grundlegendsten Züge des geologischen Objektes widerspiegeln,
- b) eindeutig sein und dadurch eine gesicherte visuelle Wahrnehmung und Analyse möglich sein.

Aber selbst mit Hilfe höchstentwickelter fotografischer und anderer Aufnahmeverfahren und modernster Methoden der Primärbearbeitung des aufgenommenen Materials gelingt es nicht, die Vielseitigkeit der geometrischen und Helligkeitscharakteristika möglicher Indikationen geologischer Objekte in ausreichender Qualität wiederzugeben. Ursachen hierfür sind verschiedene Verfälschungsarten.

1. Gruppe: Optische und geometrische Verfälschungen infolge technischer oder natürlicher Faktoren, die zum Aufnahmezeitpunkt nicht beseitigt werden können. Dazu gehören - ungleichmäßige Objektausleuchtung, bedingt durch das örtliche Bodenrelief oder die spektralen Reflexionseigenschaften, ungleichmäßige Bildausleuchtung als Folge der optischen Eigenschaften der Kameraobjektive oder gleichzeitige fotochemische Bearbeitung von Objekten unterschiedlicher Kontraste.

Verfälschungen dieser Art unterliegen in der Regel bestimmten Gesetzmäßigkeiten und sind nach der Aufnahme des Bildmaterials zum größten Teil beseitigbar.

2. Gruppe: Störungen durch Bildrauschen. Hierunter werden alle Bildelemente verstanden, die störend auf die Wiedergabe von Details geologischer Objekte oder deren Indikationen Einfluß nehmen; dies sind Elemente anthropogener Einwirkungen, Pflanzenwuchs, Lockergesteinsablagerungen usw.

Die Kompensation dieser Art von Störung wird besonders dadurch erschwert, daß es eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten mit geologischen Elementen und deren Indikationen gibt, die oft nicht erkennbar sind.

3. Gruppe: Geologische Objekte werden auf verschiedenste Weise, z.T. auch nur indirekt, durch bestimmte Indikatoren an der Erdoberfläche wiederspiegelt. Insbesondere für geologisch bedeckte bzw. halbbedeckte Gebiete ist die Erscheinungsform geologischer Objekte an der Erdoberfläche noch nicht genügend untersucht. Oft werden diese nur fragmentarisch wiedergegeben.

Dies führt dazu, daß Verfälschungen dieser Art z.Z. praktisch nur in geringem Umfang durch spezielle Bearbeitungsmethoden beseitigt werden können.

Aus diesen Gründen sind Bilder der Erdoberfläche bei weitem kein ideales Ausgangsmaterial für eine geologische Dechiffrierung und bedürfen einer zusätzlichen Bearbeitung, um eine Abbildungsform zu finden, die gesuchte informative Elemente in ihren fotometrischen und geometrischen Eigenschaften besser darstellen und damit einer leichteren und gesicherteren Dechiffrierung zugänglich gemacht werden können.

Mit Hilfe von Bildkorrekturverfahren, wie Verstärkung des Kontrastes in "flauen" Bildern oder Kontrastausgleichsverfahren, aber auch Ausgleich des objektivbedingten Helligkeitsabfalls von der Bildmitte zum Rand hin, können Verfälschungen der 1. Gruppe beseitigt werden. So erweist es sich als äußerst effektiv, mit Hilfe einer computereimulierten zweidimensionalen Darstellung der  $\cos^4$ -Abhängigkeit des erwähnten Helligkeitsabfalls - wenn notwendig, modifiziert für die entsprechenden Wellenlängen einer Multispektralaufnahme - eine Kompensation dieser Bildverfälschung vorzunehmen. Hierzu genügt es, das Negativ des vom Rechner dargestellten Dichtefeldes mit dem entsprechenden Bild im Kontaktverfahren zu kopieren, um eine weitestgehende Beseitigung des besonders bei Farbmischungen von Multispektralaufnahmen im MSP-4 störenden Effektes zu erzielen.

Bildfilterverfahren sind auf die Verringerung oder Beseitigung von Verfälschungen der 2. Gruppe gerichtet, aber auch zur graphischen Indikation informativer Elemente im Bild anwendbar.

Verfälschungen der 3. Gruppe können durch die Fixierung besonderer spektraler Besonderheiten oder des dynamischen Verhaltens verschiedener indikativer Elemente geologischer Objekte eliminiert werden. Da dies den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, gehen wir auf diese Frage hier nicht näher ein.

Die aufgezählten Bearbeitungsvarianten können sowohl analog als auch digital durchgeführt werden.

Es muß allerdings unterstrichen werden, daß ungeachtet einiger Vorteile digitaler Bearbeitungsmethoden, wie schnelle Operationszeiten und Universalität, zum gegenwärtigen Zeitpunkt eine Vielzahl von Hemmnissen existiert, die die Effektivität dieser Methode doch noch wesentlich einschränken. Vor allem sind dies die hochspezialisierten, oft sehr komplizierten Peripherieeinheiten für die Datenein- und -ausgabe, die Notwendigkeit von Datenspeichern mit großem Fassungsvermögen und hohe Anschaffungs- und Wartungskosten. Selbst bei Beseitigung der größten Hemmnisse bleibt das bearbeitete Volumen in sehr starken Grenzen.

Bei der analogen Bildbearbeitung kommen elektronische, optische und fotografische Methoden zur Anwendung. (1, 2, 3, 6)

Besonders einfach handhabbar, verbunden mit geringstem materiellem und Arbeitsaufwand und z.Z. noch am schnellsten durchführbar sind fotografische Methoden. Gegenwärtig gibt es ein breites Spektrum an sich bekannter fotografischer Effekte, die in einer geeigneten Verbindung mit optischen Effekten genutzt werden können, um verschiedene Bildbearbeitungen realisieren zu können. Methoden der fotochemischen Bearbeitung werden an dieser Stelle nicht in Betracht gezogen. (1)

Von den Autoren wurde eine Methodik entwickelt, die es gestattet, eine Vielzahl von Bildtransformationen, Kombinationen einzelner Bearbeitungsverfahren und Kombinationen von fotografischen Verfahren und optoelektronischen Geräten durchzuführen. (5, 4, 7)

Dabei kommt ein Bearbeitungssystem zur Anwendung, das aus einer Lichtquelle, einem Modulator, einem Filter und einem Empfänger besteht.

Als Lichtquelle dient eine homogen beleuchtete Scheibe eines Kopiergerätes oder das Licht eines Vergrößerungsapparates; der Modulator - das Negativ oder Positiv des Ausgangsbildes auf Film moduliert die räumliche Verteilung des Lichtes der Lichtquelle infolge seiner in der Fläche sich ändernden Transparenz.

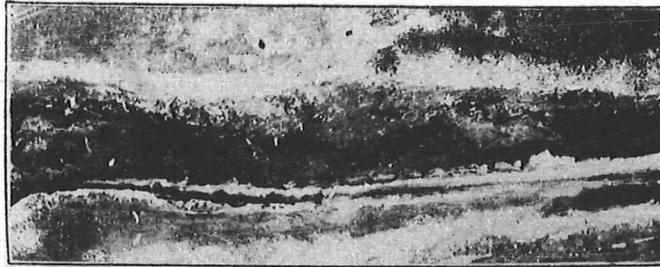
Das Filter stellt ein flächenhaftes Element mit selektiver Transparenz dar, z.B. eine Kopie des Ausgangsbildes mit veränderter Gradation - oder Frequenzcharakteristik, Raster verschiedenster Strukturen usw. Außerdem können verschiedene lichtstreuende Materialien zum Einsatz kommen, wie z.B. Mattglas oder planparallele Glasplatten unterschiedlicher Stärke. Die Filter - im Kontakt mit dem Ausgangsbild oder im Strahlengang zwischen Ausgangsbild und Empfänger - bewirken eine zielgerichtete Änderung der Lichtintensität, so daß das Licht im System zweimal moduliert wird, d.h. das Filterelement steuert die durch den Modulator bewirkte Lichtmodulation durch sein eigenes Gesetz der Durchlaßfähigkeit.

Als Empfänger dient Film bzw. Fotopapier, auf dem die Ergebnisdarstellung fixiert wird.

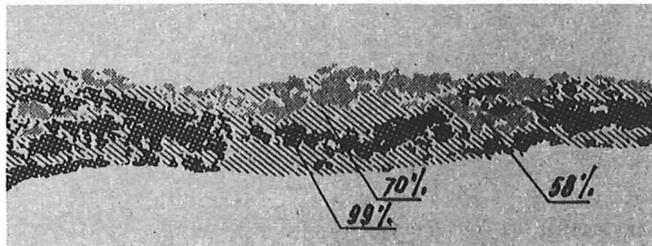
Eine wesentliche Erweiterung der Bearbeitungsmöglichkeiten wird durch Kombination dieser Methodik mit Mitteln der optoelektronisch analogen Bildbearbeitung erreicht. Am effektivsten werden optoelektronische Geräte wie Densitron, MSP-4 oder Kartoflex im erläuterten System als Filterelemente eingesetzt. Der Einsatz von Bildmaterialien, die mit fotografischen Methoden bearbeitet wurden - an Stelle von unbearbeiteten Ausgangsbildern - in Kombination mit optoelektronischen Geräten gibt die Möglichkeit, eine interaktive analog-optische Bildbearbeitung durchzuführen, die sich durch ein breites Variantenspektrum und kurze Bearbeitungszeiten, aber insbesondere durch geringe finanzielle Aufwendungen auszeichnet.

#### Literatur

- /1/ KRUG, W.; WEIDE, H.-G.: **Wissenschaftliche Fotografie in der Anwendung**, Leipzig, 1976
- /2/ ROZENFELD, A.: **Picture Processing by Computer**, New York-London., 1969
- /3/ SOROKO, L. M.: **Osnovy golografii i kogerentnoi optiki**, Moskau, 1971
- /4/ KOMAROV, V. B.; UGLEV, J. V.; NOMOKONOVA, V. F.:  
Iseledovanija prirodnoi sredy kosmičeskimi metodami.  
Geologija i geomorfologija, Bd. 2, Moskau 1974, S. 107-110
- /5/ KOMAROV, V. B.; UGLEV, J. V.; NOMOKONOVA, V. F.:  
Iseledovanije prirodnoi sredy kosmičeskimi metodami.  
Geologija i geomorfologije, Bd. 5, Moskau 1976, S. 271-279
- /6/ ZUKKERMAN, I. I.: **Preobrazovanije elektronnych izobraženij**, Leningrad 1972
- /7/ BERNDT, P.; UGLEV, J. V.: **Zeitschrift für angewandte Geologie**,  
Bd. 29, 1983, Nr. 3,

Anwendungsbeispiele

a



b

Abb. 1: Küsteneandanschwemmungen

Uferzone mit charakteristischen Schwermineralablagerungen unterschiedlicher Konzentration im Ufersand, wobei die Schwärzungsdichte im Bild ein Maß für die Konzentration des Schwermineralanteiles ist. Durch eine Filterung von Flächen unterschiedlicher Schwärzungen und anschließende Indikation mit Hilfe unterschiedlicher Texturen erhält man eine Darstellungsform, aus der sofort die Konzentrationsverteilung der Schwermineralanteile ersichtlich ist.

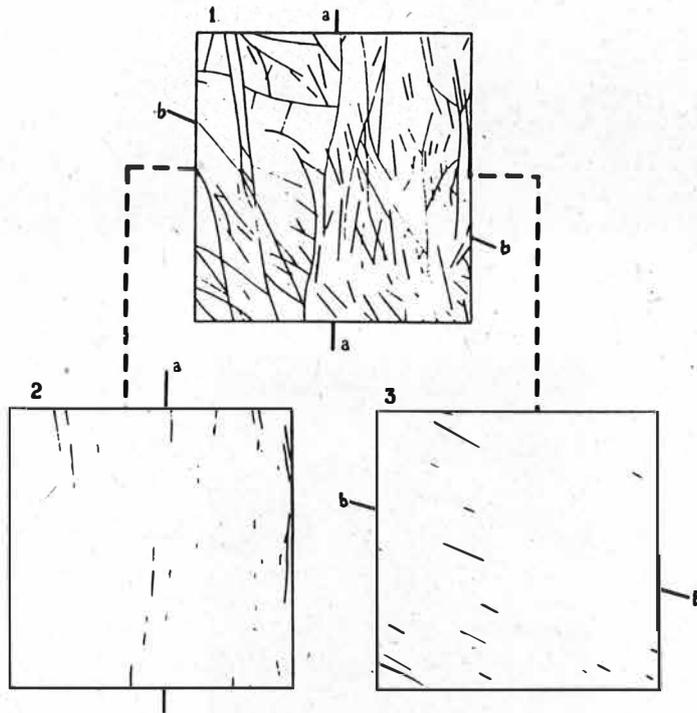
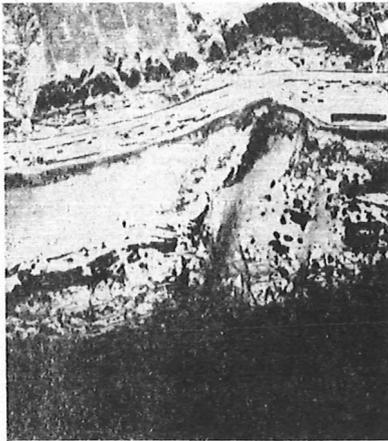


Abb. 2: Richtungselektive Filterung

Die Abbildung zeigt eine Anwendungsvariante für richtungselektive Filterung. Mit Hilfe von Rasterfilter oder Spaltblendenfilter können aus Fotolineationskarten ausgewählte Richtungen gefiltert werden. In gleicher Weise können lineare Elemente in Halbtonbildern durch den Einsatz richtungselektiver Filter verstärkt werden.



a



b



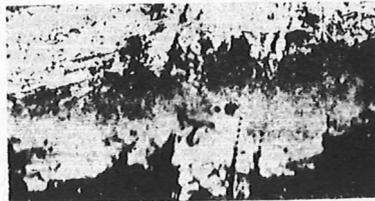
c

Abb. 3: Darstellung von Küste und küstennahem Flachwasserbereich

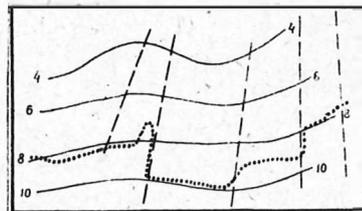
Die Abbildung zeigt einen Ausschnitt eines Luftbildes mit einem Küstenabschnitt und dem dazugehörigen Flachwasserbereich mit sehr hohen Schwärzungsdichteunterschieden. Dieser hohe Dichteumfang erlaubt es nicht, beide Bildbereiche darzustellen. Durch die Anwendung eines modifizierten Maskierungsverfahrens mit Zweifachbelichtung wird ein maximaler Ausgleich des großen Dichteunterschiedes erreicht und beide Bildbereiche lassen sich mit guter Detailauflösung darstellen.



a



b



c

Abb. 4: Darstellung des Meeresbodens im küstennahen Flachwasserbereich

Im oberen Drittel des unbearbeiteten Ausgangsbildes (a) sind neben unregelmäßiger Verbreitung von Wasserpflanzen ( dunkle Flächen ) in gefiederten Strukturen Störungen im Festgestein sichtbar. Mit sich vergrößernder Wassertiefe verschwinden diese Strukturen im Bild; die terrassenförmige Struktur des Meeresbodens läßt sich nicht deutlich erkennen.

Die durchgeführte fotooptische Bearbeitung basiert auf einer intervallmäßigen Selektierung der optischen Dichte im Ausgangsnegativ. Im Ergebnis erhält man eine Darstellung, in der die küstennahen Bereiche differenziert dargestellt sind. Deutlich treten die Grenzen zwischen den einzelnen Terrassen hervor, an Hand derer sich Blockstrukturen mit durch Abrasionen abgegrenzten Brüchen und Spalten abzeichnen.

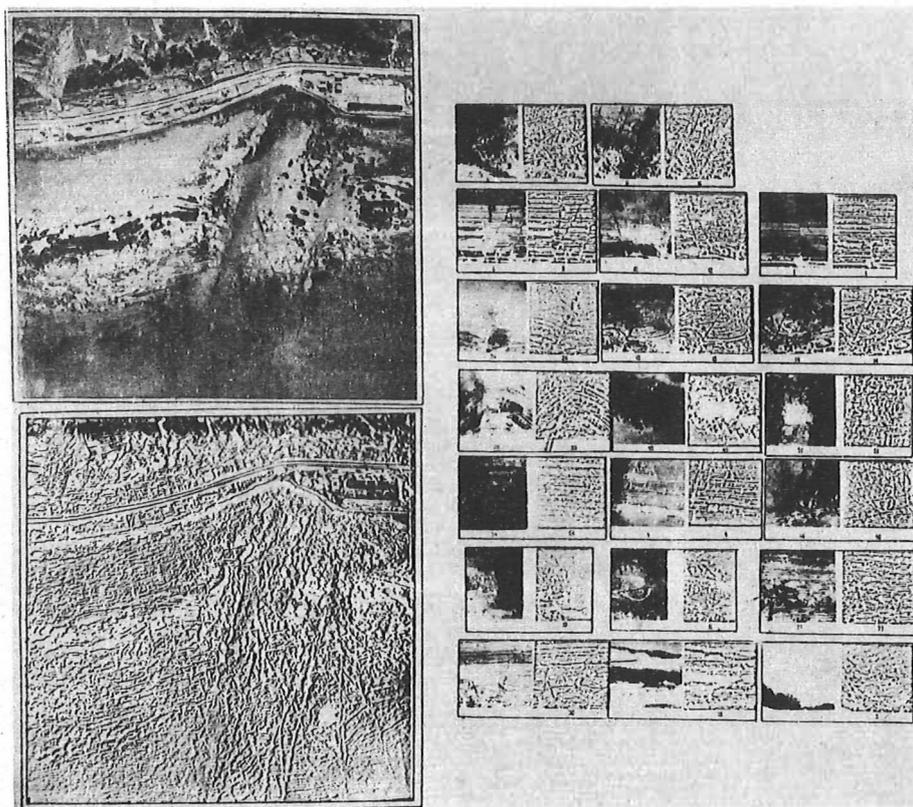


Abb. 5: Küstennaher Flachwasserbereich

Eine Bearbeitung der Aufnahme mit Hilfe einer selektiven Veränderung der Kontrastverhältnisse für ausgewählte Ortsfrequenzen filtert feinste Bruch- und Rißstrukturen. Die konturenhafte Darstellung bildet eine gute Grundlage für eine weitere Kartierung.

Großmaßstäbige Bodenkartierung unter Nutzung von Fernerkundungsdaten

K. WEISE

Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR  
 Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit  
 - Bereich Bodenkunde/Fernerkundung -

Zusammenfassung

Es wird die Methodik zur großmaßstäbigen Boden- und Standortkartierung unter Einbeziehung des Luftbildes für die Landwirtschaft im Maßstab 1:10 000 beschrieben und an Beispielen erläutert.

Summary

The paper describes and explains the methodology for large-scale soil and site mapping in the 1:10 000 scale using air- und spaceborne imagery for application in agriculture.

Резюме

Используя самолётные снимки, полученные для целей сельского хозяйства в масштабе 1:10 000, описывается и объясняется методика крупномасштабного картирования почв и местности.

1. Einleitung

Mit der Intensivierung der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion wachsen objektiv die Anforderungen an Umfang und Qualität der Informationen. Sie bilden in zunehmendem Maße eine Grundlage für Leitungsentscheidungen unter Einbeziehung der interaktiven Computertechnik.

Eine traditionelle und bewährte Form der Informationsbereitstellung bilden in der Landwirtschaft standortkundliche Karten. Dies ist durch den Inhalt, die komplexe Darstellungsweise und die hohe Anschaulichkeit bedingt. Benötigt werden sowohl Übersichtskarten vom Betriebsterritorium, als auch thematische Karten von einzelnen Schlägen mit hoher Aktualität und ausreichender Genauigkeit.

2. Nutzungsmöglichkeiten des Luftbildes für die Standortkennzeichnung

Für die Erarbeitung von schlagbezogenen Höchstertragskonzeptionen bildet die Schlagkarte 1 eine wesentliche Grundlage. Darin werden die wichtigsten Standortgrunddaten und alle Maßnahmen der Bewirtschaftung exakt festgehalten. Die Standortgrunddaten sind in numerischer Form als Bodenfruchtbarkeitskennziffern angegeben.

Zur Zeit sind diese Angaben Mittelwerte vom gesamten Schlag. Für eine computergetützte Boden- und Bestandesführung sind jedoch der Ausweis und die Lokalisierung von Werten für Teilflächen mit differenzierten Eigenschaften innerhalb eines Schlages erforderlich. In Verbindung mit bereits vorhandenen Standortunterlagen und unter Einbeziehung des Luftbildes ist es möglich, Differenzierungen innerhalb eines Schlages zu erkennen, zu interpretieren und flächenmäßig auszugrenzen. Dies betrifft u. a. solch wichtige Eigenschaften wie

- die Bodenheterogenität bei starkem Substratwechsel im Oberboden,
- die Vernässung nach Art, Umfang und Verteilung der Naßstellen,
- die Erosionsgefährdung entsprechend dem vorherrschenden Substrat, der Hangneigung sowie bereits erkennbarer Erosionserscheinungen (Kuppen, Rinnen, Schwenmkegel, Kolluvium).

Zur Ergänzung der Schlagkarte 1 mit den Standortgrunddaten ist die flächenhafte Darstellung der oben genannten Kennwerte in Verbindung mit ausgewählten topographischen Elementen ein dringendes Erfordernis. Nur auf dieser Grundlage kann eine differenzierte Bodenbearbeitung und ein standortangepaßter Fondseinsatz erfolgen, z. B. die Ausbringung unterschiedlicher Mengen an organischem und mineralischem Dünger, Halmstabilisatoren, Pflanzenschutzmitteln u. a. m.

Es bestehen gute Voraussetzungen, eine luftbildgestützte Methodik zur Anfertigung der Schlagskizze und paßfähiger thematischer Karte nach einheitlichen Gesichtspunkten zu erarbeiten.

Dabei sind solche Gesichtspunkte zu beachten, wie

- einheitliches und leicht verfügbares Kartenmaterial, als Ausgangsbasis z. B. topographische Karten (AV) oder Grundlagenkarte Landwirtschaft,
- einheitlicher Maßstab, z. B. 1:10 000,
- hohe Aktualität durch Einbeziehung des Luftbildes,
- einfache Herstellung thematischer Karten, z. B. in Form von Folien,
- Möglichkeiten der Einspeisung der Schlagkonturen in den Büro- oder Personalcomputer.

Am Beispiel der Erstellung der Schlagskizze wird deutlich, daß die Vorteile der Fernerkundung bei einer großmaßstäbigen Standortcharakterisierung sinnvoll genutzt werden können.

Dies sind vor allem:

- die Möglichkeit der flächenhaften Ausgrenzung von unterschiedlichen Arealen,
- die komplexe Wiedergabe der Einzelemente und Erscheinungen sowie ihrer Verflechtungen in der Natur,
- die Aktualität der Angaben.

Dabei spielen gegenwärtig Luftbilder und ihre visuelle Interpretation noch die dominierende Rolle. Künftig werden aber auch multispektrale, nicht-fotografische Fernerkundungsaufzeichnungen mit anschließender digitaler Auswertung verstärkt zur Erfassung einzelner Bodeneigenschaften sowie der standortbedingten Bestandesdifferenzierung eingesetzt werden. Eine sinnvolle Kombination verschiedener Fernerkundungsaufzeichnungsverfahren aus unterschiedlicher Höhe, verbunden mit bodengestützten Referenzdaten wird den Einsatz und die Effektivität der Fernerkundung in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion weiter erhöhen.

### 3. Ergebnisse bei Nutzung der Fernerkundung für die großmaßstäbige Kartierung

#### 3.1. Grundlagenkarte Landwirtschaft (GKL) 1:10 000

Bei diesem Kartenwerk wird das Luftbild über die Top. Karte (AV) und einige zusätzliche Angaben für die Landwirtschaft wirksam, die die Nutzbarkeit wesentlich erhöhen.

Dies sind u. a.:

- Schlaggrenzen, Schlagform, Schlaggröße und -nummer,
- Auf- und Überfahrten,
- Agrarflugplätze,
- oberirdische Leitungen,
- Regnerleitungen und Hydranten,
- detailliertes Graben- und Wegenetz.

#### 3.2. Schlagskizze für die Schlagkarte 1

Beim Vorhandensein der GKL 1:10 000 könnten die schlagbezogenen Informationen sehr einfach durch Zerschneiden der Karte oder Hochzeichnen bestimmter Elemente gewonnen werden. Die Ausgrenzung verschiedener Bodenareale, die möglichst luftbildgestützt erfolgen sollte, bildet für den Bewirtschafter ein grundlegendes Dokument für den Schlag.

Bei der Verwendung der TK (AV) 1:10 000 müssen die Schlaggrenzen aus dem Luftbild nachgezeichnet werden.

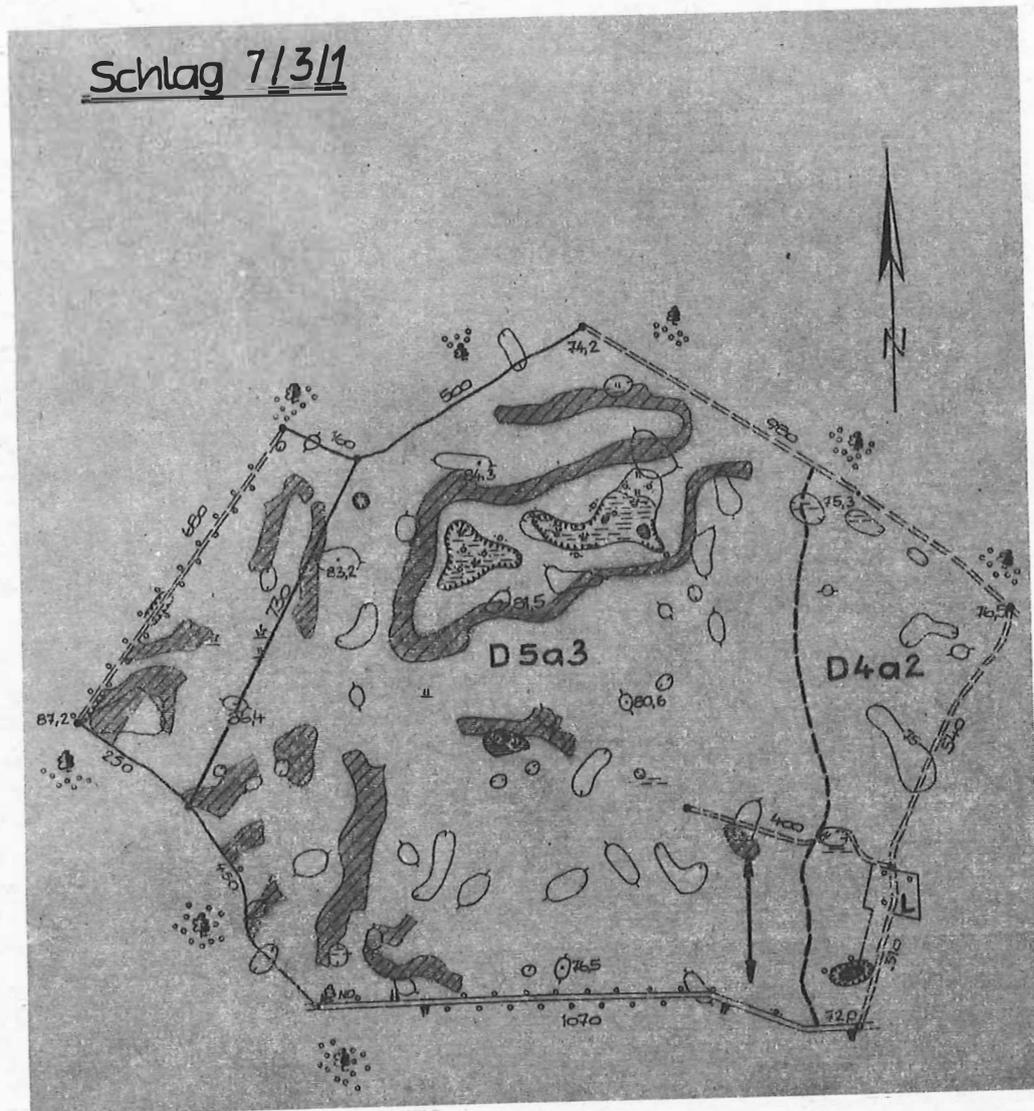


Abb. 1: Beispiel einer Schlagskizze aus der GKL 1:10 000

### 3.3. Thematische Karten

Für viele landwirtschaftliche Fragestellungen sind nur bestimmte Elemente relevant. Häufig können sie aus dem Luftbild entnommen und folienartig hochgezeichnet werden.

Einige methodische Beispiele sollen dies beweisen:

- Bodenheterogenität

Luftbild vom 20.04.1976

-M 1:10000-

D - Standort

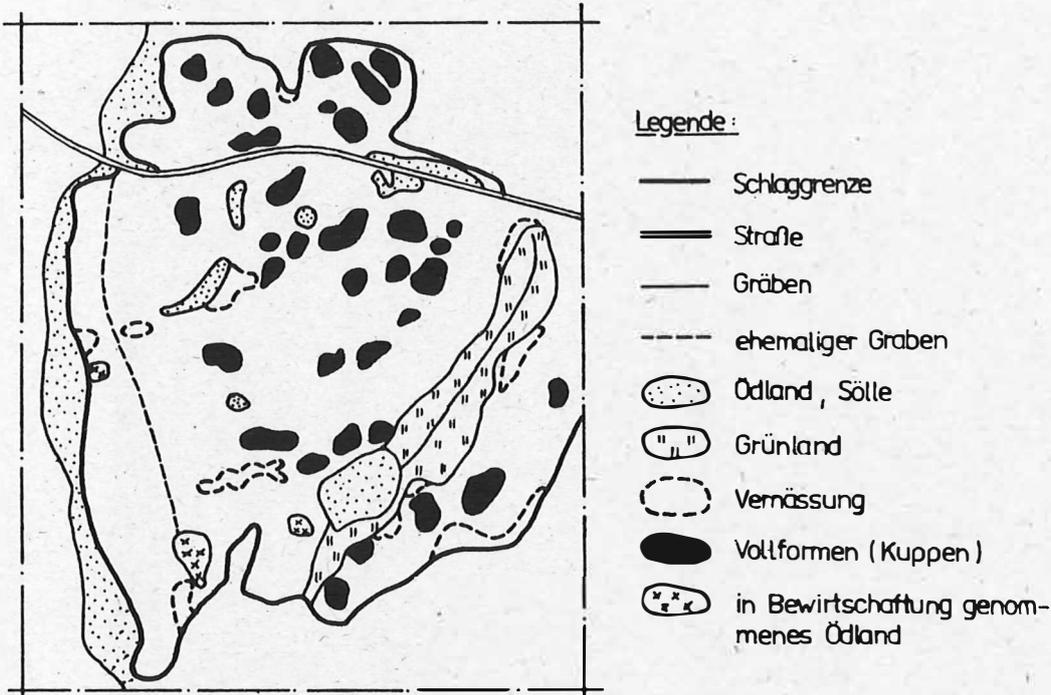


Abb. 2: Bodenheterogenität durch die räumliche Verteilung der erodierten Kuppen, vernässigten Senken und Grünlandanteile (WEISE u. a. 1986)

- Grünlandkartierung

Die Erfassung der Fläche und des Zustandes des Grünlandes ist mit Hilfe des Luftbildes auf eine sehr effektive Art möglich.

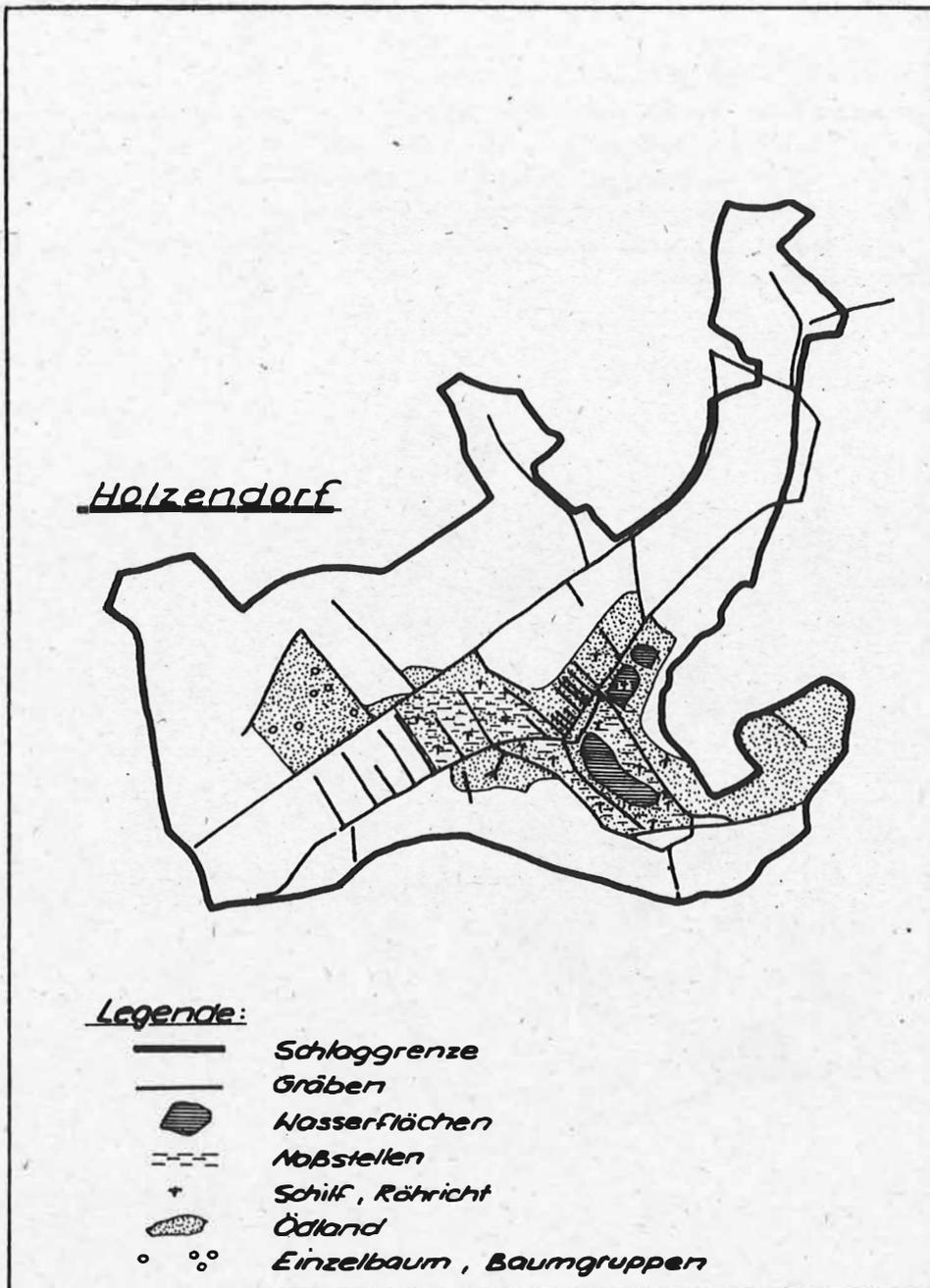


Abb. 3: Mittels Luftbild kartierte Grünlandfläche mit Grabensystem (SCHULZ 1985)

- Standortbedingte Bestandesdifferenzierung

Aus Bestandesunterschieden lassen sich bei einheitlicher Bewirtschaftung Standortunterschiede innerhalb eines Schlages ableiten. Da der Pflanzenbestand u. a. ein integrierender Ausdruck für die Bodenfruchtbarkeit ist, lassen sich für den Bewirtschafter sinnvolle Teilflächengrößen ausgrenzen, bei denen eine differenzierte Behandlung erforderlich und durch den Stand der Technik realisierbar ist.

Die Bestandesdifferenzierung ist mittels des Falschfarbenfilmes SN-6M visuell gut erkennbar. Sie kann in Form von Klassenflächen dargestellt werden.

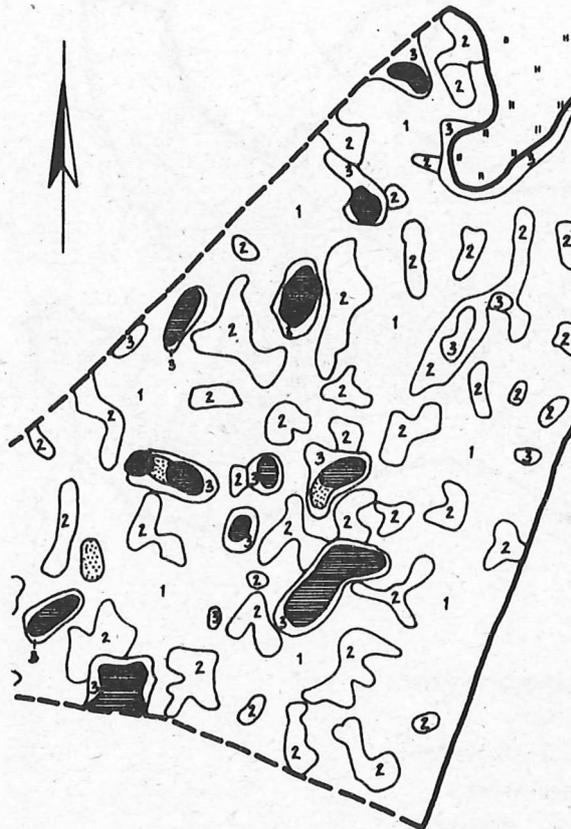


Abb. 4: Bestandesdifferenzierung nach 3 Klassen (THAMM, 1985)

- 1 = Normalbestand
- 2 = stark geminderter Bestand
- 3 = kein Bestand

Für künftige Anforderungen reicht die Klassifizierung in 3 Gruppen nicht aus. Erste Ergebnisse einer automatisierten Klassifizierung unter Nutzung von MKF-6-Aufnahmen zeigen, daß ca. 3 - 5 Klassen durch Kanalkombinationen sicher ausgrenzbar sind. Durch terrestrische Referenzdaten ist eine statistische Absicherung erforderlich.

#### 4. Schlußbemerkungen

Die Beispiele sollten zeigen, daß die Fernerkundung ein effektives Mittel zur großmaßstäbigen Standortkartierung in Verbindung mit bereits vorhandenen Unterlagen darstellt.

Auch bei den künftigen Aufgaben der Boden- und Bestandesführung muß und kann die Fernerkundung mit ihren spezifischen Methoden einen Beitrag zur Effektivitätserhöhung leisten.

#### Literatur:

- [1] HEYMANN, H.-Ch.; THAMM, B.: Methodische Grundlagen der Identifizierung und Ausgrenzung standortbedingter Ertragsdifferenzierungen mittels Luftbild.  
AdL der DDR, Forschungszentrum Müncheberg, Bereich Bodenkunde/Fernerkundung  
Diss. A (1984)
- [2] SCHULZ, R.: Möglichkeiten der Grünlandkartierung mit Hilfe des Luftbildes.  
unveröffentl. Manuskript, Eberswalde-Finow (1985)
- [3] WEISE, K.; SCHULZ, R.; THAMM, B.; STIEHL, M.: Schlagbezogene Standortkennzeichnung mit Hilfe von Luftaufnahmen - Beitrag zur effektiven Bodennutzung.  
Feldwirtschaft 27, H. 1, S. 31- 34 (1986)

Multipektralanalytische Quantifizierung kartierbarer Bodenmerkmale nordwestlich von Halle (Saale)

H. SCHRÖDER

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Sektion Geographie

Zusammenfassung

Die vorgegebenen Analysen stellen erste Ergebnisse laufender Untersuchungen zum Remissionsverhalten von dominant Löss- und V-Standorten im östlichen Harzvorland dar. Die ausgewählten Beispiele wiesen einen hohen Kontrast der natürlichen Standorteigenschaften und der Grautöne im multispektralen Bildsatz auf. Es konnte die statistische Signifikanz und der Grad des Zusammenhanges von kartierbaren Standortmerkmalen im multispektralen Bildsatz nachgewiesen werden.

Summary

This work describes the first results of current investigations of the remission of dominant loess and weathering habitats in the Eastern Harz foreland. Some examples show a remarkable contrast between the natural habitat characteristics and the grey tones in the multispectral picture set. The author proves the statistical significance and a certain degree of connection between habitat characteristics mapped in the multispectral picture set.

Резюме

На основе проведенных анализов получены первые результаты исследований поведения ремиссии преобладающих лёссовых и выветривающихся почв в восточной части предгорья Гарца. На выбранных примерах виден высокий контраст природных характеристик почв и серых тонов на многозональных снимках. Была доказана статистическая значимость и определенная степень взаимозависимости картируемых характеристик почв на многозональных снимках.

1. Problemstellung

Die genaue Kenntnis der schlaginternen Standortdifferenzierungen erweist sich für die landwirtschaftliche Praxis als Voraussetzung für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und für die Durchführung agrochemischer und meliorativer Maßnahmen. Die für die landwirtschaftliche Nutzfläche zur Verfügung stehenden Informationen der Mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standorterkundung (MMK) ermöglichen Aussagen über wesentliche Standorteigenschaften. Als wichtige Leitkriterien sind in den Kartierungseinheiten das Bodenformeninventar, das Relief als stabiler Standortfaktor und der Gefügestil als Ausdruck der Grundform der räumlichen Anordnung der Standorteigenschaften erfaßt (Schmidt, Diemann 1981, Diemann 1980, 1982). Die räumlichen und inhaltlichen Differenzierungen von Standortmerkmalen in landwirtschaftlichen Nutzflächen bezeichnete (Schmidt 1972) als standörtliche Heterogenität. Wie Villwock (1983, 1985 a,b) nachweisen konnte, ist es möglich, mit Hilfe der Fernerkundung als moderner und effektiver Methode der Informationsgewinnung über das Bildmerkmal "Muster" Aussagen über die Verteilungseigenschaften (räumliche Heterogenität) zu machen, die in dieser Detaillierung und Lagegenauigkeit mit terrestrischen Erkundungsmethoden nicht effektiv erbracht werden können.

Als wesentlich komplizierter erweist sich die Fixierung der inhaltlichen Heterogenität als Kontrasteigenschaft zwischen den Merkmalausprägungen. Villwock (1985 a) konnte durch Koeffizientenbildung der Kanäle 4 und 6 in multispektralen Sommeraufnahmen Standortareale bei den Feldfrüchten Erbsen, Winterweizen, Sommergerste, Winterroggen, Zuckerrüben und Kartoffeln qualitativ voneinander unterscheiden. Aussagen über die statistische Signifikanz und über Differenzierungen remissionsrelevanter Inhaltsstoffkombinationen sind mit Hilfe der von ihm angewandten Methodik nicht möglich.

## 2. Abbildungseigenschaften von Ackerflächen in multispektralen Bildsätzen

Die für die Geofernerkundung wichtigen interpretationsrelevanten Bildmerkmale "Grauton", "Textur" und "Muster" können sowohl visuell interpretiert als auch digital-automatisch analysiert werden. Bei den Bildmerkmalen "Textur" und "Muster" erwies sich die visuelle Interpretation bisher als die erfolgreichere Variante. Die Textur (oder auch "Feinmuster") ermöglicht innerhalb landwirtschaftlicher Nutzflächen Rückschlüsse auf die Feldfrucht und den Bearbeitungszustand (vgl. Schneider 1974). Das Muster (oder auch "Grobmuster") erlaubt auf Grund seiner Konfigurationen neben dem o.g. auch Aussagen über das fossile und rezente Prozeßgeschehen (Schröder, Villwock 1985). Die Anwendung digital-automatischer Verfahren brachte bisher bezüglich dieser beiden Bildmerkmale kaum Erkenntniszuwachs bei der Analyse bodenbedingter Standortmerkmale. Im Gegensatz dazu steht das Bildmerkmal "Grauton". Die Multispektralanalyse als Methode (vgl. Kazmierczak 1980) ermöglicht eine Objektklassifizierung auf Grund der spektralen Eigenschaften der natürlichen Oberflächen, die durch physikalische und chemische Inhaltsstoffkombinationen remittierender Objekte hervorgerufen werden.

So gelang es (Hengelhaupt u.a. 1982, 1984, Krönert u.a. 1983 und Barsch und Wirth 1983) mit Hilfe der unüberwachten Klassifikation die Hauptarten der Flächennutzung zu unterscheiden. Phänomene der Flächennutzung werden durch diskrete Schwärzungsfunktionen im Informationsträger Grauton realisiert. Unterschiedliche Bodenareale innerhalb landwirtschaftlicher Nutzflächen sind, insofern nicht Anbaugrenzen noch zusätzlich störend sich auswirken, durch kontinuierlichen Übergang, der sich im räumlichen Schwärzungsgradienten unterscheidet, gekennzeichnet. Multispektraldatenklassifikationen erweisen sich nur in Ausnahmefällen und unter günstigen Aufnahmebedingungen (z.B. mittlere Bodenfeuchte oder unterschiedlicher Abtrocknungsgrad nach Niederschlagsereignissen) als erfolgreich. So konnten stark bodenerosionsgeschädigte Löß-Parabraunerden von nicht geschädigten und schwach bodenerosiv geschädigten auf einer Testfläche im Mittelsächsischen Hügelland (vgl. Schröder 1984 a, 1986) im zweidimensionalen Merkmalraum und mit Hilfe der Hauptachsentransformation spektral getrennt werden. Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz digital-automatischer Dechiffrierungsverfahren sind neben optimalen Bildeigenschaften (Schärfe, Helligkeit) ein ausreichender Kontrast der remissionsrelevanten Bodeneinhaltsstoffe.

Die Remission der natürlichen Objekte wird durch die Reflexion der Sonnenstrahlung und die Emission der objektspezifischen Eigenstrahlung bedingt. Letztere stellt eine integrale Information aus chemischen und physikalischen Eigenschaften der Objekte dar, die durch das Merkmal "Bodenfarbe", differenziert nach der Farbhelligkeit und der Farbsättigung, erfaßt werden kann. Bodenfarbenprägende Inhaltsstoffe sind neben der lithologischen Eigenfarbe des Ausgangssubstrats der Bodenbildung vor allem der Humusgehalt, der Eisengehalt, der Mangangehalt, der Kalkgehalt, die Bodentextur und die Bodenfeuchte (vgl. u.a. Kadro 1981). Diese Objekteigenschaften lassen sich mit hohem volkswirtschaftlichem Aufwand laboranalytisch ermitteln und multispektral quantifizieren (Schröder 1986). Bleibt zu fragen, ob mit Hilfe von terrestrischen Kartierungsmethoden ebenfalls Daten-

material zur Verfügung gestellt werden kann, das hinreichend genaue Aussagen über die Objekt-Abbild-Beziehung im multispektralen Bildsatz zuläßt. Zu diesem Zweck wurden im Frühjahr 1985 insgesamt 9 Geländeschläge kartiert, die erste Aussagen erlauben.<sup>1)</sup>

### 3. Das Arbeitsgebiet und die natürlichen Standortbedingungen der Testschläge

Das Arbeitsgebiet liegt ca. 15 - 30 km westlich und nordwestlich von Halle/Saale (Abb. 1). Die Testschläge befinden sich administrativ in den Kreisen Bernburg, Hettstedt, Eisleben und im Saalkreis. Neuere Arbeiten zu Oberflächenveränderungen und deren Abbildungsverhalten in Fernerkundungsaufzeichnungen in diesem Gebiet stammen von (Villwock 1983, 1985 a, 1985 b, Riedel und Schröder 1984, Kugler, Riedel, Villwock 1984 und Winter 1984). Die Testschläge liegen im niederschlagsarmen Lößgebiet mit Jahressummen im langjährigen Mittel von ca 430 - 500 mm Niederschlag. Das Prätertiär wird von permokarbonen und triassischen Sedimentgesteinen gebildet, die stellenweise von tertiären und weitflächig von quartären Lockersedimenten bedeckt werden. Dominant treten Löß, Geschiebemergel, glazifluviale Sande, Kiese und Schotter auf.

In den Niederungen der Saale, Salzke, Schlenze und Laweke sind holozäne Talsedimente und Auenlehme bzw. -schluffe abgelagert worden. Die Bodendecke ist auf den Hochflächen sehr einheitlich. Es dominieren mächtige Löß-Schwarzerden, die in erosiven Arealen von Löß-Rendzinen abgelöst werden. In Senken sind Kolluviallöß-Schwarzerden und -Schwarzgleye vorhanden. Die talbegleitenden Hänge besitzen eine nur lückige oder gar keine Lößdecke. Hier dominieren Verwitterungsstandorte der permokarbonen und triassischen Sedimente. Diese Standorte sind oft sehr flachgründig und skelettreich. In diesen Talniederungen sind humusreiche Vegaböden weit verbreitet. Die MMK-Standortseinheiten und wesentliche Merkmale der natürlichen Ausstattung der Testschläge zeigen die Tabellen 1 und 2.

Testschlag-Nr.	Natürliche Standortseinheiten
1	Lö 1 (öt) P; Lö 1 (öC - eöt) H/S
2	Lö 1 (öt) P; Lö 1 (öC - öt) P, Lö (öC - eöt) H/S
3	V 2 b (vp/g A - vl/g C) P/H
4	Lö 2 b (vl/g C - öC) H/P, V 2 b (vp/g A - vl/gC) P/H
5	Lö 1 (öt) P, V (fA-n/gA) H, V 1 a (vt/gC-ö/1) P
6	V 2/3 c(n/gC-nl/gC) H
7	Al3a (op/dW-m/dW) S, Al3a (olT-olZ) S
8	Lö 1 (öt) P, Lö 3 (öC-eöt) H
9	Lö 1 (öt) P, Lö 3 (öC) H, V 3 a (vt/gC-nl/gC) H

Tab. 1: Standortseinheiten der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standorterkundung (MMK) der Testschläge

<sup>1)</sup> Der Verfasser dankt den Studenten der Semingruppe D 82 der Sektion Geographie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg für die Unterstützung bei der Datenerfassung.

Test- schlag- Nr.	Gestaltungs- typ des Reliefs	Lithologie	Substrat- flächentyp	Neigungs- grad	Leitboden- formen (mit Flächenan- teil in %)	Begleitbodenformen
1	Pe, Hi	Löß, Kolluvial- löß	ö	05	50 30 10 öT, öC, eöt	ö/1T, ö/1gT, ö/gT, ö/gC, vl/gC, ö/1C, öT, ö/v1C, ö/dC
2	Pe, Hi	Löß, Kolluvial- löß	ö	03	60 20 10 öT, öC, eöt	ö/1T, o/1gT, ö/gT, ö/gC, vl/gC, ö/1C, ö/v1C, ö/dC, 1C
3	Hwy	Schluffstein (Permokar- bon/Zech- stein)	vp+vl	07	40 40 vp/gA, vl/gC	fA, n/gA, fC, nl/gC, epT, ö/gC, 1C
4	Pw, Hw	Schluffstein (Permokar- bon), Löß	vp-vl, ö-vl	05	30 30 vp/gA, vl/gC, vl/gC, öC	vt/gC, nl/gC, epT, edT, ö/gC, ö/gT, fC, fA, n/gA, 1C
5	Pe, Hz	Löß (Karbon) Schluffstein	ö, vp+vl	09	20 20 20 öT, fA, n/gA, vp/gA, vl/gC	öC, ö/1T, ö/CgT, ö/gT, eöt, e/gC, epT, vt/gA, fC, nl/gC, ö/gC, 1C
6	BK, Hi	Schiefer- tone (SU)	vl-n	13	40 30 n/gC, nl/gC, fC, vt/gC	ö/1C, vl/gC
7	Ea	Auenlehm über Saale- schotter, Kolluvial- löß	ol/d-ol	02	30 30 op/dW, m/dW, olT, olZ	plT, plZ, eöt, oC/dZ
8	Pe	Löß	ö	05	40 30 20 öT, öC, eöt	öW, öT, 1Z, vZ, ö/1T, ö/dT, mC, vl/gC, ö/n1C, n/gC
9	Hx, Hz	Löß, Schiefer- ton (SU)	ö	09	öC, vt/gC, ml/gC, öT	vl/gT, vl/gC, n/gC, ö/n1T, ö/n1C, 1/eC, öW

Tab. 2: Wesentliche natürliche Ausstattungsmerkmale der Testschläge (Modul nach Schmidt und Diemann 1981)

#### 4. Fernerkundungsmethoden und terrestrische Arbeitsmethoden

##### 4.1. Visuelle Grautondifferenzierung

Die visuelle Grautondifferenzierung als Methode besitzt gegenüber anderen Interpretationsverfahren den Vorteil, daß sie in der Lage ist, synoptisch selektierend und abstrahierend fachspezifische Probleme logisch zu werten. Schmidt-Falkenberg (1974) hält das dafür notwendige Auffassungsvermögen des Menschen in seiner Leistung allen anderen derzeit arbeitenden technischen Systemen für überlegen. In Bezug auf das Bildmuster kann dieser Auffassung auch heute noch gefolgt werden. Man ist in der Lage, fototechnisch bedingte Grautondifferenzierungen (Randabfall) zu überbrücken.

Als wesentlicher Nachteil erweist sich die starke Subjektivität des Verfahrens. Das Interpretationsergebnis ist sowohl vom reinen Wahrnehmungsvermögen (z.B. Anzahl der vom einzelnen Interpreten unterscheidbaren Grau- und Farbtöne) als auch vom fachspezifischen Kenntnisstand abhängig. Für sachbezogene Überblicksaussagen stellt die visuelle Interpretation immer noch die effektivste Methode dar (vgl. Kugler, Jänckel 1978, Villwock 1982, Schröder 1984 b).

Die visuelle Grautondifferenzierung wurde in drei unterschiedlichen Spektralbereichen, die im multispektralen Bildsatz der MFK-6 den Kanal 2 (520 - 560 nm - grünelb), den

Kanal 4 (640 - 680 nm - rot) und den Kanal 6 (790 - 890 nm - nahes Infrarot) darstellen, durchgeführt. Der Kanal 2 besitzt dabei den Vorteil der guten Differenzierung sehr ähnlich reflektierender Bodenoberflächen. In Kanal 4 erhöht sich der Kontrast nicht-bodenbedingter Objekteigenschaften, wie z.B. Vorgewände, unterschiedliche Bearbeitungsmethoden, Bearbeitungsrichtungen oder Änderungen der Flächennutzung. Beide Kanäle eignen sich zur Bodenkartierung vor allem unbewachsener oder nur gering bewachsener Böden. Der Kanal 6 dient vor allem der Erfassung von Differenzierungen in den Kulturpflanzenbeständen und der Bodenvernässung (vgl. hierzu Kugler u.a. 1984).

#### 4.2. Messende Grautondifferenzierung mittels Mikrodensitometer (MD 100)

Im Gegensatz zur visuellen Grautondifferenzierung lassen sich bei Schwärzungsmessungen mit dem MD 100 vom VEB Carl-Zeiß-Jena deutlich die Arbeitsschritte 'Dechiffrierung' und 'Interpretation' unterscheiden. Bei der Dechiffrierung erhält man quantitative Daten. Der eigentliche Interpretationsvorgang geht von den Meßdaten aus und stellt damit ein objektiveres Verfahren im Gegensatz zu rein visuellen Luftbildinterpretationen dar.

Das Mikrodensitometer MD 100 dient der Schwärzungsmessung an dünnen photographisch-transparenten Schichten, bei denen die Durchleuchtwerte, erzeugt von einer spektral-konstanten Lichtquelle, wie in (1) ermittelt werden:

$$D = \frac{f}{f_0} \quad (1)$$

mit  $f_0$  = auf Meßfläche auffallender Lichtstrom  
 $f$  = durchgelassener Lichtstrom

Die Quantifizierung kann in maximal 1000 Stufen erfolgen. Die überdeckte Bodenfläche beträgt  $5 \times 5 \text{ m} = 25 \text{ m}^2$ . Der Bodenabstand zwischen den Meßpunkten, sowohl in x-Achsenrichtung als auch in y-Achsenrichtung 12,5 m. Das Meßnetz wurde in jedem Kanal an den gleichen Paßkreuzen orientiert, um eine optimale Überdeckung der einzelnen Meßpunkte in den verschiedenen Kanälen zu erreichen. Um eventuelle Meßungenauigkeiten zu reduzieren und Meßfehler auszuschalten, wurden die Streuungswerte mit der 9er und der 25er Umgebung überprüft (vgl. Abb. 2). Je nach Größe der Testschläge ergeben sich zwischen 400 und 900 Meßwerte je Kanal.

#### 4.3. Terrestrische Gegenkartierung

Bei der terrestrischen Gegenkartierung wurde für jeden Bildpunkt ein terrestrischer Gegenwert kartiert (Abb. 3), wobei jedes ausgegliederte Areal die gleiche Kodewertnummer erhielt (Abb. 4). Folgende Bodenparameter wurden quantifiziert:

Bodenfarbe-Helligkeit	- nach der Munsell-Soil-Colour-Cords in maximal 7 Stufen
Bodenfarbe-Sättigung	- nach der Munsell-Soil-Colour-Cords in maximal 4 Stufen
Bodensubstrate	- nach Billwitz, Diemann, Slobodda (1984) in maximal 14 Stufen (nur Mineralböden)
Steinigkeit	- Bedeckungsgrade in maximal 10 Stufen mit $1 \text{ m}^2$ Meßrahmen
aktuelle Feuchte	- nach Billwitz, Diemann, Slobodda (1984) in maximal 5 Stufen
Hangneigung (oder relative Höhenlage bei Auenstandorten)	- nach GMK-Projekt (Stäblein 1978) in maximal 8 Stufen
Vitalität der aktuellen Feldfrucht	- Bestandsdichte (in %) in maximal 10 Stufen

## Tongehalt im Oberboden - nach Rißbildung (vgl. Abb. 5)

Die ausgegliederten Bodenparameter fungieren als kartierbare Referenzdaten für die nur laboranalytisch zu ermittelnden physikalischen und chemischen Eigenschaften der remissionsrelevanten Objektmerkmale.

### 4.4. Allgemein-statistische Analyseverfahren

Ziel der Untersuchungen ist es, den Grad des Zusammenhanges zwischen den einzelnen Kanälen des multispektralen Bildsatzes und zwischen einem Kanal und jedem terrestrischen Merkmal sowie die Kausalstruktur der Remissionseigenschaften der Ackerkrume zu bestimmen. Für die Aufdeckung der Zusammenhänge zwischen den einzelnen Kanälen wurde die Korrelationsanalyse angewendet. Die Korrelationskoeffizienten geben danach wertfrei den Grad des Zusammenhanges zwischen Erscheinungen wieder. Bei der Korrelationsanalyse können nur Daten miteinander verglichen werden, die neben der inhaltlichen Logik gleichen oder zumindest ähnlichen Datengewinnungsmethoden unterliegen. Dies ist bei der Mikrodensitometeranalyse in den einzelnen Kanälen des multispektralen Bildsatzes garantiert. Da die terrestrischen Daten kartiert wurden, ist in Bezug auf die statistische Signifikanz und in Bezug auf den Zusammenhang mit den einzelnen Kanälen des multispektralen Bildsatzes der Chi-Quadrat-Test (vgl. Clauss, Ebner 1974) angewandt worden.

### 5. Die Kausalität der Bild- und Bodendaten

Der Korrelationseffizient zwischen den Kanälen des multispektralen Bildsatzes gibt Aufschluß über den Anteil der Eigeninformationen, welche der einzelne Kanal besitzt. Darüber hinaus ist der Wert des Korrelationskoeffizienten stark objektabhängig. Bezüglich der Flächennutzung korrelieren die Kanäle 1 bis 4 zwischen 0,6 und 0,8. Erst bei Einbeziehung der Kanäle 5 und 6 sinken die Korrelationseffizienten deutlich ab. (Zwischen Kanal 4 und 6 auf unter 0,1). Die geringste Eigeninformation besitzt der Kanal 5 (Krönert u.a. 1983). Bei schlaginterner Multispektralanalyse auf unbedecktem Boden konnten zwischen allen Kanälen Korrelationseffizienten von über 0,6 nachgewiesen werden (Schröder 1986). Die geringsten Eigeninformationen besaß der Kanal 3, der aus diesem Grund als Stellvertreterkanal fungieren kann (vgl. Schröder 1984 a). Bei einer kanalreduzierten Multispektralanalyse ist es deshalb angebracht, zuerst auf die Kanäle 3 und 5 zu verzichten. Für die Untersuchungen sind Testflächen gewählt worden, die ein sehr deutliches schlaginternes Muster aufwiesen, d.h. ihr natürlicher Kontrast ist relativ hoch, so daß multispektral und multitemporal ein stabiles Verhalten zu erwarten ist und die objektbedingten Korrelationskoeffizienten Maximalwerte erreichen. Auf unbewachsenen Lössschlägen liegen die Korrelationskoeffizienten zwischen den Kanälen 2, 4 und 6 im allgemeinen über 0,6. Mit Zunahme des Bedeckungsgrades durch Feldfrüchte sinken die Korrelationskoeffizienten zwischen den Kanälen 2 und 6 bzw. 4 und 6 deutlich ab. Zwischen letzterem kann der Zusammenhang völlig verloren gehen, wogegen er zwischen 2 und 4 straff bleibt. Bei den Verwitterungsstandorten ist die Tendenz ähnlich. Die Korrelationskoeffizienten zwischen den Kanälen 2, 4 erreichen jedoch nur etwa Werte zwischen 0,4 und 0,7. In Korrelation zu Kanal 6 liegen die Koeffizienten deutlich unter 0,2. Bei hohem Feldfruchtbedeckungsgrad sind negative Korrelationen zwischen Kanal 2 und Kanal 6 bzw. Kanal 4 und Kanal 6 durchaus nicht ungewöhnlich. Bei hohen natürlichen Inhaltsstoffkontrasten bleibt der Zusammenhang im allgemeinen gewahrt, wenn auch mit negativen Vorzeichen. Der Auenstandort wies zwei Erosionsniveaus auf, die sich vor allem in der Wasserversorgung unterscheiden. Infolge des hohen natürlichen Kontrastes liegen die Korrelationskoeffizienten über 0,6. Die Werte sind auf Grund ihrer Spezifik z.Z. noch nicht als repräsentativ anzusehen. Verallgemeinerungsfähige Aussagen müssen weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben (vgl.

Tab. 3).

	unbewachsener Lößstandort (T 9)			bewachsener Lößstandort (T 8)		
	Kanal 2	Kanal 4	Kanal 6	Kanal 2	Kanal 4	Kanal 6
Kanal 2	1,0			1,0		
Kanal 4	0,78	1,0		0,42	1,0	
Kanal 6	0,76	0,84	1,0	-0,22	-0,04	1,0
	unbewachsener Verwitterungs- standort (T 5)			bewachsener Verwitterungs- standort (T 3)		
	Kanal 2	Kanal 4	Kanal 6	Kanal 2	Kanal 4	Kanal 6
Kanal 2	1,0			1,0		
Kanal 4	0,66	1,0		0,44	1,0	
Kanal 6	+0,14	+0,01	1,0	-0,22	-0,16	1,0
	bewachsener Auenstandort (T 7)					
	Kanal 2	Kanal 4	Kanal 6			
Kanal 2	1,0					
Kanal 4	0,78	1,0				
Kanal 6	-0,68	-0,62	1,0			

Tab. 3: Korrelationen der MS-Datensätze (reduzierte Multispektralanalyse-Kanäle 2, 4, 6)

Vergleicht man die Bilddaten mit den Bodendaten, so muß man ebenfalls differenziert nach LÖ-, V- und Al-Standorten und nach "unbewachsen" bzw. "bewachsen" vorgehen. Bei unbewachsenen Lößstandorten weist das Merkmal "Bodenfarbenhelligkeit" einen straffen Zusammenhang mit allen untersuchten Kanälen auf. Bei allen anderen Parametern, mit Ausnahme der Hangneigung in Kanal 4, existieren nur noch lose Zusammenhänge (Tab. 4).

	Bodenfarbe Helligkeit			Sättigung			Boden- substrat			Steinig- keit			Hangnei- gung			Boden- feuchte			Tonge- halt			Feld- frucht		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Kanal 2	2	2	2	1	1	0							1	0	0	1	0	0	1	0	0			
Kanal 4	2	2	2	1	0	0	n.k.		n.k.				1	1	1	0	0	0	0	0	0			n.k.
Kanal 6	2	2	2	0	0	0							1	0	0	1	0	0	0	0	0			

Tab. 4: Kausalität der Spektraldaten und der terrestrisch kartierten Bodendaten eines unbewachsenen Lößstandortes (T 9)

Bei bewachsenen Lößstandorten geht zwar die Repräsentanz des Merkmals "Bodenfarbenhelligkeit" deutlich zurück, sie weist jedoch immer noch den straffsten Zusammenhang auf. Die Merkmale "Bodenfarbensättigung", "Steinigkeits" und "Tongehalt" verlieren jeden Zusammenhang mit den Spektraldaten. Sie werden durch das Remissionsvermögen der Feldfrüchte überdeckt, die im Kanal 6 dominant und in den Kanälen 2 und 4 zum Teil remissionswirksam sind (vgl. Tab. 5).

	Bodenfarbe Helligkeit			Sättigung			Boden-substrat			Steinig-keit			Hangnei-gung			Boden-feuchte			Tonge-halt			Feld-frucht					
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c			
Kanal 2	2	2	2	0	0	0				0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Kanal 4	2	1	1	0	0	0	n.k.			0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Kanal 6	1	1	1	0	0	0				0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Tab. 5: Kausalität der Spektraldaten und der terrestrisch kartierten Bodendaten eines bewachsenen Lößstandortes (T 8)

Auf Grund der im allgemeinen höheren Kontraste bei den kartierbaren Bodenmerkmalen (mit Ausnahme der Bodenfarbenhelligkeit) konnten Kausalitäten bei V-Standorten nachgewiesen werden. Dies trifft in erster Linie bei unbewachsenen Standorten auf die Bodenfarbensättigung, die Steinigkeit und den Tongehalt zu (vgl. Tab. 6).

	Bodenfarbe Helligkeit			Sättigung			Boden-substrat			Steinig-keit			Hangnei-gung			Boden-feuchte			Tonge-halt			Feld-frucht		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Kanal 2	2	2	2	2	1	1				1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1			
Kanal 4	2	2	2	2	1	1	n.k.			1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0			n.k.
Kanal 6	1	1	1	1	0	0				0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0			

Tab. 6: Kausalität der Spektraldaten und der terrestrisch kartierten Bodendaten eines unbewachsenen Verwitterungsstandortes (T 5)

Bei bewachsenen Standorten konnte keine Kausalität zwischen der Sättigung der Bodenfarbe, dem Tongehalt einerseits und dem Grauton im multispektralen Bildsatz andererseits nachgewiesen werden. Die Feldfrucht korreliert nur mit dem Kanal 6 (vgl. Tab. 7).

	Bodenfarbe Helligkeit			Sättigung			Boden-substrat			Steinig-keit			Hangnei-gung			Boden-feuchte			Tonge-halt			Feld-frucht		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Kanal 2	2	2	2	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Kanal 4	2	2	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kanal 6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1

Tab. 7: Kausalität der Spektraldaten und der terrestrisch kartierten Bodendaten eines bewachsenen Verwitterungsstandortes (T 3)

Die grundwassernahen und die grundwasserfernen Areale des Auenstandortes sind durch hohe natürliche Kontraste charakterisiert. Dieses spiegelt sich auch im Grad des Zusammenhangs bei den Parametern "Bodenfarbenhelligkeit", "Bodenfeuchte" und Feldfrucht" wieder (vgl. Tab. 8).

	Bodenfarbe Helligkeit			Sättigung			Boden-substrat			Steinig-keit			Hangnei-gung			Boden-feuchte			Tonge-halt			Feld-frucht		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Kanal 2	2	2	2	0	0	0							1	0	0	2	1	1				1	0	0
Kanal 4	2	1	1	0	0	0	n.k.			n.k.			1	1	0	1	1	1	n.k.			1	0	0
Kanal 6	1	1	1	0	0	0							1	0	0	2	2	1				1	1	1

Tab. 8: Kausalität der Spektraldaten und der terrestrisch kartierten Bodendaten eines bewachsenen Auenstandortes (T 7)

Legende zu den Tabellen 4 bis 8

- a - 5 %ige Signifikanzniveau  
 b - 2,5 %ige Signifikanzniveau  
 c - 1 %ige Signifikanzniveau
- 0 - ohne Zusammenhang  
 (Prüfgröße kleiner als der kritische Wert der Chi-Quadrat-Verteilung)
- 1 - geringer Zusammenhang  
 (Prüfgröße größer als der kritische Wert der Chi-Quadrat-Verteilung)
- 2 - starker Zusammenhang  
 (Prüfgröße mehr als doppelt so groß wie kritischer Wert der Chi-Quadrat-Verteilung)
- n.k. - nicht kartiert bzw. nicht kartierbar

Schrifttum

- Barsch, H. und H. Wirth: Methodische Untersuchungen zur Auswertung multispektraler Fernerkundungsdaten für Flächennutzungskartierungen in der DDR. Petermanns Geogr. Mitteilg. 127, (1983), 3, 191 - 202.
- Billwitz, K., Diemann, R. und S. Slobodda: Methodik der Bodenprofilaufnahme und Vegetationsanalyse, Berlin, (1984).
- Clauss, G. und M. Ebner: Grundlagen der Statistik. Berlin, (1974).
- Diemann, R.: Reliefsystematik auf der Grundlage der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK). Pflanzenbau und Bodenkunde, 24, (1980), 469 - 474.
- Diemann, R.: Die Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung (MMK) 1 : 25 000/1 : 100 000. Wiss. Z. Univ. Halle XXXI 82, M, 3 (1982), 97 - 106.
- Hengelhaupt, U., Bacinski, E., Krönert, R. und L. Schubert: Digitale Bildverarbeitung mit EC 1040 zur Dechiffrierung der Hauptarten der Flächennutzung aus Multispektralphotos. Veröff. Zentr. Instit. Physik d. Erde 74. (1982), 139 - 143.
- Hengelhaupt, U. und S. Henker: Probleme der geographischen Interpretation von Ergebnissen digital-automatischer Flächennutzungsdechiffrierungen. Veröff. Zentr. Instit. Physik d. Erde, 76, (1984), 61 - 71.
- Kadro, A.: Untersuchungen der spektralen Reflexionseigenschaften verschiedener Vegetationsbestände. Diss. Forstwiss. Fak. Univ. Freiburg i. Br., (1981).
- Kazmierczak, H.: Erfassung und maschinelle Verarbeitung von Bilddaten. Berlin, (1980).
- Krönert, R., Hengelhaupt, U., Schmidt, I. und L. Schubert: Geographisch-Kartographische Analyse der Flächennutzung nach multispektralen Luftbildern und Satellitenaufnahmen. Petermanns Geogr. Mitteilg. 127, (1983), 3, 181 - 190.
- Kugler, H. und R. Jänckel: Zur geographischen Interpretation der Multispektralaufnahme "Süßer See". Geogr. Ber., 23, (1978), 2, 99 - 111.
- Kugler, H., Riedel, J. und G. Villwock: Landschaftsanalyse mit multispektralen Luftbildern in der Umgebung von Halle (Saale). Geogr. Ber., 29, (1984), 3, 165 - 184.
- Riedel, C. und H. Schröder: Abbildungsverhalten bodenerosiv geschädigter Flächen im Luftbild. Hercynia N. F., 21, (1984), 2, 98 - 108.
- Schmidt, R.: Standörtliche Heterogenität und Großflächennutzung. Wiss. Abh. Geogr. Gesell. DDR, 9, (1972), 195 - 204.
- Schmidt, R. und R. Diemann: Erläuterungen zur Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK). Eberswalde, (1981).

- Schmidt-Falkenberg, H.: Experimentelle Untersuchungen zu einigen Verfahren der Photointerpretation. Proceedings of Symp. of Remote Sensing and Photointerpretation 7. - 11. Okt. Vol II, 2, (1974).
- Schneider, S.: Luftbild und Luftbildinterpretation. Berlin, New York, (1974).
- Schröder, H.: Musterausprägung und spektrales Abbildungsverhalten von Lössböden im Mittelsächsischen Hügelland. Geogr. Ber. 29, (1984 a), 3, 185 - 196.
- Schröder, H.: Visuelle Interpretation als Methode zur Erfassung der arealen Verteilung bodenerosiver Abspülungen auf Testflächen im südöstlichen Harzvorland. Hall. Jb. Geowiss., 9, (1984 b), 93 - 106.
- Schröder, H.: Multispektrale Luftbildanalyse zur Ausgliederung von bodenerosiv geschädigten Standorten. Petermanns Geogr. Mitteilg., 130, (1986), 2, 129 - 133.
- Schröder, H. und G. Villwock: Musteranalyse in Luftbildern zur Kennzeichnung physisch-geographischer Prozesse auf landwirtschaftlichen Nutzflächen. Petermanns Geogr. Mitteilg., 129, (1985), 4, 271 - 278.
- Stäblein, G. (Hrsg.): Geomorphologische Detailaufnahme. Beiträge zum GMK-Schwerpunktprogramm I. Berlin Geogr. Abh., 30, (1978).
- Villwock, G.: Zur geowissenschaftlichen Interpretation kosmischer Aufnahmen aus dem östlichen Harzvorland. Hall. Jb. Geow. 7, (1982), 3 - 18.
- Villwock, G.: Untersuchungen zur Ermittlung von Merkmalen der standörtlichen Heterogenität landwirtschaftlicher Nutzflächen mit Methoden der Geofernerkundung. Diss. A Halle, (1983).
- Villwock, G.: Abbildungsverhalten bodenbedingter Standortmerkmale in multispektralen Luftbildern als Grundlage zur Erfassung der Heterogenität landwirtschaftlicher Nutzflächen. Wiss. Z. Univ. Halle XXXIV 85, M, 3, (1985a), 37 - 45.
- Villwock, G.: Großmaßstäbige Betriebskarten zur standörtlichen Heterogenität landwirtschaftlicher Nutzflächen auf Grundlage von Fernerkundungsdaten. Wiss. Abh. Geogr. Gesell. DDR, 18, (1985 b), 262 - 272.
- Winter, H.: Testuntersuchungen zur spülerosiven Bodenerosion im nordöstlichen Mansfelder Land. Wiss. Z. Univ. Halle XXXIII 84 M, 45, (1984), 5, 85 - 91.



Abb. 1: Testschläge (T) des Arbeitsgebietes im NW von Halle

$$\begin{matrix}
 \text{Bilddaten} & & \text{Bodendaten} \\
 X_{ij} = \begin{pmatrix} x_{1,1} & \dots & x_{1,j} & \dots & x_{1,36} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{i,1} & \dots & x_{i,j} & \dots & x_{i,36} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{34,1} & \dots & x_{34,j} & \dots & x_{34,36} \end{pmatrix} & & Y_{k,l} = \begin{pmatrix} y_{1,1} & \dots & y_{1,l} & \dots & y_{1,11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ y_{k,1} & \dots & y_{k,l} & \dots & y_{k,11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ y_{10,1} & \dots & y_{10,l} & \dots & y_{10,11} \end{pmatrix}
 \end{matrix}$$

Verknüpfungsschema von  $X_{ij}$  und  $Y_{k,l}$

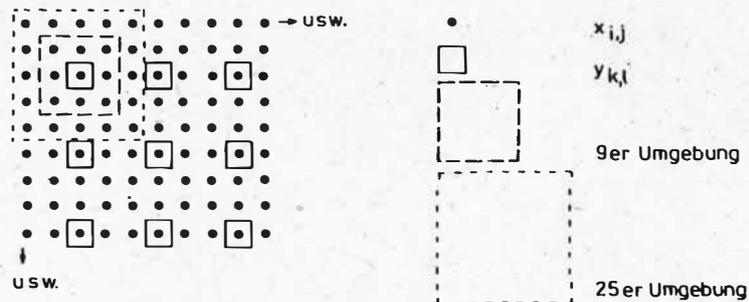


Abb. 2: Erfassungsmatrizen der Bild- und Bodendaten

Abb. 3: Verknüpfungsprinzip von Bild- und Bodendaten

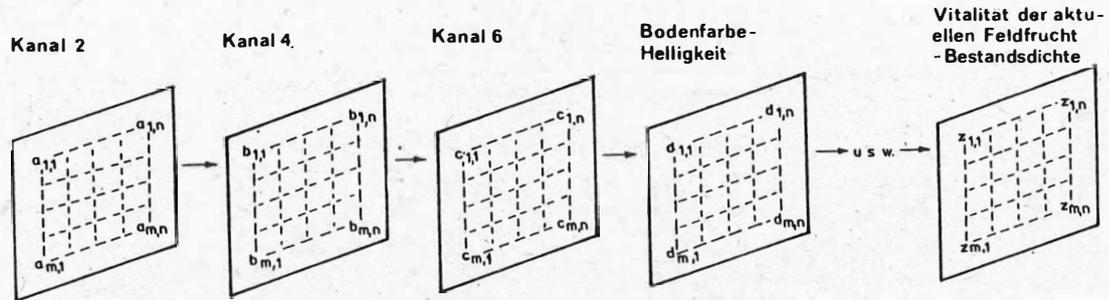


Abb. 4 Arealstruktur ausgewählter Bild- und Bodendaten am Beispiel des Testschlages 5  
Grunderhebung am Mehrdrahtmeter  
KANAL 2

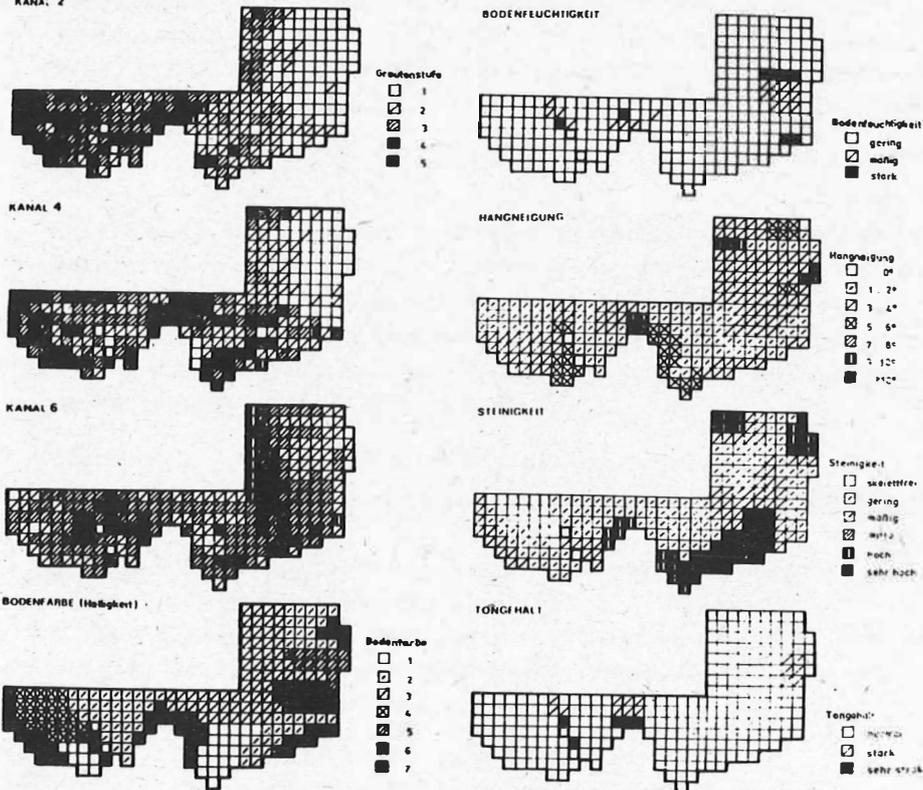
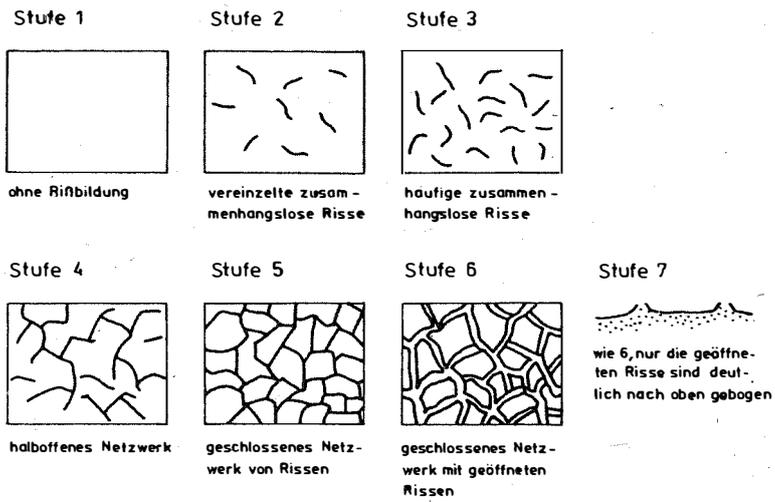


Abb.5: Kartierungsstufen des Tongehaltes auf verspülter Ackerkrume



Ein Beitrag zu Ergebnissen und Erfahrungen der wissenschaftlichen Zusammenarbeit zur Spektrometrie mit dem bulgarischen Institut für Geophysikalische Untersuchungen und Geologische Kartierung, Sofia

F. KOHN, B. HORIG und G. ULBRICHT

Zentrales Geologisches Institut

Zusammenfassung

Das Zentrale Geologische Institut Berlin und das Institut für Geophysikalische Untersuchungen und Geologische Kartierung in Sofia verbindet eine mehrjährige Zusammenarbeit zu Fragen der Fernerkundung. Ein Ziel dieser Zusammenarbeit besteht im Studium der spektralen Signaturen von Gesteinen und Böden. Dazu wurden umfangreiche Geländearbeiten auf Testgebieten beider Länder durchgeführt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen finden ihren Niederschlag in der Erarbeitung effektiver Methoden zur multispektralen Erkundung geologischer Objekte.

Summary

The Central Geological Institute Berlin and the Institute for Geophysical Investigations and Geological Mapping in Sofia have cooperated in the field of remote sensing for many years. One aim of this cooperation is to study spectral signatures of rocks and soils. For that purpose extensive field work had been carried out in the testing areas of both countries. The findings and experience result in the elaboration of effective methods for multispectral prospecting of geological objects.

Резюме

Центральный геологический институт - Берлин и институт геофизических исследований и геологического картирования - София связаны многолетним сотрудничеством по вопросам дистанционного зондирования Земли. Целью этого сотрудничества является изучение спектральных сигнатур пород и почв на основании объемных полевых работ на полигонах обеих стран. Полученные результаты и накопленный опыт отражаются в разработке эффективных методов многозонального исследования геологических объектов.

Seit ca. 10 Jahren werden im Zentralen Geologischen Institut multispektrale Luftaufnahmen bearbeitet und interpretiert. Während in relativ kurzer Zeit die Voraussetzungen für den Einsatz von optisch-elektronischen und digitalen Verfahren zur Mehrkanalbearbeitung geschaffen wurden, zogen Fragen nach der Bedeutung der Spektralsignaturen und den Möglichkeiten ihrer Nutzung für die geologische Multispektralbildinterpretation längerfristige methodische Untersuchungen nach sich.

Drei Schwerpunktaufgaben wurden festgelegt:

1. Bereitstellung eines robusten, leicht handhabbaren Spektrometers für den Einsatz im Gelände;
2. Gewinnung statistisch gesicherter Angaben zu den Gesetzmäßigkeiten der spektralen Remission an Gesteinen und Böden;
3. Untersuchung zu den methodischen Grundlagen, Möglichkeiten und Grenzen für die Nutzung der Spektralsignaturen von Gesteinen und Böden im Rahmen der geologischen Multispektralbildinterpretation.

Das rein technische Problem, die Bereitstellung eines Feldepektrometers, konnte relativ kurzfristig gelöst werden. Erste Messungen an Gesteinen und Böden im Gelände erfolgten mit einem einfachen Handspektrometer, das vom damaligen Institut für Elektronik der Akademie der Wissenschaften zur Verfügung gestellt wurde. Gleichzeitig wurde aber auch die Vielseichtigkeit des Problems und die Bedeutung der Meßbedingungen für die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse offenbar.

Diese Fragen wurden u.a. Gegenstand einer engen Zusammenarbeit mit dem bulgarischen Institut für Geophysikalische Untersuchungen und Geologische Kartierung Sofia, wozu seit längerem bestehende wissenschaftliche Kontakte zwischen beiden Instituten genutzt werden konnten.

Die Zielstellung für das gemeinsame Forschungsthema bestand in gemeinsamen Polygonarbeiten zur Ermittlung der Spektraleigenschaften von Gesteinen und Böden sowie in statistischen Auswertungen zur Einteilung und Abgrenzung von Gruppen. Dazu wurden verschiedene Testgebiete in der VR Bulgarien und in der DDR festgelegt.

Die ersten Polygonarbeiten erfolgten in Bulgarien mit dem bulgarischen Spektrometer ISOCH-20 (Abb. 1), einem einfachen, leicht zu bedienenden Gerät, das 20 feste Kanäle im Bereich zwischen 400 und 800 nm besitzt (Tabelle 1).

Auf Grund der Geländeerfahrungen mit dem Handspektrometer und dem bulgarischen ISOCH-20 konnte in relativ kurzer Zeit ein eigenes Spektrometer entwickelt werden, welches in seiner technischen Ausführung den Anforderungen der Geologie besser angepaßt werden konnte (Abb. 2, Tabelle 1).

**Tabelle 1:** Gegenüberstellung der technischen Daten des bulgarischen Feldepektrometers ISOCH-20 und des Feldepektrometers des Zentralen Geologischen Institute

Wellenlängenbereich ( $\lambda$ )	ISOCH-020 400-800 nm	K-01M 400-1100 nm
Kanäle	20	74
Kanalbreite	10-12 nm	10-12 nm
Meßwert	relativ in %	absolut in $\mu\text{W cm}^{-2}\text{nm}^{-1}\text{er}^{-1}$
Blickwinkel	13°	25°
Öffnungswinkel (fokussierende Optik)	7°	7°
Stromversorgung	Akku 12 V	Akku 12 V
Reflexionsnormal	BaSO <sub>4</sub> (Durchmesser 80 mm)	BaSO <sub>4</sub> (Durchmesser 300 mm)

Bei den über mehrere Jahre durchgeführten Geländeeinsätzen kamen beide Spektrometer stets gleichzeitig zum Einsatz (1). Die konstant guten Arbeitsbedingungen während der Geländearbeiten in Bulgarien waren ausschlaggebend dafür, daß in relativ kurzer Zeit ein repräsentativer Datenbestand zur Verfügung stand. Unter günstigen Arbeitsbedingungen sind in erster Linie überdurchschnittlich hohe Auslastungen der Geländeeinsätze - im langjährigen Mittel ca. 80 % gegenüber ca. 15 % bei Einsätzen in der DDR - und eine vergleichsweise größere Vielfalt freier anstehender Gesteine und Böden zu verzeichnen.



Abb. 1:  
Messungen mit dem bulgarischen  
Feldepektrometer ISOCH-20 in einem  
Marmorbruch bei Ardino/VR Bulgarien

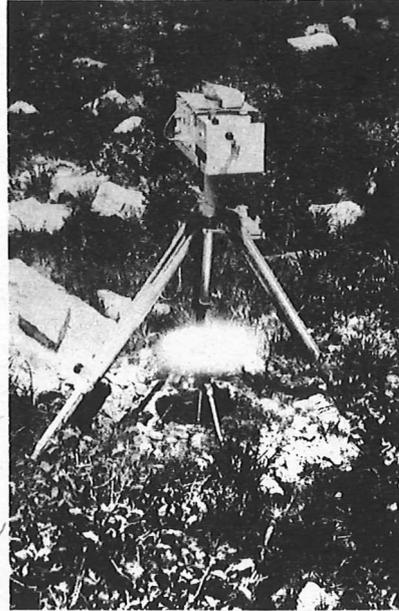


Abb. 2:  
Das Feldepektrometer des Zentralen  
Geologischen Inetituts im Gelände-  
einsetz

Einige ausgewählte Beispiele für spektrale Helligkeiten  $H(\lambda)$  in %, gemessen mit dem bulgarischen Spektrometer und spektrale Strahldichten  $L(\lambda)$  in  $\mu\text{W cm}^{-2}\text{nm}^{-1}\text{sr}^{-1}$ , gemessen mit dem DDR-Spektrometer, zeigen die Abbildungen 3 und 4. Die Messungen erfolgten an Kelken vom NW-Rand des Balkengebirges zwischen den Ortschaften Vidin und Micheilowgrad (Tabelle 2). Eine qualitative Auswertung beider Kurventypen gestattet folgende grundsätzliche Feststellungen:

- a) Kurven der spektralen Helligkeiten  $H$  (Relativmessung mit dem bulgarischen Spektrometer):
1. Farbe und Chemismus des Objektes spiegeln sich in typischen Spektralsignaturen wider;
  2. Vegetation markiert Signaturen des Untergrundes.
- b) Kurven der spektralen Strahldichten  $L$  (Absolutmessungen mit dem Spektrometer des ZGI):
1. Wirkung von Farbe, Chemismus und Vegetation analog a);
  2. Einstrahlungsbedingungen (Sonnenstand, Atmosphärenzustand) beeinflussen die Spektralsignaturen des Objektes.

Mit dem Spektrometer des ZGI können beide Kurventypen wahlweise ermittelt werden. Über die Verwendung eines  $\text{BaSO}_4$ -Reflexionsnormals ist der eine Kurventyp aus dem anderen bestimmbar. Dabei werden die Relativkurven vorzugsweise für statistische Untersuchungen und zum Aufbau einer Datenbank verwendet. Absolutmessungen erfolgen in der Regel zeit-synchron zu Multipektralbefliegungen in Vorbereitung der zielgerichteten automatischen Durchmusterung der Multipektralbilddatze nach Indikationen konkreter geologischer Objekte.

**Tabelle 2:** Erläuterungen zu den Kurven der spektralen Remission in Abb. 3 und 4  
(VR Bulgarien)

Pkt.Nr.	Spektrometrie-Objekt	Ort
67b	Kalk, graugelb	Boitechinovzi
67a	Boden über graugelbem Kalk mit trockener Vegetation	Boitechinovzi
70a	Kalk, hellgrau	Mitrovzi
70b	Kalkschotter, hellgrau	Mitrovzi
70c	Boden über hellgrauem Kalk mit trockener Vegetation	Mitrovzi
70d	Kalk mit grünlich-grauen Einechlüeesen	Mitrovzi

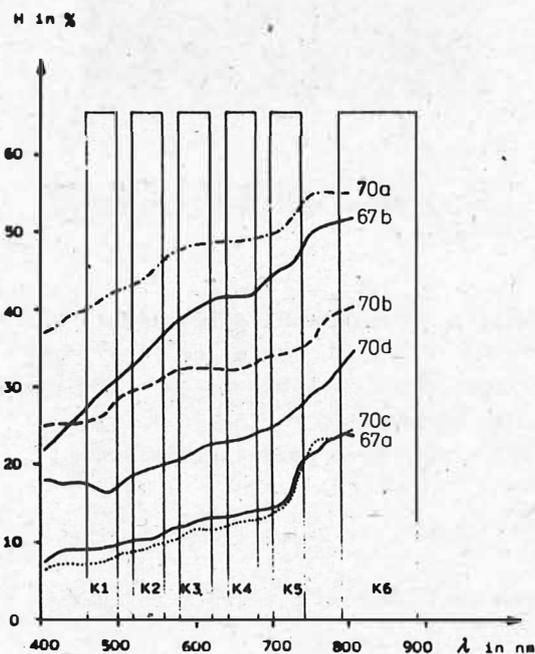


Abb. 3:

Kurven der spektralen Helligkeiten  $H(\lambda)$  von Kalken und Böden über Kalken, ermittelt mit dem bulgarischen Feldspektrometer ISOCH-20 (Erläuterung in Tabelle 2)

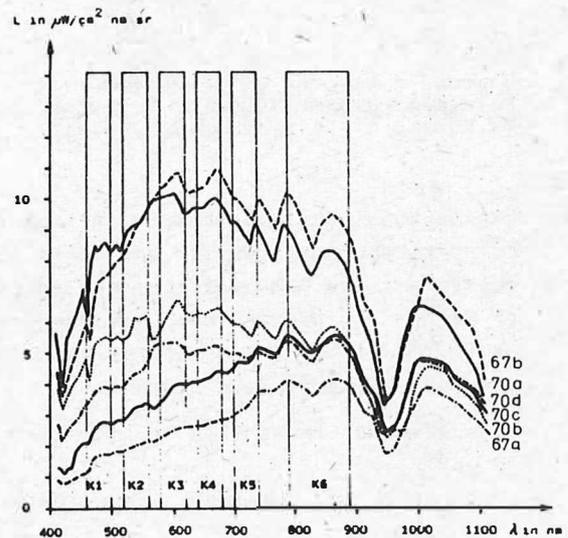


Abb. 4:

Kurven der spektralen Strahlendichten  $L(\lambda)$  von Kalken und Böden über Kalken, ermittelt mit dem Feldepektrometer des Zentralen Geologischen Institute (Erläuterungen in Tabelle 2)

Im Felle entstehender Gesteine ist dieses relativ unproblematisch. Unter den normalen landschaftlichen Bedingungen humider Klimata sind dagegen kompliziertere Zustände zu bewältigen. Da unverdeckt anstehende geologisch interessante Objekte nur in Sonderfällen auftreten, sind die Böden das Hauptziel der geologischen Fernerkundung. Erschwerend wird hierbei allerdings wirksam, daß Vegetation und bodentypische Faktoren, wie Feuchte und Humusgehalt die geologisch relevanten Informationen erheblich oder vollständig verfälschen können.

Dieses zur eingangs zitierten dritten Schwerpunktaufgabe gehörende Problem bestimmt gegenwärtig maßgeblich den Inhalt der Forschungsarbeiten, wobei die momentanen Schwierigkeiten darin bestehen, für kleinere Teetgebiete erprobte Methoden auf größere, für geologische Erkundungen interessante Flächen zu übertragen. Dabei werden sowohl die vielfältigen Möglichkeiten als auch die Grenzen für eine Verwendung von Reflexionsdaten im Rahmen der geologischen Multispektralbildbearbeitung deutlich. Die zahlreichen Daten aus den Geländeeinsätzen, vornehmlich auf dem Territorium der VR Bulgarien, ermöglichen es, die Lösung dieser Probleme zielgerichtet und mit einem Vorlauf an methodischen Erfahrungen zu bewältigen.

#### Literatur:

- (1) HÜRIG, B. u.a.: Methodische Probleme spektrometrischer Messungen an geologischen Objekten, Zeitschr. f. angew. Geologie, Berlin 31 (1985)8, S. 207-212

Computergestützte Verwertung von Weltraumphotographien

M. BUCHROITHNER

Institut für Digitale Bildverarbeitung und Graphik  
 Forschungsgesellschaft Joanneum  
 Graz, Österreich

Zusammenfassung:

Anhand von Beispielen aus Saudi-Arabien, dem zentralen Hindukusoh und dem Ost-Himalaya wird die Nutzung von Metric-Camera-Photographien, die von Bord des Space Shuttle aus gewonnen wurden, für thematische und kartographische Auswertungen dargestellt. Einige Ergebnisse weiterer Fallstudien werden mitgeteilt.

Summary:

Based on the evaluation of Space Shuttle Photographs of mountainous regions in Saudi Arabia, in the Central Hindu Kush and in the Eastern Himalayas, examples of thematic analysis and cartographic utilization are given. Results of case studies are briefly described.

Резюме

На некоторых примерах снимков горных районов Саудовской Аравии, Центрального Гиндукуша и Восточных Гималаев показано применение фотографических изображений, полученных метрической камерой с борта космического корабля Space Shuttle, для тематического анализа и картографического применения. Приводятся некоторые результаты дальнейших исследований.

1. Einleitung

Seit den ersten Aufnahmen, die der Geologe Albert Heim vom Heißluftballon Wega aus im Jahre 1898 für geowissenschaftliche Zwecke über den Westalpen und dem Jura aufgenommen hat (Mekel 1974), hat die Fernerkundung mit Hilfe von Photographien aus der Luft und aus dem Weltraum einen rasanten Aufschwung genommen. Nach einer Versuchsphase, während derer von verschiedenen erdumrundenden Satelliten aus von Astronauten mit hochwertigen "Amateur"-Kameras Aufnahmen der Erdoberfläche aufgenommen worden sind, wurden erstmals mit der multispektralen Kamera MKF-6 geometrisch genau definierte Photographien von Satelliten aus gemacht. Über den äußerst erfolgreichen Einsatz dieser Weltraumphotographie für verschiedene geowissenschaftliche und regionalplanerische Zwecke legt der in Zusammenarbeit der Akademien der Wissenschaften der UdSSR und der DDR erstellte "Atlas zur Interpretation aerokosmischer Multispektralaufnahmen" (Sardajew, Salitschew und Kautzleben 1982) beredtes Zeugnis ab.

In diesem Artikel sollen nun Photographien, welche mittels der photogrammetrischen Kamera aus dem amerikanischen Space-Shuttle aufgenommen worden sind, und verschiedene ihrer Auswertmöglichkeiten dargelegt werden. Ein Großteil der hier vorgestellten Arbeiten wurde im Rahmen eines von der europäischen Raumfahrtbehörde ESA unterstützten Forschungsprojektes "High Mountain Research in Southern Central Asia (HMR in SCH), Experiment for the Metric-Camera-Experiment in the first Spacelab Pilot (Earth-Oriented) Mission, STS 9 / Spacelab ESA 28. November - 8. December 1983", Principal Investigator Robert Kostka, Technische Universität Graz, durchgeführt.

## 2. Methodische Bemerkungen

Geologische, glaziologische, meteorologisch-klimatologische, vegetationskundliche und Landnutzungsauswertungen von  $23 \times 23 \text{ cm}^2$  Farbinfrarot-Filmpositiven wurden an einem Leuchttisch mit Hilfe eines der üblichen Spiegelstereoskope durchgeführt, wobei drei verschiedene Vergrößerungen, die virtuellen Maßstäben bis zu etwa 1:50 000 entsprechen, verwendet wurden. Es ist einleuchtend, daß für relevante thematische und speziell geologische Auswertungen diese Vergrößerungen in alternierender, interaktiver Weise verwendet wurden.

Verschiedene Ausschnitte der Stereomodelle wurden direkt an einem graphischen Arbeitsplatz ausgewertet. Zu diesem Zweck wurden Spiegelstereoskop und Farbdiaspositive auf einem Digitalisierleuchttisch montiert. Punktformige und lineare Elemente sowie Grenzlinien von flächenhaften Oberflächenmerkmalen wurden anstatt mit einem Bleistift mit einem Fadenkreuz ausgewertet. Die resultierende Interpretation konnte an einem Tektronix-Graphik-Bildschirm visualisiert und überprüft werden. Diese Arbeiten wurden unter Verwendung verschiedener Software-Subsysteme, die am Institut für Digitale Bildverarbeitung und Graphik in Graz entwickelt worden sind, durchgeführt. Die Ergebnisse der thematischen Kartierungen wurden dann mit einem Benson-Trommelplotter unter Verwendung der oben erwähnten Software gezeichnet, wobei hier die Möglichkeit besteht, innerhalb eines gewissen Bereiches nahezu jeden beliebigen Maßstab für die Wiedergabe zu wählen.

Darüber hinaus konnte die erhaltene Information aufgrund ihrer digitalen Natur leicht in ein geographisches Informationssystem eingespeist und dann für die Vervollständigung von bzw. den Vergleich mit existierender Geoinformation verwendet werden.

In diesem Zusammenhang sei angemerkt, daß für viele Fragestellungen, bei denen die geometrische Genauigkeit nicht im Vordergrund steht, eine Rektifikation nicht notwendigerweise durchgeführt werden muß, da bis in den Bereich von einigen Zehnerkilometern die Unterschiede zwischen topographischen Karten und den betreffenden Vergrößerungen von Metric-Camera-Bildern vernachlässigbar klein sind; beispielsweise nur maximal einige Millimeter im Maßstab 1:50 000 (vergleiche Gierloff-Emden, Dietz und Halm 1985). Diese Genauigkeit ist im Solu Khumbu-Gebiet südwestlich des Mount Everest, einem Areal mit extrem großen Reliefunterschieden und Höhendifferenzen bis zu 4010 m auf einer Distanz von nur 16 km und folglich vergleichsweise starkem Reliefversatz, getestet worden (Buchroithner 1984). Es muß jedoch betont werden, daß die oben erwähnten Vergleiche in den inneren zwei Dritteln der betreffenden Szenen angestellt worden sind.

Für verschiedene Erosionsstudien im nepalesisch-tibetischen Himalaya wurden am analytischen Stereoauswertegerät DSR-1 von Kern detaillierte Stereoauswertungen durchgeführt. Hierzu wurde das flexible photogrammetrische Mehrzweck-Softwarepaket CRISP, welches ebenfalls am Institut für Digitale Bildverarbeitung und Graphik entwickelt worden ist (Fuchs und Leberl 1984), verwendet. Durch Anwendung von Geokoordinaten-Konversionsprogrammen können die durch Stereoauswertung gewonnenen Informationen in jede beliebige Projektion und in den passenden Maßstab gebracht werden. Mittels einer vergleichsweise einfachen und zeitsparenden File-Transformation kann ein digitales Geländemodell generiert und dann in ein geographisches Informationssystem integriert werden.

Die für die thematischen und topographischen Auswertungen benutzte Hardware und die betreffenden Arbeitsplätze sind in Abb. 1 wiedergegeben.

Für die genannten Erosionsstudien konnten, um diese Methode zu demonstrieren, auf Grund zeitlicher Limitationen nur vergleichsweise kleine Gebiete in der oben erwähnten Weise untersucht werden. Der axonometrische Plot von Abbildung 6 mag als Beispiel dafür stehen.

Vergleiche mit konventionellen Flächenberechnungen unter Zugrundelegung von Metric-Camera-Photovergrößerungen mit Hilfe eines Planimeters einerseits und durch Anwendung von Landsat MSS-Daten (Pixelzählungen; Buchroithner, Jentsch und Wanivenhaus 1982, Buchroithner 1984, 1985 b) andererseits zeigten die Positiva der auf digitaler Basis funktionierenden und auf Metric-Camera-Stereomodelle angewendeten photogrammetrischen Methoden in bezug auf die Genauigkeit. Ihre Vorteile kamen noch drastischer zum Tragen, wenn die realen, nicht projektiven Oberflächen berechnet wurden (Buchroithner 1985 a), b), Fuchs und Leberl 1984).

Die empirisch ermittelten Genauigkeiten bei DSR-1-Stereoauswertungen (im allgemeinen 4 Auswertgänge von verschiedenen erfahrenen Operatoren) belaufen sich auf etwas weniger als 20 m in der Höhe sowie ca. 6 m in der Pla-

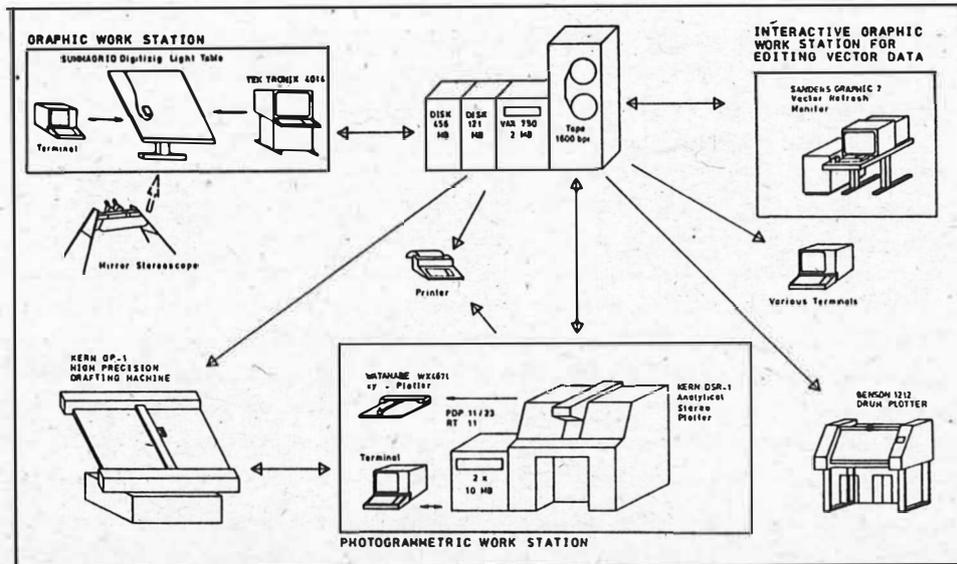


Abb. 1: Hardware-Konfiguration und Arbeitsplätze für die topographische und thematische Auswertung von Metric-Camera-Aufnahmen. Der interaktive graphische Arbeitsplatz für das Editieren von Vektordaten wird für die Herstellung von digitalen Geländemodellen benutzt.

nimetrie bei "leichtem" und 11 m bei "schwierigem" Terrain, wobei sehr dunkle, waldbedeckte Hänge in Schlag-schattenbereichen ausgenommen sind.

### 3. Anwendungsbeispiele

Mit den zur Verfügung stehenden Metric-Camera-Aufnahmen wurden in drei von ihrem Charakter her unterschiedlichen Gebirgsgegenden in Saudi-Arabien, Afghanistan und Nepal-Tibet Fallstudien durchgeführt. Im folgenden seien auszugsweise einige der erreichten Ergebnisse kurz dargelegt.

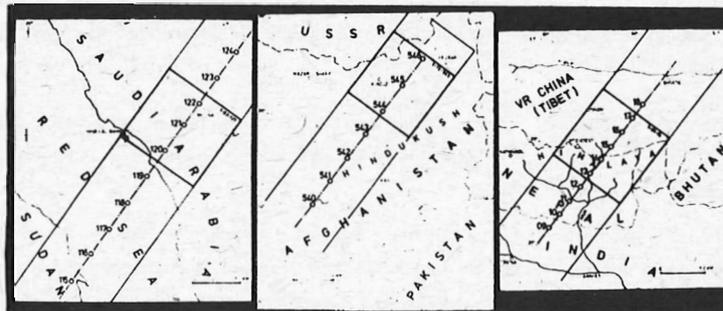


Abb. 2: Lageskizzen der drei mit Metric-Camera-Aufnahmen untersuchten Gebiete (dünne parallele Linien: Begrenzung des Flugstreifens; strichpunktierte Linie: Bodenspur des Space-Shuttle-Flugs; dicker quadratischer Rahmen: von einer Photographie abgedecktes Gebiet). Folgende Szenen standen zur Verfügung: Saudi-Arabien: Nr. 120 und 121; Afghanistan: Nr. 544 bis 546 und Nepal-Tibet: Nr. 12 bis 16.

### 3.1. Saudi-Arabien

Von einem Stereobildpaar, welches den Bereich um die saudi-arabische Stadt Medina (Al Madinah) abdeckt, wurde eine geologische Auswertungsskizze im Originalmaßstab angefertigt (Abb. 3). Neben den im Stereobild deutlich sichtbaren Riffbänken im Roten Meer zeigt sie verschiedene Merkmale der vorwiegend sand- und schotterbedeckten Küstenebene sowie des gebirgigen Südwestrandes des Arabischen Schildes. Lineamente verschiedener Bedeutung und Ausdehnung ließen sich mit großer Detailliertheit auswerten. Auf Grund der fast vollkommen fehlenden Vegetationsbedeckung konnten auch lithologische Einheiten deutlich unterschieden werden. Allerdings stellte sich auch hier wieder einmal mehr die Bedeutung der Rückkoppelung mit Geländebefunden heraus.



Abb. 3: Fotogeologische Auswertung eines Metric-Camera-Stereomodells von Saudi-Arabien.

Lage siehe Abb. 2. Es wurden 17 lithologische Einheiten, 7 lineare und 5 punktförmige Elemente ausgeschieden. Weitere Erläuterungen siehe Text.

Bei der tektonischen Interpretation konnten sowohl lineare als auch zirkuläre Elemente in Form von Lineamenten kartiert werden. Eine besonders gut ausgeprägte Ringstruktur westlich von Medina (Jabal-'Adamar-Batholith, Pellaton 1981) wurde im Detail untersucht und mit einem ähnlichen Merkmal aus dem zentralafrikanischen Raum (Tschad, Roland 1976) verglichen. Derartige Ringstrukturen haben unter anderem für die Erzprospektion große Bedeutung.

### 3.2. Hindukusch

Ein Stereotriplet von Aufnahmen von Nordostafghanistan (Provinz Badakhshan) wurde im Hinblick auf Meteorologie/Klimatologie, Landnutzung und Geologie untersucht. Die Lage des an der Nordabdachung des Zentralen Hindukusch gelegenen und als Khwaja Muhammad Range bekannten Gebietes ist aus Abb. 2 ersichtlich. Auf Grund einer ca. 30%igen Wolkenbedeckung konnten von den von Metric-Camera-Fotos abgedeckten 35 570 km<sup>2</sup> nur ca. 25 000 km<sup>2</sup> erdwissenschaftlich relevant ausgewertet werden. Erwähnenswert ist eine detaillierte photogrammetrische Auswertung der in den Stereomodellen enthaltenen Wolkenformationen. Die Umhüllenden verschiedener Wolkentypen konnten mit Genauigkeiten zwischen 50 und 100 m, wobei sich die Oberseite im allgemeinen exakter ansprechen ließ, bestimmt werden. Interessant ist die Beobachtbarkeit von fadenförmig ausfallenden Schnee-

niederschlägen aus verschiedenen Wolken.

Die fachliche Interpretation dieser photogrammetrischen Auswertung ist noch im Gange.

Neben einer visuellen Landnutzungskartierung im Bereich der Stadt Kunduz wurde in diesem Bereich auch versucht, Metric-Camera-Bilddaten, die mit einem Optronics-Gerät digitalisiert worden waren, mit Hilfe eines digitalen Bildverarbeitungssystems zu klassifizieren. Bestimmte Bodennutzungsklassen, hier vor allem Getreidefelder, ließen sich, z. T. auch mit Relevanz zu ihrem Feuchtigkeitsgehalt, auf diese Weise gut unterscheiden. Sowohl die visuellen als auch die digitalen Klassifikationsergebnisse zeigen eine hohe Übereinstimmung mit Luftbildern aus den 50er sowie mit Geländebefunden aus den 70er Jahren.

Als Beispiel einer detaillierten strukturgeologischen Auswertung mag Abb. 4 dienen. Basierend auf der dort wiedergegebenen Analyse läßt sich ableiten, daß auf einen Akt undulierender Faltung der vorhandenen weichen sedimentären Gesteinsserien eine Phase bruchtektonischer Aktivitäten mit horizontalen und vertikalen Bewegungen folgte. Über den genetischen Bezug dieser zwei Akte kann allerdings keine Aussage gemacht werden. Die verschiedenen Horizontalversetzungen müssen augenscheinlich in Verbindung mit der Genese des sogenannten Kokca-Grabens, der sich nach Norden in die Sowjetunion hin fortsetzt, gesehen werden (vgl. Wolfart und Wittekindt, 1980).

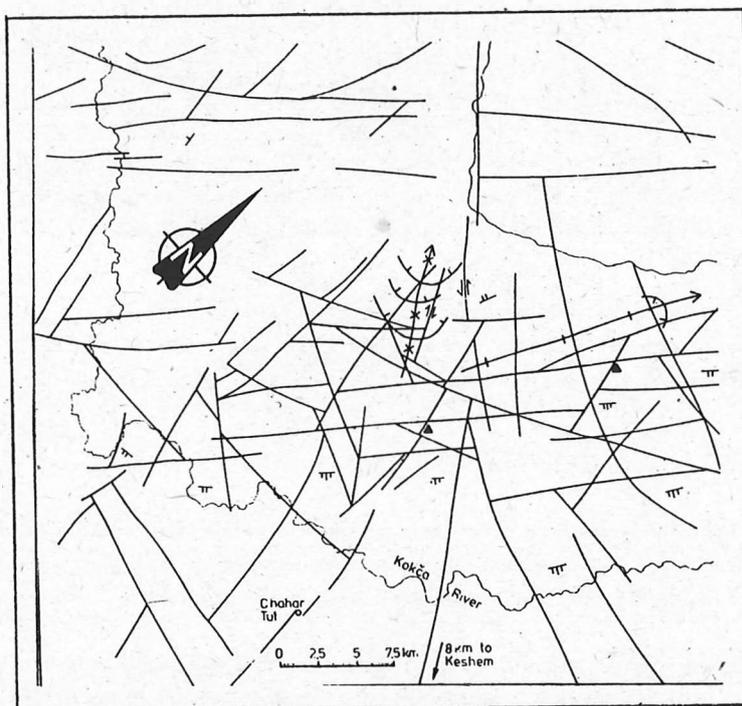


Abb. 4: Strukturgeologische Auswertung eines Metric-Camera-Farb-Infrarot-Stereomodells von einem Detailbereich in Nordost-Afghanistan, südwestlich der Stadt Faisabad. Zacken der Fallzeichen geben zunehmende Steilheit an, durchgekrenzte Faltenachsen Synklinalen, mit Kurzbalken versehene Antiklinalen; Pfeile deuten das Abtauchen der Achse an.

### 3.3. Osthimalaya

Ein aus fünf Szenen mit jeweils 80% Überlappung bestehender Flugstreifen wurde im Bereich des östlichen Himalaya ausgewertet. Die fünf Aufnahmen decken einen Bereich vom tibetischen Hochland bis zur Gangesebene ab. Sie repräsentieren eine Bodenspur von ca. 370 km Länge, wovon 294 km durch ein Stereomodell abgedeckt werden. Auf Grund der Größe der Metric-Camera-Aufnahmen kann eine komplette stereoskopische Analyse einer 190 km breiten Traverse durch das Himalayagebirge mit nur zwei Einzelmodellen durchgeführt werden. Dies zeigt deutlich

den Vorteil von Space-Shuttle-Aufnahmen photogrammetrisch definierter Geometrie für synoptische Auswertungen. Ein Größenvergleich ist in Abbildung 5 gegeben.

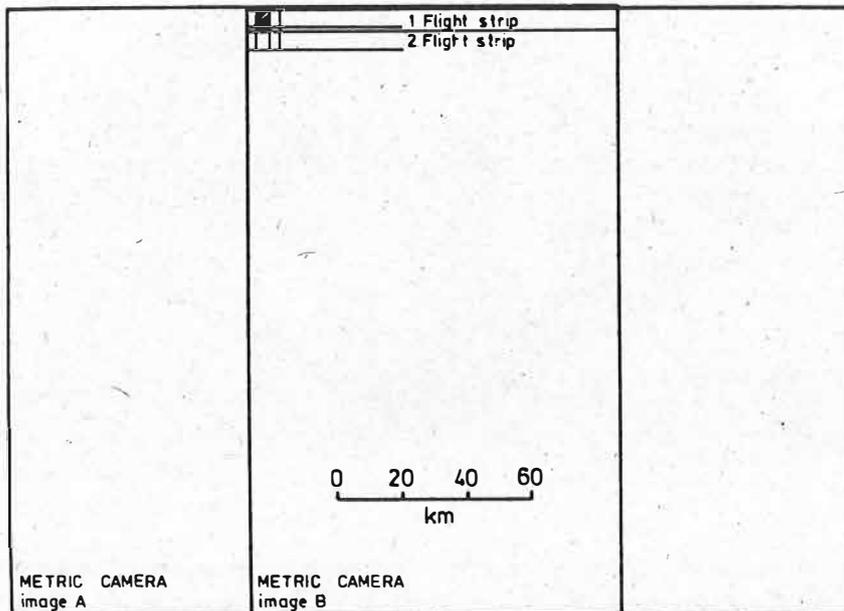


Abb. 5: Vergleich der Oberflächenbedeckung eines Stereopaars der Metric-Camera von Stereomodellen konventioneller Luftaufnahmen mit einem mittleren Bildmaßstab von 1: 30 000. Für beide Aufnahmegruppen wurde eine Vorwärtsüberlappung von 60% angenommen. Die Seitenüberlappung der Luftaufnahmen beträgt 20 %. Der schraffierte Bereich zeigt ein Stereomodell der Luftaufnahmen an.

Bei der durchgeführten geologischen Auswertung der Satellitenphotographien des Himalaya konnten einerseits die Anteile des tibetischen Hochlandes, in denen anstehender Fels bzw. vegetationsloser Boden ersichtlich ist, unter besten Bedingungen kartiert und andererseits an den südlichen Abdachungen des Himalaya zur Gangesebene die verschiedenen Vegetationstypen als Indikatoren für geologische Merkmale ideal verwertet werden. Beispiele von detaillierteren Analysen sind bei Buchroithner 1984 gegeben.

#### 3.4. Weitere Beispiele

Abschließend sollen noch zwei Beispiele von praktischem, kurzfristig verwertbarem Einsatz der photogrammetrischen Aufnahmen aus dem Weltraum gegeben werden.

Basierend auf älteren Untersuchungen der Spuren von Sturzflut-Katastrophen im Solu Khumbu-Gebiet Ostnepals (Buchroithner, Jentsch und Wanivenhaus 1982) wurden mit Hilfe von Stereoauswertungen am analytischen Stereoauswertegerät (vgl. Kapitel 2) Detailuntersuchungen über derartige Katastrophen vorgenommen. Hierbei erwies es sich auch unter anderem als äußerst vorteilhaft, daß mit Hilfe der digitalen Stereoauswertung wahre und projizierte Flächen rasch und genau berechnet werden können. Die ausgewerteten Höheninformationen konnten dann unmittelbar in ein digitales Geländemodell transformiert werden. Dieser dreidimensionalen Information konnte dann noch thematische Oberflächeninformation überlagert werden. Abb. 6 gibt ein Beispiel für eine derartige Darstellung wieder.

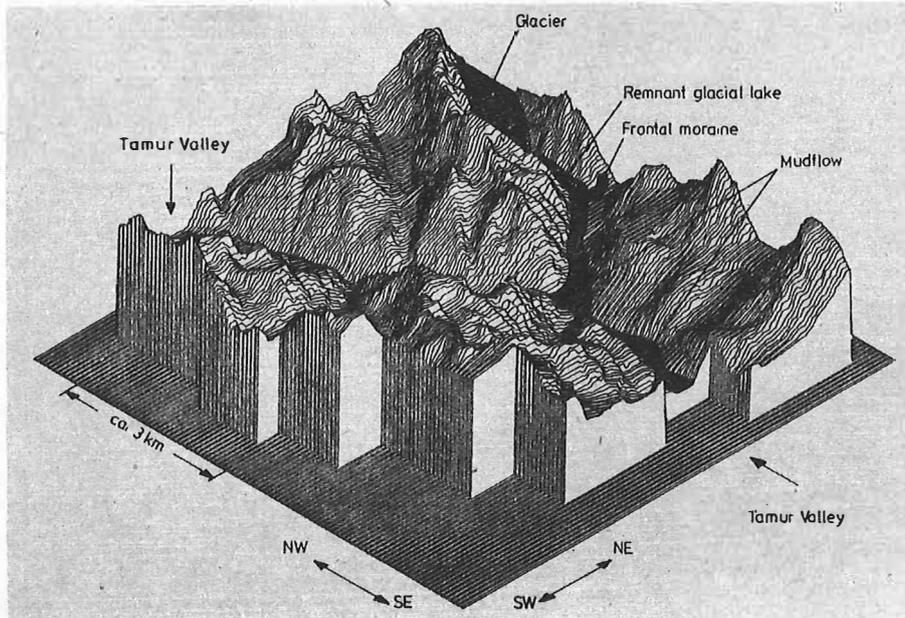


Abb. 6: Axonometrischer Plot eines digitalen Geländemodells, welches einen gewaltigen Schutt- und Schlammstau zeigt, der in das Tal des Tamur-Flusses, ca. 35 km NW der Kangchendzonga (8598 m, Nepal) fließt. Überhöhungsfaktor 1,5. Basierend auf digitalen Stereoauswertungen am analytischen Plotter.

Solche Untersuchungen sind unter anderem deshalb von Interesse, weil die nepalesischen Behörden die Exploitation des bestehenden Wasserkraftpotentials vorantreiben wollen und die aus diesen Studien gewonnenen Erfahrungen für den Bau zukünftiger Kraftwerke in verschiedenen Tälern Nepals von Interesse sind. So stellte sich beispielsweise unter anderem heraus, daß die oben erwähnten Sturzflutkatastrophen in vielen Fällen durch das Bersten von Moränendämmen verursacht worden sind, wodurch das häufig hinter diesen Stirnmoränenwällen gestaute Gletscherwasser abfließt und eine gewaltige Erosions- und Akkumulationsaktivität in den tiefer liegenden Talbereichen ausübt. Als Ursache für derartige Dammbüche dürften aller Wahrscheinlichkeit nach Erdbeben anzunehmen sein. Es ist auffällig, daß die Ursprungsorte dieser Flutkatastrophen in unmittelbarer Nähe von Kreuzungspunkten von Haupt- mit Nebenlineamenten von tektonischer Relevanz liegen. An diesen Schwächen zonen dürften sich Erdkrustenbewegungen mit besonders starken Erschütterungen auswirken (Buchroithner 1985 b)).

Abschließend soll noch eine eher unkonventionelle Verwertung der Metric-Camera-Photographien angeführt werden. Von dem mit dem Institut für Digitale Bildverarbeitung und Graphik in Graz sehr eng kooperierenden Institut für Angewandte Geodäsie und Photogrammetrie der Technischen Universität Graz wurde unter Leitung von Herrn Dr. Kostka eine sogenannte Satelliten-Trekking-Karte ("Sattrek Map") des Solu Khumbu-Gebiets hergestellt. Auf Grund der bereits in Kapitel 2 erwähnten geringen Genauigkeitsabweichungen im Zentralbereich der Metric-Camera-Aufnahmen schien es gerechtfertigt, Ausschnitte derartiger Photographien in einem einfarbigen Druck für die Herstellung von Bergwanderkarten zu verwenden. Schriftlicher Karteninhalt und Symbole wurden mittels des Geomap-Systems von Wild auf digitaler Basis generiert.

Der Vorteil derartiger Karten liegt darin, daß sowohl ihre Genauigkeit als auch ihr Informationsgehalt deutlich höher sind als der bisher im Handel angebotener Trekking-Karten.

Bei entsprechenden Auflagezahlen ließen sich die auf vergleichsweise einfache und rasche Weise hergestellten Karten kostengünstig vertreiben und für verschiedene Touristengebiete der Welt, von denen es keine anderen qualitativ gleichwertigen Wanderkarten gibt, herstellen

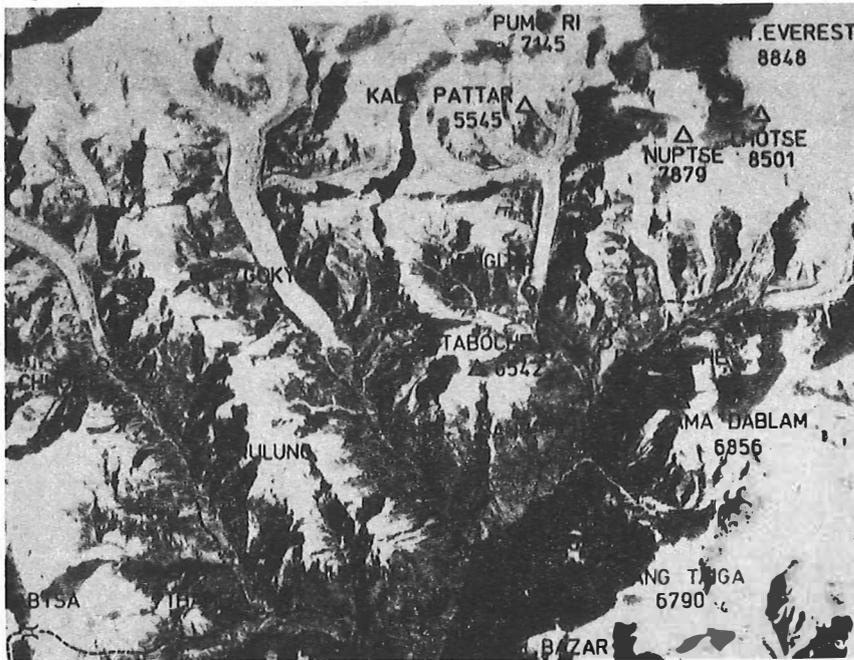


Abb. 7: Ausschnitt aus der Satellitenbild-Bergwanderkarte (Maßstab ungefähr 1:300 000) des Solu Khumbu-Gebietes in Nordostnepal. Originalmaßstab 1:250 000; Karte im Original rötlich-ocker, schriftlicher Karteninhalt schwarz.

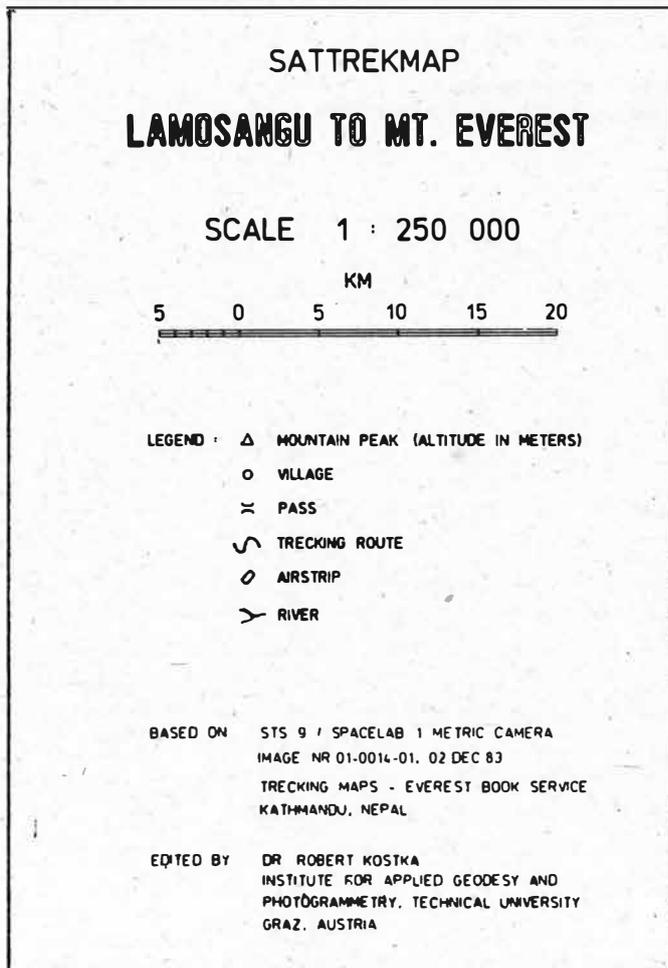


Abb 8: Schriftlicher Inhalt des Rahmens der Satellitenbild-Bergwanderkarte ("Sattrek Map") des Solu Khumbu-Gebietes in Nordostnepal.

Literatur

- [1] BUCHROITHNER, M.F.: Geological Mapping of Remote Mountainous Regions Using Metric Camera Imagery. Initial Experiences with Photogrammetric Space Images. Mitt. Österr. geol. Ges., Wien, 77 (1984) S. 115-149
- [2] BUCHROITHNER, M.F.: Geological Mapping of Remote Mountainous Regions Using Metric Camera Imagery. ESA Spec. Publ., 209, Paris, 1985 a, S. 103 - 108
- [3] BUCHROITHNER, M.F.: Thematic Mapping and Erosion Monitoring with Metric Camera Imagery Using Computer-Aided Methods. Proc. Working Group Meeting, CERMA International Conference Series, Washington D.C., 1985 b, S. 3-1 - 3-10
- [4] BUCHROITHNER, M.F.; JENTSCH, G.; WANIVENHAUS, B.: Monitoring of Recent Geological Events in the Khumbu Area (Himalaya, Nepal) by Digital Processing of Landsat MSS Data. Rock Mechanics, 15, Wien, 1982, S. 181 - 197
- [5] FUCHS, H.; LEBBERL, F.: Universal and Analytical Plotter Software for Photographs with Perspective Geometry (CRISP). Proc. ASP - ACSM Convention, Washington D.C., 1984, S. 774 - 781
- [6] GIERLOFF-EMDEN, H.G.; DIETZ, K.R.; HALM, K. (Hrsg.): Geographische Bildanalysen von Metric-Camera-Aufnahmen des Space-Shuttle-Fluges STS-9. Beiträge zur Fernerkundungskartographie. Münchener Geogr. Abh., 33, München, 1985, 163 S.
- [7] MEKEL, J.F.M.: A Short History of Photogeology. Information of the International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (ITC), 30, Enschede, 1974, 60 S.
- [8] PELLATON, C.: Geologic Map of the Al Madinah Quadrangle, Sheet 24D, Kingdom of Saudi Arabia, Scale 1:250 000. Minist. Petroleum Mineral Resources, Deputy Minist. Min. Res., Jeddah, 1981
- [9] ROLAND, N.W.: Die Ringstruktur Aorounga (Borkou, Süd-Sahara). Geol. Jahrb., A33, Hannover, 1976, S. 117 - 131
- [10] SAGDEJEW, R.S.; SALISTSCHEW, K.A.; KAUTZLEBEN, H. (Hrsg.): Atlas zur Interpretation aerokosmischer Multispektralaufnahmen. Akademie-Verlag, Berlin, 1982, 82 S.
- [11] WOLFART; R.; WITTEKINDT; H.: Geologie von Afghanistan. Verlag Borntraeger, Berlin - Stuttgart, 1980, 500 S.

H. P. BÄHR

Universität Karlsruhe

Institut für Photogrammetrie und Topographie

Zusammenfassung

Am Beispiel der Bundesrepublik Deutschland wird ein Überblick über die Arbeiten zur Landnutzungskartierung vom Weltraum aus gegeben. Die verfügbaren Aufnahmesysteme und die am Institut für Photogrammetrie und Topographie der Universität Karlsruhe für die Bildbearbeitung eingesetzte Hard- und Software werden kurz vorgestellt.

Etwas ausführlichere Behandlung erfahren die auch in anderen Ländern aktuellen Fragen der großen Datenmengen bei der digitalen Bildbearbeitung, der exakten geometrischen Entzerrung der Weltraumaufnahmen und der Mischpixelanalyse.

Anhand aktueller Bearbeitungsbeispiele werden einige Gedanken zu der Diskrepanz zwischen den derzeitigen technischen Möglichkeiten der Landnutzungskartierung mittels Fernerkundung ("Angebot") und den Forderungen der Praxis ("Nachfrage") geäußert.

Summary

The paper presents a survey of activities for spaceborne land use mapping. It shortly describes the available imaging systems as well as hardware and software used at the Institute for Photogrammetry and Topography of Karlsruhe University. Detailed attention is paid to current problems for many countries concerning the great quantity of data for digital image processing, the exact geometric rectification of spaceborne images, and mixed pixel analysis.

Some practical examples show a discrepancy between the present technical background of land use mapping by means of remote sensing and the practical demand (problem of "supply and demand").

Резюме

Дается обзор работ, проводимых в ФРГ по картографированию для целей землепользования на основе космических данных. Представлены применяемые съёмочные системы и используемые в Институте фотограмметрии и топографии Университета г. Карлсруэ (ФРГ) технические и программные средства для обработки снимков. Более подробно обсуждены актуальные и для других стран проблемы, связанные с большими массивами данных при цифровой обработке, с точной геометрической трансформацией космических снимков и анализом смешанных пикселей.

На основе некоторых актуальных примеров обработки указывается на разногласие между имеющимися техническими возможностями при картографировании землепользования на основе данных ДЗЗ и требованиями, вытекающими из практики.

## 1. Einleitung

Aufgabe dieses Referates über Landnutzungskartierung von Satelliten aus ist eine Darstellung dieser Methode aus aktueller Sicht der Bundesrepublik Deutschland. Das kann hier naturgemäß nur in der Form eines groben Überblicks geschehen. Technische Einzelheiten können dabei nur am Rande angerissen werden; darüber hinaus sei auf die Literatur verwiesen (z. B. BÄHR 1985). Von allgemeinerem Interesse scheinen die Voraussetzungen für eine Landnutzungskartierung von Satelliten aus zu sein und die damit zusammenhängenden Probleme. Die gezeigten praktischen Beispiele müssen jedoch darunter leiden, daß sie lediglich in Schwarz-Weiß und nicht in Farbe präsentiert werden können und daß darüber hinaus beim Druck gegenüber dem Original auf dem Bildschirm viele Details verloren gehen.

## 2. Voraussetzungen für Landnutzungskartierung von Satelliten aus

### 2.1. Satelliten- und Sensorsysteme

In Tabelle 1 sind jene Satelliten- und Sensorsysteme zusammengestellt, die für die Bundesrepublik Deutschland die größte Bedeutung aufweisen. LANDSAT-MSS ist sozusagen das "Leitfossil" unter den Sensoren, denn in den 14 Jahren kontinuierlicher Verfügbarkeit ist bis ins Details untersucht worden, was das System zu leisten vermag.

Bezeichnung	Spektralbereich	Auflösungselemente am Boden (m)	Bildgröße	Bahndaten	Wiederholung
LANDSAT MSS USA	0,5-0,6 $\mu\text{m}$ 0,8-1,1 $\mu\text{m}$ 0,6-0,7 $\mu\text{m}$ 0,7-0,8 $\mu\text{m}$	79 x 56	3200 x 2300 Elemente 185 km x 185 km ~ 7 MB	h = 920 km i = 99°	starr 18 Tage seit 1972
LANDSAT TM USA	0,45-0,52 $\mu\text{m}$ 1,55-1,75 $\mu\text{m}$ 0,52-0,60 $\mu\text{m}$ 10,40-12,50 $\mu\text{m}$ 0,63-0,69 $\mu\text{m}$ 2,08-2,35 $\mu\text{m}$ 0,76-0,90 $\mu\text{m}$	30 x 30 120x120 (thermal)	7020 x 5760 Elemente 185 km x 185 km ~ 40 MB	h = 705 km i = 98°	starr 16 Tage seit 1983
SPOT FRANKREICH	pan: 0,50-0,59 $\mu\text{m}$ 0,51-0,73 $\mu\text{m}$ 0,61-0,68 $\mu\text{m}$ 0,79-0,89 $\mu\text{m}$	pan: 10 x 10, multisp: 20 x 20	pan: 6000 x 6000 36 MB Elemente, multisp: 3000 x 3000 60 km x 60 km	h = 832 km i = 99°	flexibel 26 Tage CCD Stereo seit 1986

Tab. 1: Die für die Nutzung in der Bundesrepublik wichtigsten Erderkundungssatelliten und ihre Sensoren

Anfänglicher Euphorie ist nüchterne Einschätzung gewichen, was Anwendbarkeit im kleinstrukturierten Mitteleuropa angeht - bis hin zu grundsätzlicher Ablehnung von Fernerkundung überhaupt als eine "Modesache". Die Nachteile von LANDSAT-MSS, geringe geometrische und radiometrische Auflösung, überwindet jedoch weitgehend der LANDSAT-TM-Sensor, der seit 1983 verfügbar ist. Seit Februar dieses Jahres fliegt der französische SPOT-Satellit. Er weist gegenüber der amerikanischen Konkurrenz eine höhere geometrische Auflösung, Stereoaufnahmen und flexible Datenerfassung bei allerdings erheblich reduzierter radiometrischer Auflösung auf.

Die Abbildungen 1 bis 3 zeigen einen Vergleich von Bildern der drei genannten Sensoren. Besonders deutlich wird dabei die Qualitätssteigerung von MSS nach TM, ein Umstand, der für den praktischen Einsatz des neuen Systems für Zwecke der Landnutzungskartierung in Mitteleuropa von ausschlaggebender Bedeutung

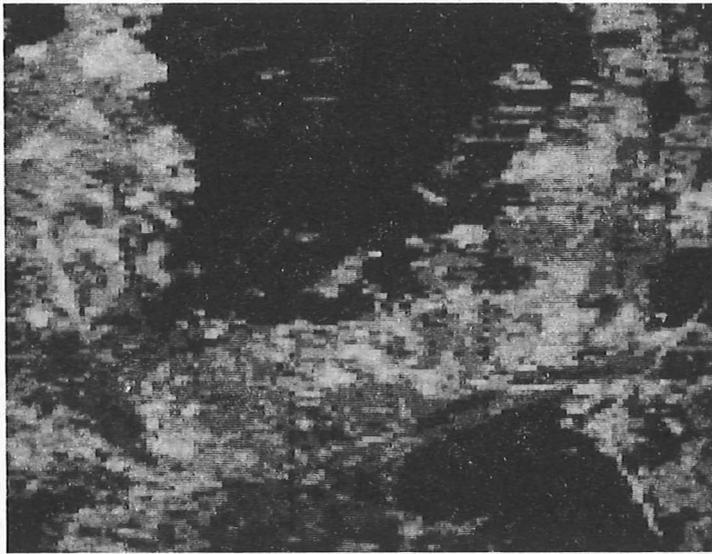


Abb. 1: Karlsruhe  
LANDSAT-MSS-Aufnahme, Maßstab 1:50.000



Abb. 2: Karlsruhe  
LANDSAT-TM-Aufnahme, Maßstab ca. 1:50.000

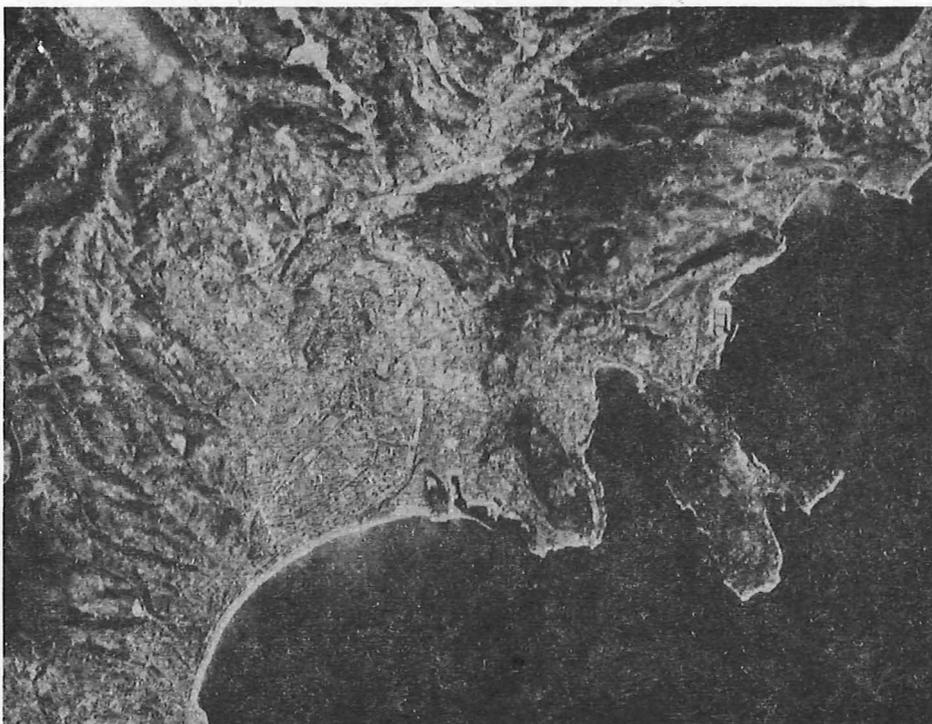


Abb. 3: Nizza/Südfrankreich  
 SPOT-Aufnahme vom 23. 2. 1986, Maßstab ca. 1:100.000  
 (Quelle: SPOT Image Corporation)

ist. Zu SPOT kann nicht weiter Stellung genommen werden, weil noch keine Erfahrungen damit vorliegen. Das Nizza-Bild zeigt die erwartete geometrische Qualität; es muß jedoch damit gerechnet werden, daß sich die geringe radiometrische Auflösung bei der rechnergestützten Landnutzungskartierung sehr negativ bemerkbar macht.

Dem französischen und dem amerikanischen System ist gemeinsam, daß sie weniger forschungsorientiert sind, sondern direkt auf praktischen, wirtschaftlichen Nutzen ("Operationalität") hin ausgerichtet sind. Wie bekannt sein dürfte, hat "Ökonomie" im westlichen System aber immer auch mit "Kommerzialität" zu tun. Für die umfangreiche, allgemeine Anwendung von Landnutzungskartierung vom Satelliten aus ist das von ausschlaggebender Bedeutung: Die Verfügbarkeit geeigneter Systeme wird ihren praktischen Einsatz logisch zur Folge haben, soweit dieser Einsatz wirtschaftliche Vorteile bietet. Dieser Mechanismus dürfte auch in sozialistischen Ländern kaum anders verlaufen.

## 2.2. Bildverarbeitungssysteme

Viele Jahre Arbeit mit LANDSAT-MSS haben gezeigt, daß nur digitale Bildverarbeitung den Informationsgehalt der Daten optimal ausschöpfen kann. In den vergangenen 10 Jahren haben sich für die Fernerkundung daher digitale Bildverarbeitungstechniken allgemein durchgesetzt, übrigens nicht nur für Fernerkundungsaufgaben. Den Stand der Bildverarbeitungs-Hardware kann man etwa ablesen am Bildverarbeitungs-labor des Instituts für Photogrammetrie und Topographie der Universität Karlsruhe IPT (Abb. 4). Er ist gekennzeichnet durch:

Verwendung von 32-bit Minirechnern

Peripheriegeräte mit großer Eigenintelligenz

Dezentrales Prinzip, Vernetzung

Dialogsysteme

Dies ist nicht immer so gewesen und braucht auch in Zukunft nicht notwendigerweise so zu bleiben: In den 70er Jahren betrieb man digitale Bildverarbeitung häufig auch "off-line" an Großrechnern; in Zukunft werden auch die preiswerten Personal Computer ("Bürocomputer") ihren Platz in Bildverarbeitungsanlagen erhalten. Abb. 4 zeigt übrigens deutlich die "technologische Verwandtschaft" aller Bildverarbeitungstechniken, ganz gleich, ob am Anfang "Kartographie", "Photogrammetrie" oder "FERNERKUNDUNG" als Anwendungsfeld steht.

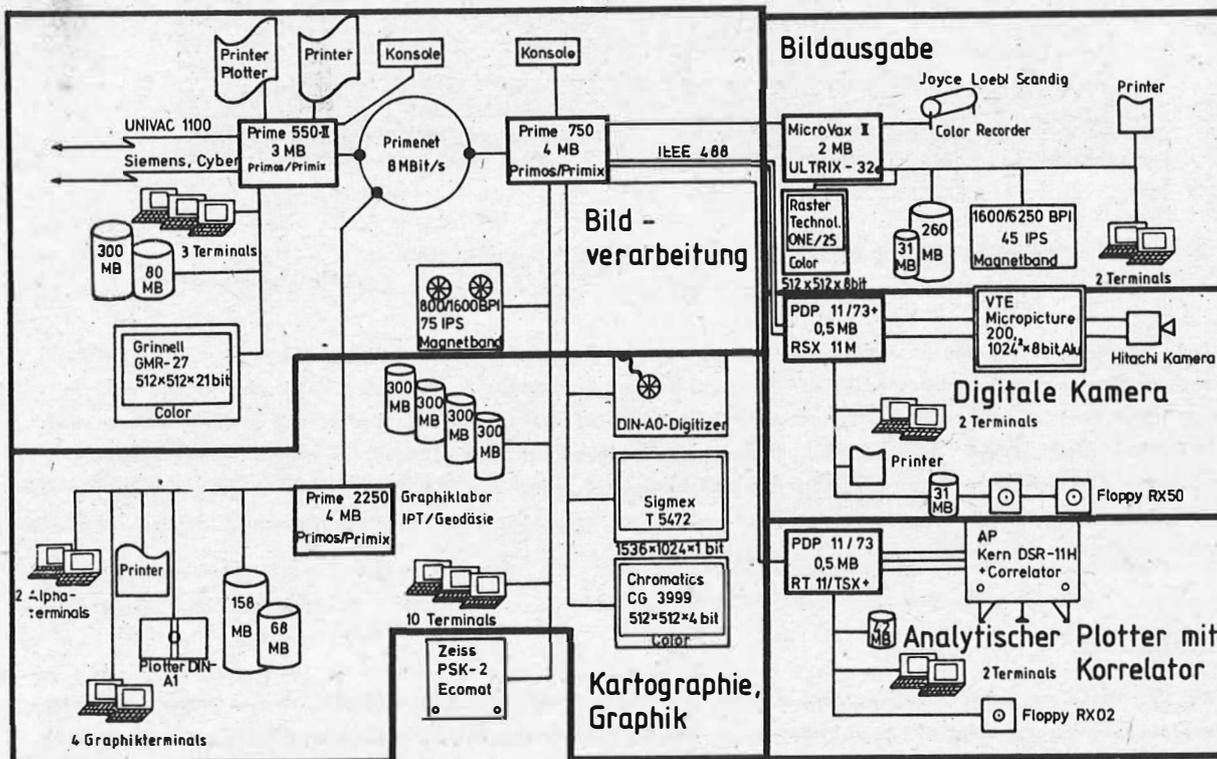


Abb. 4: Bildverarbeitungs-labor des Instituts für Photogrammetrie und Topographie der Universität Karlsruhe (Stand 1986)

### 2.3. Bedarf

Auf der Basis von LANDSAT-MSS-Daten sind von der Forschung Verfahren zur rechnergestützten Landnutzungs-klassifizierung entwickelt worden. Jetzt gilt es, diese Verfahren in die Praxis einzuführen; auch das liegt teilweise noch mit in der Verantwortung der Forschung. Der Bedarf der Praxis ist dabei eine ganz wesentliche Voraussetzung und er ist offenbar erheblich. Das Hauptproblem ist indes die Zuordnung dieses Bedarfs (häufig in Verwaltungsvorschriften detailliert fixiert) zu den technischen Realisierungsmöglichkeiten, die von der Forschung bereitgehalten werden. Der Bedarf des statistischen Landesamtes in Stuttgart (Tabelle 2) zeigt deutlich, daß Fernerkundung vom Satelliten aus wesentliche Unterstützung bei der Lösung von Aufgaben dieser Behörde zu leisten vermag. Dabei ist das statistische Landesamt nur ein willkürliches Beispiel; die Aufgaben der Landesvermessungsämter oder der Umweltschutzämter zeigen ähnliche Verhältnisse.

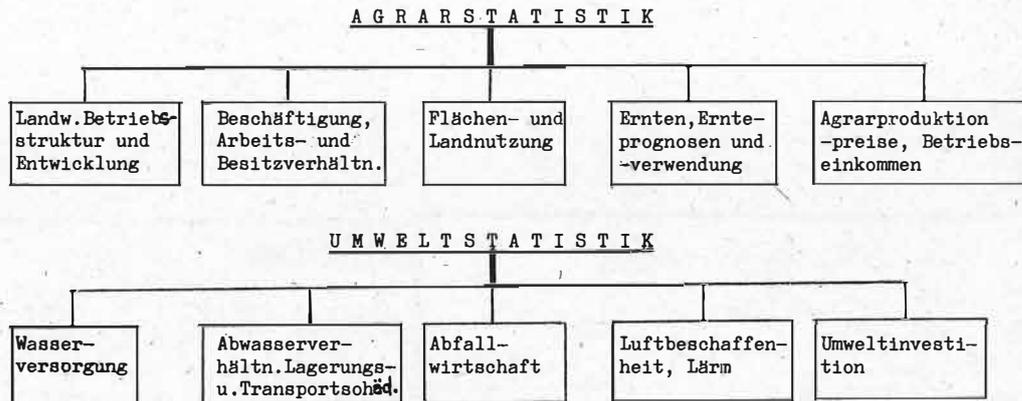


Tabelle 2: Schwerpunktbereiche des statistischen Landesamtes in Stuttgart

Beim Betrachten von Tabelle 2 wird aber auch deutlich, daß Satellitenaufnahmen mit anderen Daten verknüpft werden müssen, wenn sie für die Bedürfnisse der öffentlichen Verwaltung verwendet werden sollen. Der erste Schritt in diesem Sinne ist sicherlich, die Information auf die Verwaltungseinheit zu beziehen: Planungsbereich, Kreis, Stadtviertel, Naturschutzgebiet bis hin zur einheitlich genutzten Wirtschaftseinheit. Eine optimale Nutzung von Satellitendaten setzt jedoch die Kombination mit anderen Datentypen voraus. Diese Aufgabe führt damit auf die Einrichtung von geographischen Datenbanksystemen, in denen Satellitenbilddaten oder Landnutzungskartierungen einige Ebenen bilden.

### 3. Beispiele

Auf der Basis von LANDSAT-MSS-Aufnahmen wurde am IPT eine Landnutzungskartierung für das ganze Land Baden-Württemberg durchgeführt (Fläche: 35751 km<sup>2</sup>). Das Ergebnis zeigt Abb. 5 mit 10 verschiedenen Nutzungsklassen. Die Bilddaten - 5 LANDSAT-Szenen aus dem Jahre 1975 - sind digital verarbeitet worden: Geometrisch waren sie auf das Gauß-Krüger-System zu entzerren; inhaltlich erfolgte eine digitale multispektrale Klassifizierung nach dem "Maximum-Likelihood"-Verfahren mit hierarchischem Vorgehen zur Rechenzeitreduktion. Die Klassifizierung einer gesamten Szene (185 km x 185 km) erfordert bei 10 Klassen mit 3 Kanälen auf dem PRIME-550-Rechner etwa eine halbe Stunde. Das Ergebnis wird im Maßstab 1:250.000 als Schulwandkarte vom Westermann-Verlag vertrieben.

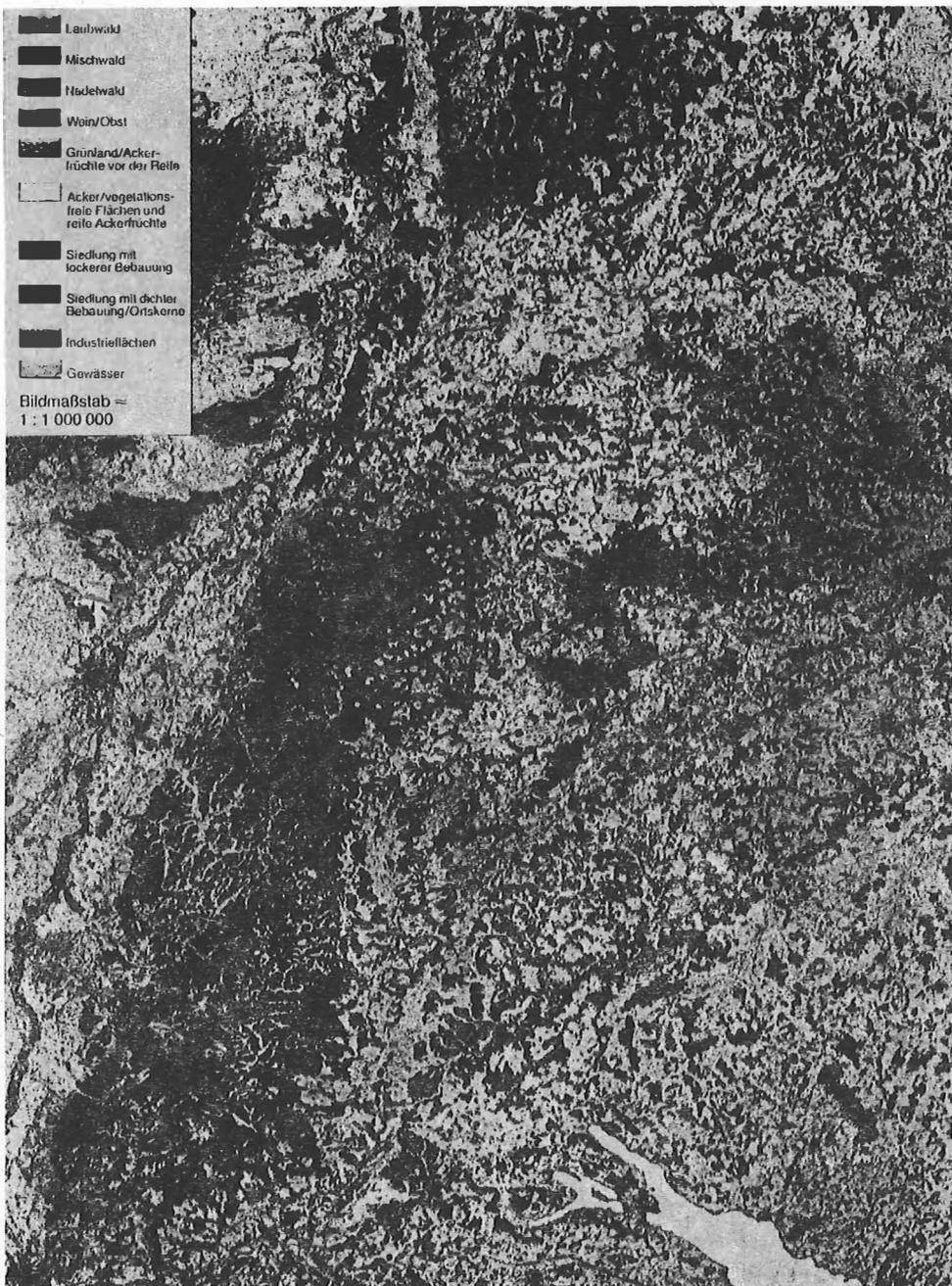


Abb. 5: Landnutzungskarte Baden-Württemberg (LANDSAT-MSS-Aufnahmen 1975) (vgl. Quiel 1984, Original in Farbe)

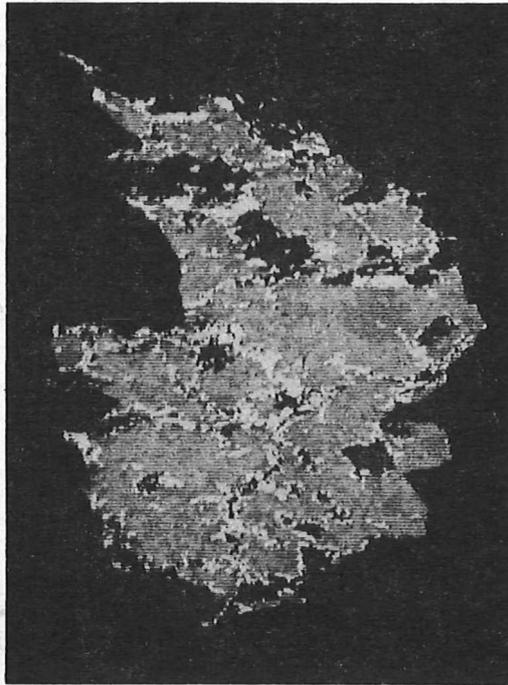


Abb. 6: Landnutzungsklassifizierung des Mittelbereichs Vaihingen bei Stuttgart

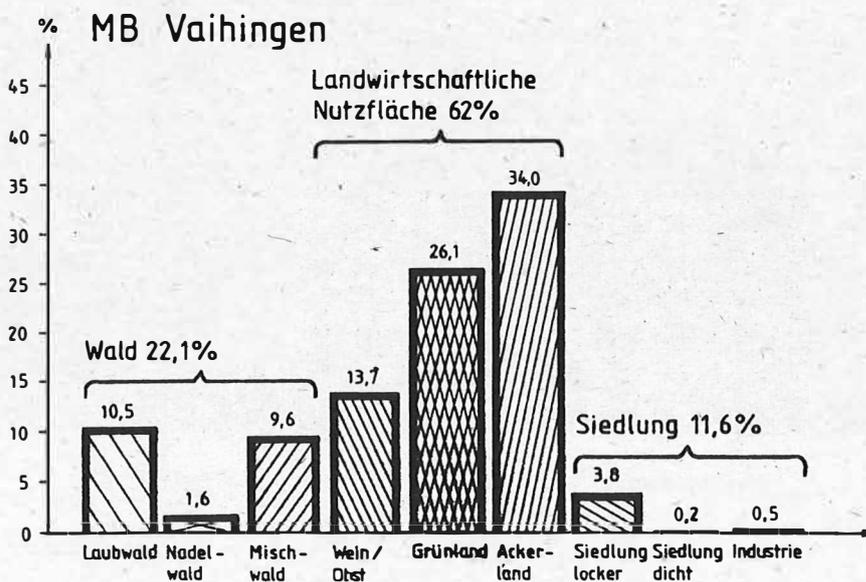


Abb. 7: Landnutzungsstatistik aus der Klassifizierung des Mittelbereichs Vaihingen bei Stuttgart. Zusammengefaßte Flächen sind die Angaben aus der amtlichen Statistik

Nach dem oben Gesagten sollten die Bilddaten mit anderen geographischen Daten verknüpft werden. Wenn die Klassifizierung mit Gebietsgrenzen überlagert wird, ist es sehr einfach, eine Landnutzungsstatistik für das so definierte Gebiet auszugeben. Die Abbildungen 6 und 7 zeigen dies am Beispiel des Mittelbereiches Vaihingen bei Stuttgart (Planungsbereich). Natürlich ist es jetzt naheliegend, die Klassifizierungsergebnisse mit der amtlichen Statistik zu vergleichen. Dies ist aber nicht direkt möglich, weil die Definition der Nutzungsarten für die beiden Systeme nicht gleichartig sein kann. Am einfachsten läßt sich ein Vergleich durchführen für die Klasse "Wald", und tatsächlich weichen amtliche Statistik und Satellitenbild-Klassifikation nur 0,4 % voneinander ab. Anders liegen die Verhältnisse für "Siedlung" und "Landwirtschaftliche Nutzfläche". Die Klassifizierung unterscheidet "versiegelte Flächen" (= "Siedlung") und "Flächen mit Vegetation, die kein Wald sind" (= "Landwirtschaftliche Nutzfläche"). Die amtliche Statistik bezieht bei "Siedlung" auch Hausgärten mit ein, was natürlich zu einer erheblich höheren Siedlungsfläche auf Kosten der landwirtschaftlichen Nutzfläche führt.

Je nach Sichtweise gibt es verschiedene Folgerungen aus dieser Situation. Man könnte schließen, die Fernerkundungsmethoden vermögen die Anforderungen der amtlichen Statistik nicht zu erfüllen. Man könnte aber ebenso argumentieren, die Ergebnisse der Fernerkundung seien der Realität näher als die amtliche Statistik, deren Nutzungsartenkatalog sich an dem traditionell Machbaren orientiert, also dem Nutzungsartenverzeichnis im Kataster, was beispielsweise für ökologische Fragestellungen unbrauchbar ist.

#### 4. Einige aktuelle Probleme

Schon das Beispiel "Vaihingen" hat grundsätzliche Fragen zur Landnutzungskartierung vom Weltraum aus aufgeworfen. Hier sollen nun noch einige weitere Probleme gezeigt werden, was aber nur im Ansatz geschehen kann.

##### 4.1. Datenmenge

Digitale Bildverarbeitung hat mit großen Datenmengen zu kämpfen, was sich nicht nur in langen Rechenzeiten ausdrückt, sondern auch zu Speicherproblemen führt.

9 - Spur - Band (2400 ')	:	1600 BPI	—	40 MB
		6250	—	130 MB
Optische Platte	:			2 x 1 GB

Pixelgröße ( $\mu\text{m}$ )	Luftbild MB	Bilder/Magnetband 6250 BPI	Bilder/Optische Platte
12,5	323	0,4	3,0
20	132	1,0	7,6
50	21	6,2	47,6

Tabelle 3: Datenmengen und Speicherkapazitäten

In Tabelle 3 sind Datenmengen für ein mit verschiedener Frequenz abgetastetes Luftbild 23 cm x 23 cm dargestellt. Es ergeben sich in Abhängigkeit von der Bildelement-("Pixel")-Größe 323 MB, 132 MB und 21 MB. In der Praxis kommt man übrigens häufig mit 21 MB aus, und eine Abtastung  $\leq 20 \mu\text{m}$  liefert keine neue Information (lediglich "Rauschen"). Die Datenmengen von Fernerkundungssensoren sind in Tabelle 1 mit aufgeführt; es zeigt sich, daß man mit den modernen TM- und SPOT-Systemen bei multispektraler Verarbeitung im Regelfall mit mehr als 100 MB Daten arbeiten muß. Bei Speicherung auf 9-Spur-Magnetband muß man schon auf eine



Schreibdichte von 6250 BPI ausweihen, will man eine ganze Szene auf einem Magnetband speichern. Es führt zu einem "Speicherplatzproblem" auch für die Magnetbänder selbst.

Ein Ausweg bietet die laserbeschriebene optische Platte (ROM), die 2 x 1 GB zu speichern vermag. Solche Systeme werden zur Zeit eingeführt und werden das Speicherplatzproblem deutlich entschärfen.

#### 4.2. Geometrische Entzerrung

Theoretisch ist die strenge geometrische Entzerrung von Satelliten-Abtaster-Aufnahmen bekannt. Nach photogrammetrischer Schreibweise gilt ("Kollinearitätsgleichungen")

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = A^T_{u, i, \Omega} \begin{pmatrix} A^T_{\varphi, \omega, \kappa} & A^T_{\theta} \\ 0 \\ 0 \\ -d_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ r \end{pmatrix} \quad (1)$$

Wobei nach Abb. 8 die linke Seite der Gleichung die geozentrischen Koordinaten enthält, während die Bildkoordinaten  $x'$ ,  $y'$  in (1) als Zeitparameter ( $\hat{=} x'$ ) und als Abtastwinkel  $\theta$  ( $= y'$ ) erscheinen.

Praktisch hat man bisher auf eine solche strenge geometrische Entzerrung von Satelliten-Abtaster-Aufnahmen verzichtet, weil Näherungslösungen (i.d.R. Polynome) ausreichen. Für eine präzise Entzerrung von TM und SPOT-Aufnahmen wird man jedoch strenge Verfahren benutzen müssen, weil für diese Systeme die Einführung eines digitalen Geländemodells notwendig wird, welches eine strenge geometrische Lösung erforderlich macht.

Sensor	Aufl. $\underline{P}$ (m)	Höhe $\underline{Z}_0$ (km)	Bild- breite $\underline{S}$ (km)	Öffnungs- winkel ( $^\circ$ )	Kritischer Höhenunterschied $z$ (m)
MSS	80	920	185	11,5	780
TM	30	705	185	15	230
SPOT	10	822	60	4,3	266

Tabelle 4: Kritischer Höhenunterschied  $z$ , der am Bildrand einen Lagefehler von 1 Pixel verursacht

Aus Tabelle 4 ergibt sich, daß für MSS ein Höhenunterschied von 780 m einen Lagefehler von 1 Pixel erzeugen kann (am Streifenrand), während dies bei TM bereits bei 230 m geschehen kann. Die Mitführung eines digitalen Geländemodells - und damit eine strenge geometrische Lösung - erscheint daher für die neueren Satellitensysteme notwendig, besonders im Hinblick auf die Kombination verschiedener Bilddaten.

#### 4.3. Das Mischpixelproblem

Wegen der endlichen Größe der Bildelemente entstehen an den Objektgrenzen durch die Aufnahme Bildelemente, welche Information aus mehr als einer Objektoberfläche integriert haben ("Mischpixel"). Dies führt bei der Klassifizierung zu Fehlern in Abhängigkeit von der (zufälligen) relativen Lage von Bildelement und Objektbegrenzung. Aus der Anzahl der Mischpixel läßt sich nach den Regeln der Fehlerlehre der mittlere Flächenfehler ermitteln, der aus diskreter Abtastung einer kontinuierlich begrenzten Fläche resultiert. Dieser Flächenfehler ist wiederum ein Maß für einen möglichen Klassifizierungsfehler. Man erhält für den

Flächenfehler:

$$\sigma_r^2 = 2k\sqrt{\pi F} \quad dF^2 \quad (2, \text{ aus BÄHR 1984})$$

k ist dabei ein Formparameter für die Fläche, der sich für regelmäßig begrenzte Flächen streng angeben läßt (Kreis :  $K = 1,00$ , Quadrat  $K = 1,13$ , Rechteck mit Seitenverhältnis 1:10 :  $K = 1,96$ ), in der Praxis jedoch abgeschätzt werden muß.

Für Landsat-MSS und TM sowie für SPOT werden in Abb. 9 die theoretischen relativen Flächenfehler gezeigt. Für den LANDSAT-MSS-Sensor ergibt sich danach bei ungünstigen Flächenformen ( $k=3$ ) für Flächen von 10 ha bereits ein Flächenfehler von 1 ha. Für kleinere Pixelgrößen nimmt dieser Flächenfehler drastisch ab.

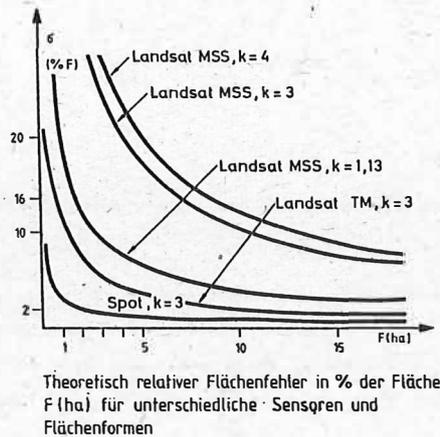


Abb. 9: Theoretisch relativer Flächenfehler in % der Fläche F (ha) für unterschiedliche Sensoren und Flächenformen

Theoretisch ist der negative Einfluß des Mischpixel-Effekts auf die Landnutzungsklassifizierung bei großen, regelmäßig begrenzten Feldern (z. B. USA, Sowjetunion, DDR) geringer als bei kleingekammerten Gewinnlagen (z. B. Realteilungsgebiete in Portugal oder der Bundesrepublik Deutschland).

## 5. Schluß

Mit modernen, hochauflösenden Aufnahmesystemen, mit Verfügbarkeit schneller, komplexer Bildverarbeitungsanlagen und umfangreicher Programmentwicklung ist es der Forschung gelungen, der Praxis heute anwendungsreife Methoden für Landnutzungskartierung von Satelliten anzubieten. Das schließt nicht aus, daß nicht noch weitere Probleme zu lösen wären, doch der steigende Bedarf der Praxis zeigt, daß das "Angebot" der technischen Möglichkeiten einerseits und die "Nachfrage" andererseits sich aufeinander zu bewegen. Es ist ein Beispiel für friedliche Nutzung der Weltraumtechnologie in einer Zeit, wo die Menschen auf der ganzen Erde angesichts vielfältig mißbrauchter Technologie mit großer Sorge in die Zukunft blicken. Die Mittel von Naturwissenschaft und Technik sind für den Menschen einzusetzen und nicht gegen ihn. Deutschland hat im Lichte der Geschichte in diesem Sinn eine ganz besondere Verantwortung, sich die Möglichkeiten der Fernerkundung "zum Guten dienen" zu lassen.

6. Literatur

- BÄHR, H.P. (Hrsg.) : Digitale Bildverarbeitung in Photogrammetrie und Fernerkundung, Karlsruhe 1985
- QTEL, F. : Landnutzungskarte für Baden-Württemberg aus LANDSAT-Daten. Geographische Rundschau 6/84 Westermann-Verlag, Braunschweig, 1984
- BAUMGART, J. : Möglichkeiten der Umsetzung der vorliegenden digitalen Satellitenbilddaten zur Anwendung im Landschaftsrahmenplan und auf der regionalen Planungsebene. Untersuchungsbericht für Landesanstalt für Umweltschutz Karlsruhe, 1986
- BÄHR, H.P. : Abschätzung einiger geometrischer Fehlerkomponenten bei der multispektralen Klassifizierung. Bildmessung und Luftbildwesen, 1/1984

Die Grundlagenkarte Landwirtschaft 1:10 000, 1:25 000 und 1:50 000 – eine neue Kartierungsbasis für Fernerkundungsinformationen in der Pflanzenproduktion der DDR

J. BEHRENS

Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR

Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit

Bereich Bodenkunde u. Fernerkundung

Zusammenfassung

Die Grundlagenkarte Landwirtschaft (GKL) kann ab 1987 jährlich für ca. 250 Pflanzenproduktionsbetriebe in den Maßstäben 1:10 000, 1:25 000 und 1:50 000 hergestellt werden. Die inhaltlich differenziert gestalteten GKL-Ausgaben sind multivalent als Demonstrations-, Informations-, Arbeits- und Dokumentationsmittel nutzbar.

Die zielgerichtete Anwendung dieser langfristig verfügbaren Karten führt zur Erhöhung der Qualität und Effektivität der Leitungs- und Planungsprozesse in der Pflanzenproduktion, wobei künftig der Wiedergabe von Themen unter Nutzung von Fernerkundungsdaten eine größere Bedeutung zukommt.

Summary

From 1987 on it will be possible to provide the new "Agricultural Basic Map (GKL)" of the GDR in the 1:10 000, 1:25 000, and 1:50 000 scales every year for about 250 plant production enterprises (co-operatives; state farms, and others). The several GKL are applicable for very different purposes: as teaching aids, informational means, working maps, and documentation bases.

The systematic application of those long-termed maps brings about an increase of quality and effectivity of management and planning processes in plant production. In the next years the mapping of thematic facts using remote sensing data will gain increasing importance.

Резюме

С 1987 г. примерно для 250 растениеводческих хозяйств в ГДР будет изготавливаться "Сельскохозяйственная основная карта (GKL)" в масштабах 1:10 000, 1:25 000 и 1:50 000. Различные по содержанию издания карт позволят использовать их для многих целей: как наглядные пособия для обучения, как информационные средства, для полевых работ и документации данных.

Целенаправленное применение таких карт ведет к повышению эффективности и качества руководства и планирования в растениеводческих хозяйствах. Большое значение при издании таких карт придается использованию данных дистанционного зондирования.

## 1. Volkswirtschaftliche Bedeutung

Die weitere Erhöhung der Effektivität der Leitung und Planung in der Landwirtschaft erfordert die Anwendung qualitativ neuer Organisationsmittel mit schnell erfaßbaren, zuverlässigen Informationen über das Territorium der Pflanzenproduktionsbetriebe [CLAUSS, 1982]. Die geeignetste Form der Informationsspeicherung und -bereitstellung dieser territorial differenzierten Sachverhalte ist die kartographische Darstellung als Modell der objektiven Realität.

Gegenwärtig fehlen - von Ausnahmen abgesehen - in der Landwirtschaft der DDR aktuelle, geometrisch exakte, einheitlich gestaltete und aussagekräftige Betriebskarten als Arbeits-, Dokumentations-, Demonstrations- und Informationsmittel über räumliche Strukturen und Prozesse. Vielerorts in Selbsthilfe der Betriebe oder gemeinsam mit dem WTZ, dem Liegenschaftsdienst, der Meliorationsgenossenschaft oder anderen Einrichtungen hergestellte Schlagübersichtskarten bestätigen diesen Bedarf, können aber verständlicherweise qualitativ den Ansprüchen einer modernen landwirtschaftlichen Produktion künftig nicht mehr genügen [BEHRENS/ROUBITSCHKE/SCHIRM, 1986]. Die umfassende, zentral geleitete Befriedigung dieses dringenden Erfordernisses in den nächsten Jahren war das Ziel mehrjähriger Forschungsarbeiten in sozialistischer Gemeinschaftsarbeit [BEHRENS, 1983], insbesondere mit der MLU Halle-Wittenberg. Gegenwärtig wird die allgemeine Überleitung dieser inhaltlich und graphisch einheitlich gestalteten "Grundlagenkarte Landwirtschaft (GKL)" - beginnend im Jahre 1987 - vorbereitet.

## 2. Karteninhalt und Nutzungsmöglichkeiten der GKL-Ausgaben

### 2.1. Karteninhalt

Die GKL basiert auf der Ergänzung des vollständigen Inhalts der Topographischen Karte 1 : 10 000 (AV) durch die wichtigsten landwirtschaftlichen Übersichtsinformationen (Schlaggrenzen und -flächengrößen, Nutzungs- und Kulturarten, Berechnungsanlagen, Wirtschaftsflugplätze, Lagerflächen und Schlagauffahrten) aus der Bodennutzungsdokumentation des Liegenschaftsdienstes, Luftbildern, Meliorationsunterlagen sowie betrieblichen Angaben.

Von dieser komplexen Karte 1 : 10 000, dem "Autorenoriginal" der GKL, werden die benötigten Ausgaben in den Maßstäben 1 : 10 000, 1 : 25 000 und 1 : 50 000 abgeleitet. Für alle GKL-Ausgaben 1 : 10 000 bildet die Topographische Karte 1 : 10 000 (AV), für die übrigen Ausgaben die Topographische Karte 1 : 25 000 (AV) die Basis. Das GKL-Sortiment gliedert sich in

- 5- bzw. 4-farbige Offsetdrucke mit dem vollständigen Inhalt der topographischen Karten 1 : 10 000 bzw. 1 : 25 000 (AV) sowie den Informationen zur landwirtschaftlichen Territorialstruktur (im Sinne von "Basiskarten") und
- 3- bis 1-farbige Offset- oder Transparentdrucke mit vereinfachtem Karteninhalt, die genügend Raum und Orientierungselemente für weitere thematische Eintragungen bieten (im Sinne von "Arbeitskarten").

## 2.2. Nutzungsmöglichkeiten

Die nach Kartenmaßstab und -inhalt differenziert gestalteten Ausgaben der GKL sind für eine vielfältige Anwendung im Pflanzenproduktionsbetrieb, in seiner Kooperation sowie in Agrochemischen Zentren und Meliorationsgenossenschaften vorgesehen. Sie können darüber hinaus von weiteren Landwirtschaftsbetrieben, örtlichen Staatsorganen und wissenschaftlichen Einrichtungen genutzt werden, wobei der Verwendung von Fernerkundungsaufzeichnungen künftig eine größere Aufmerksamkeit geschenkt werden muß [BEHRENS, 1984].

Hauptanwendungsgebiete der "Basiskarten" sind die Übersicht über die Territorialstruktur des Betriebes sowie die Dokumentation langfristig gültiger Informationen, Projekte und Maßnahmen. Die "Arbeitskarten" dienen vorrangig der Dokumentation jährlich variierender bzw. saisonbedingter Informationen, z. B. bei der Jahres- und Kampagneplanung, sowie als schnell überschaubare Entscheidungshilfe bei operativen Arbeiten, ferner als Basis für die Anfertigung von Duplikaten thematischer Karten und Pläne für betriebliche Leitungskader und Spezialisten.

Die GKL 1 : 10 000 wird seitens der LPG und VEG (P) als wichtigste kartographische Grundlage für bodenfruchtbarkeitsbezogene Dokumentationen angesehen. Sie ist für alle Aufgabenstellungen im Pflanzenproduktionsbetrieb sowie bei den Kooperations- und Vertragspartnern nutzbar, die die lagegetreue Darstellung der inneren Schlagdifferenzierung erfordern. Von den vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten [BEHRENS, 1986] seien an dieser Stelle die unter Verwendung von Luftbildern hervorgehoben:

- Wiedergabe von Parametern der schlagbezogenen Standortkennzeichnung, wie z. B. Bodenheterogenität, vernässungs- sowie erosionsgefährdete Areale [WEISE/SCHULZ/THAMM/STIEHL, 1986];
- Kartierung von sogen. "Defektarealen", wie Naßstellen, Erosionserscheinungen, Bodenverdichtungen, humusverarmte Sande u.a.m.;
- lage- und größenmäßiger Schadensflächennachweis für Versicherungsleistungen sowie Strecken- und Flächenmessungen, z. B. bei fruchtfolgebedingten Schlagunterteilungen;
- Lage und Funktionsfähigkeit von Meliorationsanlagen [HERGT, 1982].

Von besonderer Bedeutung ist die uneingeschränkte Möglichkeit der schlagweisen Nutzung der GKL 1 : 10 000 als "Schlagskizzenkartensatz", d. h. als topographische und thematische detaillierte Geländeübersichten jedes Schlages in der EDV-gerechten Schlagkartei der Pflanzenproduktionsbetriebe. Durch das in der GKL enthaltene Orientierungsgitter ist die lagegetreue Umsetzung des Karteninhaltes auf den Bürocomputer-Monitor entsprechend der Speicherkapazität relativ unproblematisch.

Die GKL 1 : 25 000 kann für alle Aufgabenstellungen genutzt werden, die Übersichtscharakter tragen, zugleich jedoch die wesentlichsten Schlagelemente berücksichtigen müssen. Unter Luftbildverwendung betrifft dies vorrangig:

- die Präzisierung bei der Auswertung der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK);
- die Planung des Beregnungseinsatzes;
- die Ableitung gezielter meliorativer, agrochemischer oder Bodenbearbeitungsmaßnahmen;
- die Kontrolle durchgeführter meliorativer oder Nutzungsveränderungen.

Weitere Anwendungsmöglichkeiten der GKL 1 : 25 000 werden gesehen in der Planung und Durchführung von landwirtschaftlichen Inspektionsflügen für operative Leitungsentscheidungen [REINHOLD, 1985] sowie künftig - bei ausreichender Bodenauflösung - als Kartierungsbasis für die Auswertung von Satellitenbilddaten, für die sich bereits gegenwärtig die GKL 1 : 50 000 anbietet.

### 3. Herstellung der GKL

Die Bearbeitung und kartographische Herausgabe der GKL erfolgt in den Betrieben des VEB Kombinat Geodäsie und Kartographie i.d.R. unmittelbar im Anschluß an die Laufendhaltung der betreffenden Kartenblätter der Topographischen Karten (AV), die im Fünfjahresturnus realisiert werden kann. Damit erhalten die GKL-Ausgaben den jeweils aktuellen topographischen Karteninhalt in Verbindung mit den thematischen Grundlageninformationen zur Schlag- und Nutzungsstruktur der Pflanzenproduktionsbetriebe.

Entsprechend der territorialen Abfolge der turnusmäßigen Bearbeitungsgebiete können ab 1987 jährlich GKL für ca. 250 Betriebsterritorien bearbeitet und bereitgestellt werden. Zur baldmöglichen und territorial umfassenden Verfügbarkeit in der Praxis besteht die Möglichkeit für alle Pflanzenproduktionsbetriebe, die bis Ende 1988 noch nicht mit GKL auf der Basis des Aktualisierungsturnus der staatlichen topographischen Karten versorgt werden können, ein GKL-Sortiment im Maßstab 1 : 10 000 zu erhalten.

### 4. Nutzen

Die GKL mit ihren verschiedenen Ausgabevarianten ist ein hochwertiges neues Erzeugnis mit Gebrauchseigenschaften von meist langfristiger Wirksamkeit. Der Nutzen, der aus der thematischen Anwendung dieser Karten erzielt werden kann, schlägt sich indirekt in Kostensenkungen und Arbeitszeiteinsparung, letztendlich auch in Ertragssteigerungen und damit in einer höheren Effektivität und Qualität der Leitungs- und Planungsprozesse nieder, zu deren optimaler Erfüllung qualitativ hochwertiges Kartenmaterial benötigt wird. Dabei stehen Mannigfaltigkeit und Umfang der Kartennutzung im Betrieb in direkter Beziehung zum zu erzielenden Gewinn.

Folgende Vorteile der neuen Karten führen bei ihrer Auswertung in Verbindung mit weiteren betriebsinternen Informationen zu der eingangs genannten höheren Qualität und Effektivität der Leitungs- und Planungsprozesse in der Pflanzenproduktion:

- Aktualität des topographischen und thematischen Karteninhaltes;
- geometrische Genauigkeit als Voraussetzung zur Ermittlung exakter Längen, Flächen und Winkel;
- die wirklichkeitsgetreue Wiedergabe der gegenseitigen Lagebeziehungen als Gratisfaktor;
- mit der Bodennutzungsdokumentation des Liegenschaftsdienstes abgestimmter Nutzungs- und Kulturartennachweis;
- Anschaulichkeit durch einheitliche Gestaltung der Inhaltselemente sowie eine abgestimmte Maßstabsfolge;
- hohe inhaltliche Aussagefähigkeit und Detailreichtum.

Die kartographische Inhaltswiedergabe ermöglicht maßstabsadäquat ausreichende Lokalisierungsmöglichkeiten bei der Eintragung weiterer thematischer Sachverhalte für spezifische Auswertezwecke.

Damit kann die GKL künftig umfassend im System der Steuerung der Bodenfruchtbarkeit in der Praxis genutzt werden. Darüber hinaus ist sie einheitliches Kommunikations- und Arbeitsmittel für alle Kooperations- und Vertragspartner von Pflanzenproduktionsbetrieben sowie geometrisch exakte, flächendeckende Basis für die zentrale und dezentrale Datenspeicherung und die gezielte Wiedergabe von landwirtschaftlichen Informationen einschließlich Fernerkundungsdaten.

#### Literatur

- [1] BEHRENS, J.: Methode zur Herstellung der Grundlagenkarte Landwirtschaft 1 : 25 000. Vermessungstechnik 31 (1983) 8, S. 271-273.
- [2] BEHRENS, J.: Nutzung von Orthophotos in der Landwirtschaft. Fortschrittsberichte für die Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft, AdL/ILLID, Berlin 22 (1984) 12.
- [3] BEHRENS, J.: Die Grundlagenkarte Landwirtschaft - ein effektives Leitungsinstrument für die Boden- und Bestandsführung. Feldwirtschaft 27 (1986) 9.
- [4] BEHRENS, J.; ROUBITSCHKEK, W.; SCHIRM, W.: Zur Herstellung der Grundlagenkarte Landwirtschaft auf der Basis topographischer Karten (AV). Vermessungstechnik 34 (1986) 4, S. 119-122.
- [5] CLAUSS, C.: Hinweise zum Einsatz thematischer Karten in Pflanzenproduktionsbetrieben, Kooperation 16 (1982) 2, S. 77-78.
- [6] HERGT, K.: Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung zur Standortuntersuchung für Hydromeliorationen in der DDR. Vermessungstechnik 30 (1982) 12, S. 410-412.
- [7] REINHOLD, A.: Luftbild und aerovisuelle Zustandserfassung zur Gewinnung objektiver Informationen über landwirtschaftliche Nutzflächen. Technisch-ökonomische Information der zivilen Luftfahrt 22 (1986) 1, S. 13-14.
- [8] WEISE, K.; SCHULZ, R.; THAMM, B.; STIEHL, M.: Schlagbezogene Standortkennzeichnung mit Hilfe von Luftaufnahmen - Beitrag zur effektiven Bodennutzung. Feldwirtschaft 27 (1986) 1, S. 31-34.

1) DONNER, R., HARNISCH, G. 2)

- 1) Technische Universität Dresden  
Sektion Geodäsie u. Kartographie
- 2) Akademie der Wissenschaften der DDR  
Zentralinstitut für Physik der Erde

### Zusammenfassung

Vielfach ist es sinnvoll, Einzelbilder zu einem Mosaik zusammzusetzen. Wenn diese bereits digital vorliegen, bietet sich eine digitale Montage der gegebenenfalls bereits digital entzerrten Bilder an. Weiterhin ist eine Anpassung der Bildhelligkeiten der Teilbilder erforderlich, um ein homogenes Ergebnisbild zu erhalten. Abschließend werden Hinweise für die praktische Umsetzung gegeben.

### Summary

The broad regional coverage of an individual image can be extended by combining images into a mosaic. Adjacent images are geometrically adjusted to each other by recognizing ground control points (not only in the regions of overlapping). Besides locating the needed images, the major problem is matching the density and contrast ratio of the images to produce a uniform mosaic.

### Резюме

Для того, чтобы использовать преимущество космической съёмки Земли – охват съёмкой обширных областей – необходимо объединить отдельные снимки в один общий мозаичный снимок. Если информация снимков представлена числовым кодом, ее можно обработать цифровыми методами. Основным вопросом этой статьи является геометрическая проблема мозаичного снимка. На одной из схем показано геометрическое трансформирование и составление цифровых снимков. При этом видно, что для монтажа целесообразно применять способ логического суммирования. Если при составлении мозаичного снимка наблюдается топографическая связь данных, то наряду с трансформированием мозаичного снимка предоставляется возможность независимого трансформирования отдельных снимков на карту с последующим составлением мозаичного снимка. При этом наблюдаемое несоответствие между отдельными снимками соответствует сумме остаточных искажений по отношению к карте. Наряду с геометрическими проблемами при создании мозаичного снимка может появиться проблема разности в яркости отдельных снимков. В заключение на основе теоретических и практических исследований даются практические указания по составлению мозаичного снимка на примере двух FRAGMENT –снимков.

### 1. Einleitung

Große Bedeutung kommt der Informationsgewinnung mit Mitteln der Fernerkundung bei der Herstellung verschiedener thematischer Karten zu. Unabhängig vom Aufnahmeverfahren bleibt die räumliche Zuordnung des Inhaltes für den Wert der Information mitentscheidend.

Um den Vorteil der Fernerkundung, nämlich die Erfassung weiträumiger Phänomene, voll nutzen zu können, ist es vielfach erforderlich, die als Einzelbild aufgenommenen Ausschnitte zu einem Mosaik zusammenzusetzen. Wenn die geometrische und radiometrische Bildinformation numerisch codiert vorliegt, kann die Mosaikbildung mit Mitteln der digitalen Bildverarbeitung vorgenommen werden.

Die bei einer digitalen Mosaikbildung auftretenden Probleme waren Gegenstand einer Diplomarbeit an der Technischen Universität Dresden, die durch das Zentralinstitut für Physik der Erde betreut wurde.

## 2. Geometrische Transformation der Bilddaten

Vor dem Zusammensetzen müssen die Teilbilder in ein Bezugskordinatensystem, zweckmäßig ist das Koordinatensystem eines zentralen Bildes, transformiert werden. Dabei ergeben sich die Koordinaten jedes Bildpunktes aus seiner Lage innerhalb einer Zeile und innerhalb einer Spalte. Nach der Transformation stimmen die Richtungen der Koordinatenachsen (also der Zeilen- und Spaltenrichtungen) und die Größe der einem Bildpunkt entsprechenden Fläche in allen Bildern überein. Um Informationsverluste zu vermeiden, sollte das Bild mit der höheren Auflösung als Bezug gewählt werden. Die für die Transformation notwendigen Parameter können aus Koordinaten von im Überlappungsgebiet liegenden relativen und absoluten Paßpunkten oder aus den Daten der äußeren Orientierung abgeleitet werden. Als Bezugsgrundlage ist ein metrisches Luftbild besser geeignet als eine durch den Menschen stark abstrahierte Abbildung, wie es z.B. topographische Karten sind. Dadurch wird die Identifizierung der Paßpunkte leichter und die Anwendung digitaler Korrelationsverfahren zur Paßpunktbestimmung sinnvoll.

Wenn mit der Mosaikbildung eine topographische Anbindung der Daten verbunden wird, besteht neben der Transformation des bereits gebildeten Mosaiks die Möglichkeit, die Bilder unabhängig voneinander in die Karte zu transformieren und anschließend zu einem Mosaik zusammenzusetzen. Dabei ist zu beachten, daß die am rechteckigen Ergebnisbild (Bildseiten liegen parallel zu den Achsen des Bezugssystems) fehlenden Flächen, wie sie beispielsweise nach einer Drehung entstehen können, mit Bildelementen eines vorzuzugenden Digitalwertes aufgefüllt werden.

## 3. Geometrische Probleme beim Zusammenfügen der Einzelbilder

Das Zusammensetzen von Ausschnitten ist nur in Zeilen- oder Spaltenrichtung möglich; d.h. schräg zu den Bildseiten (bzw. Achsen des Koordinatensystems) verlaufende "Nähte" zwischen zwei Ausschnitten können nur durch eine treppenartige Linie genähert werden, was allerdings aufwendig ist. Daraus wird ein Problem der getrennten Transformation der Einzelbilder in die Karte und anschließender Mosaikbildung deutlich: Bildvorlagen mit nur geringer Überdeckung können nach einer Drehung nur durch logische Funktionen lückenlos zusammengesetzt werden; Dazu werden die Teilbilder zuerst durch Zufügen von Bildelementen mit Digitalwert 0 auf die kleinste gemeinsame Rechteckfläche erweitert. Anschließend werden kanalweise die Grauwerte beider Vorlagen addiert. Bei Vorlagen mit breitem Überlappungsgebiet kann, wie gesagt, die schräge Nahtlinie durch stufenweises Aneinanderfügen ersetzt werden. Die dabei in Zeilen- und Spaltenrichtung verlaufende Schnittlinie liegt innerhalb der Überlappungsgebiete.

#### 4. Probleme der Helligkeitsanpassung

Beim mechanisch - optischen Abtastvorgang (Scanning) wird sequentiell die Strahlungsenergie von dem Objektpunkt auf die bildaufzeichnenden Detektoren übertragen. Die Detektoren wandeln die elektromagnetische Strahlung in ein meßbares elektronisches Signal um, dem ein Wert von 0 bis 255 zugeordnet wird. Die Bildhelligkeit von Scanneraufzeichnungen kann zwischen den einzelnen Detektoren eines Spektralbandes und/oder zwischen den zu verschiedenen Zeitpunkten aufgezeichneten Daten unterschiedlich sein. Dafür können die Zeitabhängigkeit der Empfindlichkeit der Detektoren und atmosphärische Effekte (Wetter, Aerosolgehalt) als Ursachen angegeben werden.

Helligkeitsunterschiede zwischen zu verschiedenen Zeitpunkten aufgenommenen Bildern können natürlich auch durch Veränderungen der Objekte selbst (andere Wachstumsphase) hervorgerufen werden. Im praktischen Beispiel (Kapitel 5) unterscheiden sich die beiden Fragmentenszenen durch das Aufblühen der Rapsfelder innerhalb der 7 Tage zwischen beiden Aufnahmen. Ihr Anteil <sup>liegt</sup> bei etwa 5% der Gesamtfläche der Szenen.

Ein geeignetes Näherungsverfahren für die Anpassung der durch Sensorcharakteristika verursachten Helligkeitsunterschiede wird von SCHULZ /3/ angegeben. Aus der Forderung nach gleichen Summenhäufigkeiten der 256 Graustufen in den anzugleichenden Bilddaten leitet er eine Grauwert-Transformationscharakteristik ab. Nach seinen Angaben soll dieses Verfahren den Ansprüchen einer rechnergestützten Klassifizierung bezüglich Homogenität genügen. Die durch Objektänderungen verursachten Helligkeitsunterschiede können damit natürlich nicht sinnvoll beseitigt werden.

#### 5. Beispiel

Als praktisches Beispiel wurden Ausschnitte aus zwei FRAGMENT-Szenen vom 13. und 20.05.1981 zu einem Mosaik zusammengesetzt. Dabei ergaben sich Restverzerrungen gegenüber der Karte und zwischen den Bildern Klaffungen, die der Summe der Restverzerrungen entspricht (2 - 3 Pixel). Die einzeln in die Karte transformierten Bilder passen gegenüber der Bezugsgrundlage besser, weisen aber gegeneinander etwa um 0,5 Pixel größere Fehler auf, als das transformierte Bildmosaik.

Das Prinzip der Helligkeitsanpassung nach Summenhäufigkeiten wurde durch eine stückweise lineare Grauwertübertragungsfunktion ersetzt und die zwischen den Aufnahmezeitpunkten aufblühenden Rapsfelder nicht gesondert berücksichtigt. Das Ergebnis ist in Abb. 1 dargestellt. Die geometrische und radiometrische Anpassung genügt, um Objekte über die Nahtlinie hinaus visuell zu verfolgen.

#### 6. Hinweise zur Anwendung

Aus den theoretischen und praktischen Untersuchungen kann für die digitale Mosaikbildung kosmischer Scannerdaten folgende Vorgehensweise empfohlen werden: Berechnung der Transformationsparameter der linearen Polynome aus etwa 20 - 30 über die Szene verteilten Paßpunkten. Anschließend geometrische Transformation der einzelnen Scannerbilder, evt. ausschnittsweise, in das Orientierungsgitter des 4. Meridianstreifens der topographischen Karte (AV), wobei die pixeläquivalente Fläche auf den nächsten runden Wert verkleinert wird. Durch die begrenzte Speicherkapazität ist es sinnvoll, die einzeln transformierten Scannerszenen zu archivieren und erst bei Bedarf zu einem Mosaik zusammenzusetzen. Wenn in den bildbeschreibenden Zusatzinformationen neben den Koordinaten eines Eckpunktes auch Parameter für die Helligkeitsanpassung enthalten sind, können schnell mehrere Bilder zu einem Mosaik zusammengesetzt und gegenüber der Bezugsgrundlage orientiert werden.

Literatur

- /1/ DONNER, R.; Untersuchungen zur Herstellung von Bildmosaiks mit digitalen Methoden. Diplomarbeit, TU Dresden, Sektion Geodäsie und Kartographie, 1985
- /2/ SCHUHR, W.; Geometrische Verarbeitung multispektraler Daten von Zeilenabtastern. Wiss. Arbeit der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover Nr. 115
- /3/ SCHULZ, B.-S.; Nichtlinearer Ausgleich von Multi-Sensor-Abtaster-Daten. Na.Ka.Verm., Frankfurt a. M. Reihe I, Heft 84. S. 43-32

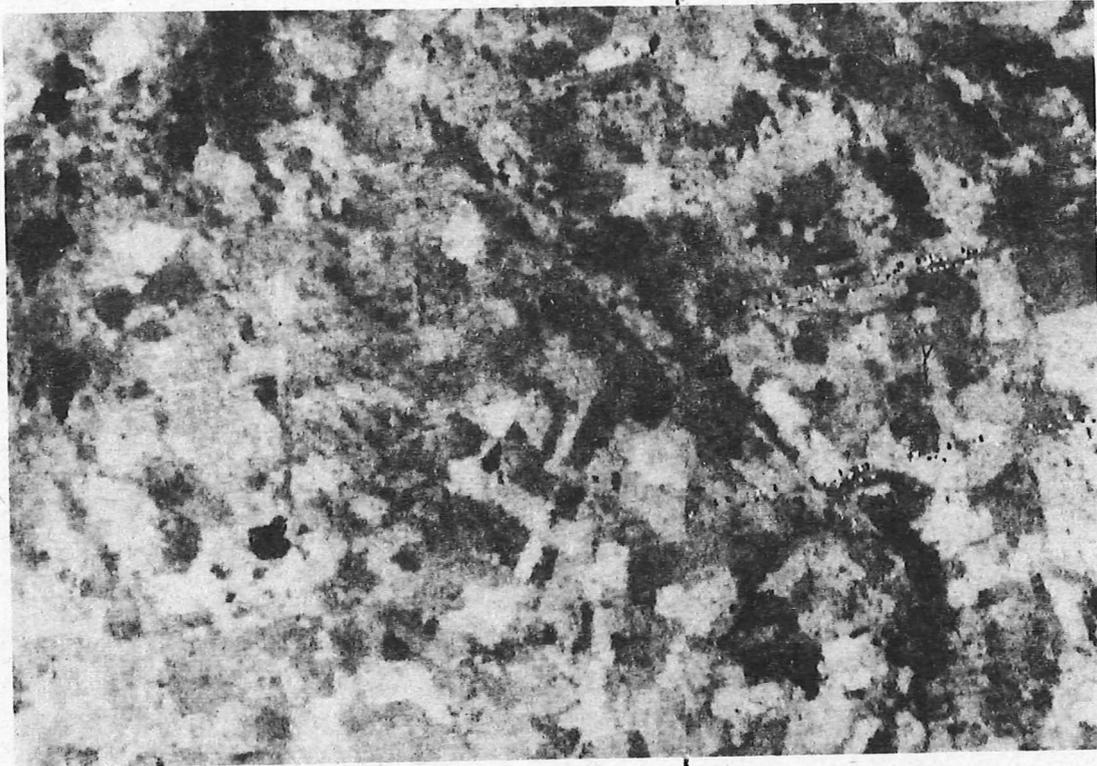


Abbildung 1: Bildmosaik

Nahtlinie

## Zur Integration von kartographischen und aerokosmischen Forschungsmethoden

A. WOLODTSCHENKO

Technische Universität Dresden  
Sektion Geodäsie und Kartographie

### Zusammenfassung

Ein interdisziplinäres Arbeits- und Untersuchungsfeld für viele Geowissenschaftler ist die Ausarbeitung theoretischer und praktischer Fragen des Umweltschutzes und der Naturressourcen.

Die Komplexität bei der Untersuchung und Analyse von anthropogenen Änderungen der Natur sowie der Dynamik und Intensität der Entwicklung einiger natürlicher Erscheinungen und Prozesse wird durch die kombinierte Anwendung kartographischer und aerokosmischer Methoden charakterisiert und verstärkt.

In der Regel werden die inhaltlichen Aspekte diesbezüglicher Untersuchungen von Geographen, Geologen, Hydrologen, Ökologen usw. erarbeitet und analysiert. Für viele Geowissenschaften bedeutet das, daß die Lösung theoretischer und praxisrelevanter Aufgaben auf interdisziplinärer Basis nutzbar und fruchtbar ist.

Die Finalform der Integration von kartographischen und aerokosmischen Forschungsmethoden, repräsentiert als eine einheitliche wissenschaftliche Disziplin oder durch gemeinsame und überschneidende Untersuchungsräume, wird letztlich von der Praxis entschieden.

### Summary

The elaboration of theoretical and practical aspects of environment protection and natural resources is an interdisciplinary field of work and investigation.

The complexity in the investigation and analysis of anthropogenic changes of nature as well as of the dynamics and intensity of the development of some natural phenomena and processes is characterized and stressed by the combined application of cartographic and aerospace methods. As a rule, the aspects concerning the content of such investigations are elaborated and analyzed by geographers, geologists, hydrologists, ecologists etc. For a lot of geosciences this means that the solution of theoretical and practical problems on an interdisciplinary basis is usable and fruitful. The final form of the integration of cartographic and aerospace investigation methods, represented as a unitary scientific discipline or by common and overlapping investigation areas, will be decided in the end by practice.

## Резюме

Разработка теоретических и практических вопросов охраны окружающей среды и природных ресурсов имеет междисциплинарный характер для многих исследователей природы Земли. Комплексность исследований и анализа антропогенных изменений природы, а также динамики и интенсивности некоторых природных явлений и процессов характеризуется и усиливается на основе комбинированного применения картографического и аэрокосмического методов.

Как правило, содержательные аспекты таких исследований разрабатываются и анализируются географами, геологами, гидрологами, экологами и т.д. Для многих наук о Земле это означает, что решения теоретических и практических задач на междисциплинарной основе является полезным и плодотворным.

Конечная форма интеграции картографического и аэрокосмического методов исследования, выраженная в конкретную научную дисциплину или в совместную и перекрывающуюся область исследований, определится практикой.

### 1. Problemstellung

Die gegenwärtige Entwicklung vieler Wissenschaftsdisziplinen ist dadurch charakterisiert, daß neue wissenschaftliche Erkenntnisse zunehmend das Resultat interdisziplinärer Zusammenarbeit sind.

Die Weiterentwicklung der Kartographie ist gekennzeichnet durch die Einführung von Automatisierungstechnik und die Fernerkundungsmethoden. Das erfordert nicht nur die Schaffung neuer kartographischer Erzeugnisse (einzelne Karten bzw. Photokarten sowie Kartenserien usw.) auf der Basis von Geofernerkundungsdaten (GFE-Daten), sondern auch die Weiterentwicklung der Methoden ihrer Nutzung, d.h. Einsatz unter anderem herkömmlicher kartometrischer und morphometrischer Verfahren bei der quantitativen Analyse der Daten der Fernerkundung.

Wie die Veröffentlichungen der letzten Jahren zeigen, erhalten Fragen der Untersuchung der Dynamik von natürlichen und anthropogenen Erscheinungen und Prozessen mit Hilfe von GFE-Daten eine besondere Aufmerksamkeit /VINOGRADOV 1981; DAVIS, S.M. u.a. 1983; GRIGOR'EV 1985; KNIŽNIKOV 1985/. Das erklärt sich nach KNIŽNIKOV (1985) aus zwei Gründen: erstens - die Probleme des Umweltschutzes sowie der geographischen Prognose bedürfen der besonderen Berücksichtigung der Dynamik und Entwicklung von geographischen Erscheinungen, Zweitens - für die Untersuchung und Analyse der Dynamik von Erscheinungen wird die entsprechende meßtechnische und Informationsbasis errichtet. Dabei wird betont, daß für die Lösungen obengenannter Aufgaben die dynamische aërokosmische Fernerkundung als ein neues Teil der aërokosmischen Fernerkundung dienen kann. Der Erhalt quantitativer Informationen über die Dynamik von natürlichen und anthropogenen Erscheinungen aus den aërokosmischen Materialien gestattet es, auch über die "dynamische Kartometrie und Morphometrie" /KUDRICKIJ, ŽOLONDZ' 1976; BERLJANT 1980/ zu sprechen. ŠIRJAEV (1984) geht davon aus, daß durch die Anwendung rechnergestützter Methoden der Analyse von Karten bzw. kartographischer Erzeugnisse die Kartometrie als ein Bestandteil der Kartographie ihre selbständige Bedeutung verloren hat. Im Rahmen der Ausarbeitung einer einheitlichen Theorie der Analyse der Darstellung, der allgemeinen Methodik und Technologie der Nutzung von Karten und Bildern (einschließlich obengenannter Problematik) wird von BERLJANT (1985) die kombinierte kartographisch-aërokosmische Methode als neue wissenschaftliche Disziplin beschrieben und "Geikonik" genannt (Abb. 1).

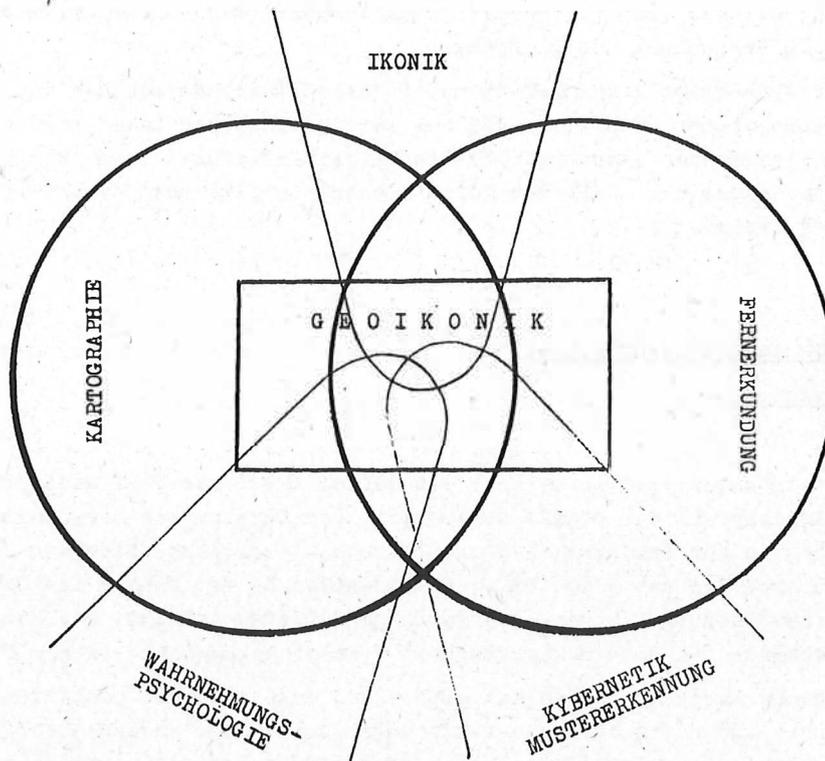


Abb. 1 "Geoikonik" nach BERLJANT (1986)

Die Bedeutung und Aktualität der kartographischen Forschungsmethode wird in der letzten Zeit wesentlich höher eingeschätzt, was auch damit verbunden ist, daß einige Verfahren der Analyse kartographischer Darstellungen, beispielsweise die obengenannten kartometrischen bzw. morphometrischen Verfahren, eine qualitativ neue Anwendung bei der rechnergestützten Verarbeitung und Auswertung von GFE-Daten besonders von multispektralen und multitemporalen Daten finden.

## 2. Multitemporale GFE-Daten

Die multitemporalen GFE-Daten sind eine der wichtigsten primären Quellen bei der Schaffung neuer kartographischer Erzeugnisse (für die operative und langfristige Nutzung) sowie für die Aktualisierung veralteter Karten bzw. Photokarten der entsprechenden Maßstäbe. Gleichzeitig fungieren diese GFE-Daten als Untersuchungsmittel.

Für die Untersuchung und Analyse der Dynamik von natürlichen und anthropogenen Erscheinungen und Prozessen haben die multitemporalen GFE-Daten eine große Bedeutung, da man diese Informationen schnell und effektiv gewinnen kann. Ein Weg dazu ist die Nutzung der Automatisierungstechnik, d.h. die rechnergestützte Verarbeitung aerokosmischer Daten sowie kartographischer Materialien / VINOGRADOV 1977, 1985; EL'MAN 1982; FEJGIN 1983/. Für die rechnergestützte Verarbeitung und Analyse benutzt man verschiedenartige multitemporale GFE-Daten und zwar:

- Scannerdaten
- photographische Darstellungen z.B. MSP-Daten
- graphische Vorlagen z.B. Dechiffrierungsschemata bzw. -skizzen .

Die analogen GFE-Daten (z.B. photographische und graphische Vorlagen) sind zu digitalisieren, d.h. mittels entsprechender Abtasttechnik (auf Scannerprinzip) ist eine analog-digitale Umwandlung durchzuführen.

An Hand von ausgewählten Interpretationsbeispielen (Sarykamysch-See und Kara-Bogas-Gol), die aus multitamorale kosmischen und aus kartographischen Daten abgeleitet wurden, werden einige Fragen der quantitativen (objektgeometrischen) Auswertung der Änderungen von Hydroressourcen mit der für sie charakteristischen Dynamik und deren Auswirkung aufgegriffen.

### 3. Ausgewählte Anwendungsbeispiele

#### 3.1. Sarykamysch-See

Als Interpretationsbeispiel wurde hier ein Gebiet des Turan-Tieflandes, die Sarykamysch-Senke (Mittelasiensteil der UdSSR), analysiert. Der Sarykamysch-See, welcher sich Ende der 60-er Jahre in der Sarykamysch-Senke bildete, vergrößerte sich von Jahr zu Jahr. 1977 umfaßt dieser See ca. 2 000 km<sup>2</sup>. Die Erweiterung der Fläche des Sarykamysch-Sees wird mit den Bewässerungsflächen des Amudarja-Gebietes erklärt. Die Hauptbedeutung des Sarykamysch-Sees für die Volkswirtschaft besteht gegenwärtig in der Fischwirtschaft.

Der sich bildende Sarykamysch-See hat auch einen wesentlichen, positiven Einfluß auf die klimatischen und hydrologischen Bedingungen der an ihn angrenzenden Territorien. Andererseits führt die Nutzung des Amudarjawassers für Irrigationsmaßnahmen auch zu negativen Erscheinungen, z.B. zur katastrophalen Absenkung des Aralsees und damit zu einer Labilisierung des ökologischen Gleichgewichts dieses Gebietes.

Aus dem Dechiffrierungsschema /SSSR iz kosmosa, 1982. Blatt 25/ wurden für unseren Fall drei Objektklassen (räumlich-zeitliche Schnitte) ausgewählt, die die konturbezogenen Objekte durch flächenbezogene (binäre) Objekte widerspiegeln:

1. Seespiegel von 1975
2. Überflutete Talflächen von 1978
3. Überflutete Flächen von 1980.

Diese räumlich-zeitlichen Schnitte von dynamischen Erscheinungen lassen sich durch schwarzweiße binäre Darstellungen (Mikrovorlagen) darstellen (Abb. 2).

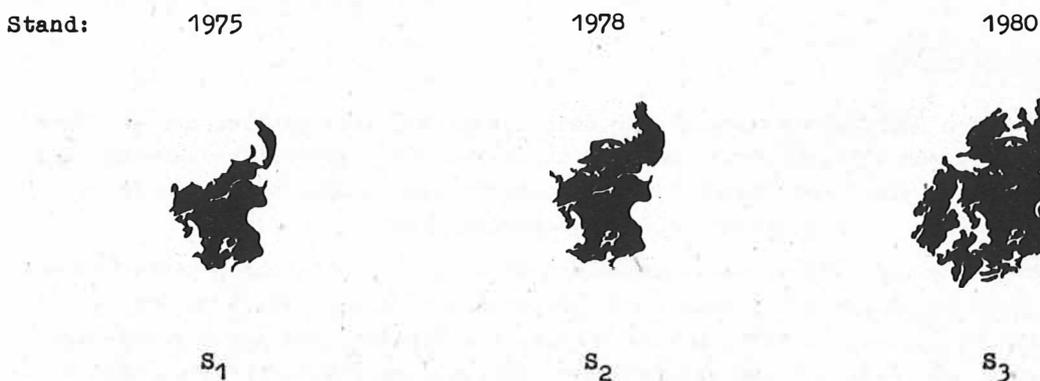


Abb. 2 Kartographische Mikrovorlagen (binäre Darstellungen) für die rechnergestützte Auswertung

Für die quantitative (objektgeometrische) Auswertung von dynamischen Erscheinungen gibt es nach KNIŽNIKOV (1985) zwei Prinziplösungen, d.h. die direkte und indirekte Gewinnung objektgeometrischer Parameter, z.B. der Fläche von analysierten Objekten. Als Lösung kann man die objektgeometrischen Änderungen (z.B. die Flächenänderungen) als Differenz ( $\Delta$ ) von zwei binären Darstellungen (Bildmatrizen) erhalten. Im Bezug zur Abb. 2 bedeutet es, daß die Differenz von zwei verschiedenen Flächen berechnet werden kann (indirekte Lösung) und zwar:

$$\Delta_1 = S_2 - S_1 ; \quad \Delta_2 = S_3 - S_2 ; \quad \Delta_3 = S_3 - S_1 ;$$

Im anderen Fall ist es möglich, die objektgeometrischen Änderungen direkt von einer "differenzierten" binären Darstellung zu bestimmen.

Die ausgewerteten bzw. ausgerechneten Flächen (in Pixelanzahl) aus drei multitemporalen Bildmatrizen (Stand: 1975, 1978 und 1980) gestatten es, einige dynamische Merkmale wie die Flächenvergrößerung des Sarykamysch-See zu erhalten. Da der Maßstab vom analysierten Dechiffrierungsschema nicht dargestellt ist, basiert die Interpretation der Dynamik analysierter Erscheinungen auf Prozentwerten. Hier bedeutet das, daß die Fläche des Seespiegels 1975 100% angenommen wird. Davon ausgehend, sind die Flächenvergrößerung für 1978 sowie 1980 in % errechnet. Die überfluteten Talflächen 1978 und 1980 betragen 132% und 261%.

### 3.2. Kara-Bogas-Gol

Als ein weiteres Interpretationsbeispiel wurde ein Gebiet östlich des Kaspischen Meeres, die Kara-Bogas-Gol, gewählt und analysiert. Für das herzustellende Dechiffrierungsschema (Abb. 3) dienten nicht nur die multitemporalen GFE-Daten vom Sommer 1970 und 1980, sondern auch kartographische Erzeugnisse (z.B. Atlas Mira, 1967) als Ausgangsmaterialien /GRIGOR'EV 1985/.

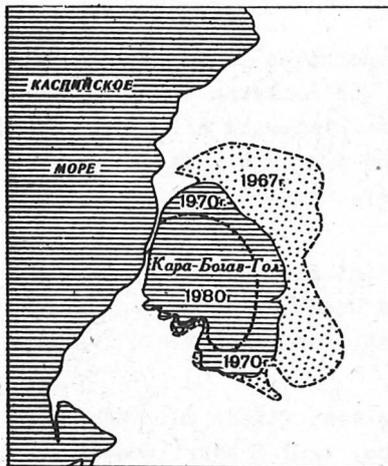


Abb. 3 Dechiffrierungsschema von multitemporalen Daten (Aus: GRIGOR'EV, 1985)

Das Dechiffrierungsschema zeigt deutlich die quantitativen Änderungen der Buchtfläche sowie der Buchtform. Die Uferlinie der Bucht (Stand: 1970) ist im Vergleich zur Uferlinie aus dem Atlas Mira (1967) im östlichen und nördlichen Teil wesentlich zurückgegangen. Entsprechend wurde die Fläche der Bucht verkleinert.

Vom kartographisch-gestalterischen Gesichtspunkt aus lassen sich die räumlich-zeitlichen Schnitte dieser dynamischen Erscheinungen durch schwarzweiße (binäre) Darstellungen manuell gestalten und darstellen (Abb. 4).

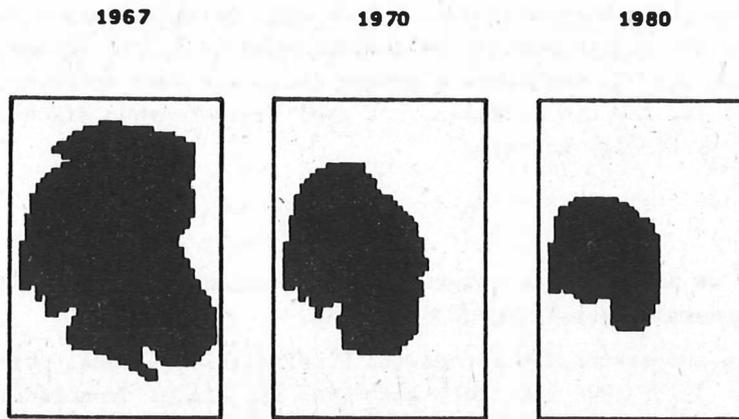


Abb. 4 Räumlich-zeitliche Schnitte der Kara-Bogas-Gol

Die Instabilität (in der Regel durch anthropogene Einflüsse) des Wasserspiegels des Kaspischen Meeres ist auch durch entsprechende Änderungen des Wasserspiegels der Kara-Bogas-Gol charakterisiert. Dabei beträgt für diese Bucht, die in der Sommerzeit als ein riesiger "Verdunsterkessel" funktioniert, der jährliche Wasserzufluß aus dem Kaspischen Meer 5 bis 10 Kubikkilometer.

Um diese Buchtwirkung zu unterbrechen und damit den Wasserstand des Kaspischen Meeres zu stabilisieren, war im März 1980 ein Damm gebaut worden. Seit dem Dammbau bis März 1982 ist die Fläche der Kara-Bogas-Gol mehr als um die Hälfte verkleinert worden und beträgt etwa 4 300 km<sup>2</sup> /NOVIKOV u.a. 1982/.

Durchgeführte terrestrische hydrologische Untersuchungen in den Jahren 1981-1982 haben gezeigt, daß die Abriegelung der Kara-Bogas-Gol zur Änderung der Ionenstruktur der Lake sowie zu seiner Trockenlegung und zur Kristallisierung aller Salze führte /LUČKOV, DRUMEVA 1985/. Dabei muß man berücksichtigen, daß die Kara-Bogas-Gol eine Lagerstätte ist, wo aus der übersättigten Lösung Natriumsulfat, Esponit, Bischofit, Glaubersalz sowie seltene Metalle gewonnen werden.

Vier Jahre nachdem die Bucht abgeriegelt wurde, ist sie zur Salzwüste geworden. Damit sind negative Folgen für die nähere und weitere Umgebung verbunden: Salzstürme, chemische "Verbrennung" landwirtschaftlicher Flächen, stärkere Fröste im Winter, negative Veränderung der Rohstoffe der Lagerstätten usw.

Um das ökologische Gleichgewicht wiederherzustellen, fließt seit September 1984 durch elf Rohre wieder Wasser des Kaspischen Meeres (ca. zwei Kubikkilometer im Jahr) in die Kara-Bogas-Gol. Nach der Meinung von Prof. BABAEV (Präsident der Turkmenischen AdW) ist diese Menge noch nicht ausreichend, um die ökologische Situation in diesem Gebiet befriedigend zu gestalten /Pravda, 1986/. Er schlug deshalb vor, eine Schleusenanlage zur Regulierung des Zuflusses zu installieren und die wissenschaftlichen Arbeiten über die Naturerscheinungen bzw. -prozesse zu intensivieren.

Mit den ökologischen Problemen dieses Gebietes (Änderung des ökologischen Gleichgewichts) sind die ökonomischen Probleme der Produktionsvereinigung "Karabogassulfat" eng verbunden. So, beispielsweise, ist für die Vereinigung geplant, bis 1990 ca.

900 Tsd. Tonnen Natriumsulfat pro Jahr zu produzieren. Unter Berücksichtigung der gegenwärtigen Herstellungstechnologie wird durch die chemische Änderung der Salzlake der Verbrauch der Elektroenergie auf ca. 54 Mill. Kilowattstunden sowie Wärmeenergie auf ca. 180 Tsd. Gigakalorien pro Jahr ansteigen. Dabei sind die Herstellungskosten für eine Tonne Natriumsulfat um 4 Rubel teurer geworden /Pravda, 1986/.

Die entstandene Situation führt zu zwingenden Überlegungen und Maßnahmen. Der Natur muß mehr Achtung entgegengebracht werden. Sie entschuldigt kein fehlerhaftes Verhalten bei der Nutzung ihrer Reichtümer und Ressourcen.

In den "Hauptrichtungen der wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung der UdSSR von 1986 bis 1990 und für den Zeitraum bis zum Jahr 2000", Abschnitt XI. Umweltschutz, rationelle Nutzung der natürlichen Ressourcen wird ausgeführt:

" Die Effektivität der Maßnahmen zum Schutz der Natur ist zu erhöhen ... . Der Schutz der Wasservorräte des Landes ist konsequent zu verbessern. Die wichtigsten Maßnahmen zum Schutz des Baikalsees wie auch der Ostsee sowie des Kaspischen, des Schwarzen und des Asowschen Meeres sind abzuschließen. Die Durchführung eines Maßnahmenkomplexes zum Schutz der Gewässer der Arktis, Mittelasiens und Kasachstans ... ist fortzusetzen."

In diesen Maßnahmenkatalog sind die hier besprochenen Einzelmaßnahmen zur Erhaltung des ökologischen Gleichgewichts einzuordnen. Die sozialistische Planwirtschaft hat - wie die Beispiele zeigen, - die Kraft, diese Nebenwirkungen zu beseitigen, solange sie noch nicht irreparabel sind.

#### 4. Schlußfolgerungen

Ein interdisziplinäres Arbeits- und Untersuchungsfeld für viele Geowissenschaftler ist die Ausarbeitung theoretischer und praktischer Fragen der Umweltforschung und der Naturressourcen. Dabei ist es notwendig, die spezifischen Besonderheiten der jeweiligen Gebiete zu berücksichtigen.

Die multispektralen und multitemporalen aerokosmischen sowie multitemporalen kartographischen Daten bzw. Materialien sind zweckmäßig für die qualitative und quantitative Analyse von anthropogenen Änderungen der Natur sowie der Dynamik und Intensität der Entwicklung einiger natürlicher Erscheinungen und Prozessen zu benutzen. Damit sind die Analyseergebnisse eine wertvolle Hilfe bei der Ausarbeitung entsprechender prognostischer Empfehlungen, um die Entwicklungen und Änderungen von Erscheinungen, Prozessen und Objekten zu kontrollieren und rationell zu lenken.

Die komplexe Herangehensweise bei der Untersuchung und Analyse der Dynamik von natürlichen und anthropogenen Objekten, Erscheinungen und Prozessen wird durch die kombinierte Anwendung kartographischer und aerokosmischer Methoden gekennzeichnet und verstärkt. Dabei wäre es natürlich falsch anzunehmen, daß diese gesamte Problematik nur Fachleute der Kartographie und Fernerkundung interessiert. In der Regel werden die inhaltlichen Aspekte diesbezüglicher Untersuchungen von Geographen, Ökologen, Hydrologen, Geologen, Soziologen usw. erarbeitet und analysiert. Das bedeutet, daß für viele Geowissenschaften die Lösung theoretischer und praxisrelevanter Aufgaben auf interdisziplinärer Basis notwendig ist, was nur mittels flexibler kombinierter Methodik der Untersuchungen gesichert werden kann.

Von der theoretisch-methodologischen Seite her ist es wahrscheinlich noch zu früh, davon zu sprechen, welche Finalform die Integration von kartographischen und aerokosmischen Forschungsmethoden erhält. Ob eine einheitliche wissenschaftliche Disziplin, z.B. die von BERLJANT (1985; 1986) vorgeschlagene " Geikonik ", entsteht oder jede Forschungsmethode dieser oder jener Disziplin selbständig bleibt, aber gemeinsame und überschneidende Untersuchungsräume hat, muß abgewartet werden. Die Zeit wird diese These beweisen oder widerlegen.

Literatur

- BERLJANT, A.M.: Razvitie kartometrii i morfometrii v svjazi s problemami ochrany okružajuščeje sredy. Geod. i Kart., Moskva (1980) 10, S.40-44.
- BERLJANT, A.M.: Avtomatizacija issledovanij po kartam i naučno-tečničeskij progress v naukach o Zemle. In: Avtomatizacija v tematičeskoj kartografii. Moskva, MFGO:1985, S.3-14.
- BERLJANT, A.M.: Integrazija kartografičeskogo i aerokosmičeskogo metodov. In: Geografičeskaja kartografija. Vzgljad v buduščee. Moskva, Izd. MGU:1986, S.40-53.
- DAVIS, S.M. u.a.: Distancionnoe zondirovanie. Količestvennyj podchod. Moskva, Nedra:1983.
- Die Hauptrichtungen der wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung der UdSSR von 1986 bis 1990 und für den Zeitraum bis zum Jahr 2 000. Moskau, Progress:1986.
- EL'MAN, R.I.: Metod cifrovoj obrabotki konturnoj videoinformacii. Moskva, Issled. Zemli iz kosmosa (1982) 5, S.87-95.
- FEJGIN, M.M.: Metod paralel'nych vyčislenij geometričeskich parametrov objektov konturnych izobraženij. Issled. Zemli iz kosmosa, Moskva (1983) 6, S.107-114.
- GRIGOR'EV, A.A.: Antropogennye vozdejstvija na prirodnuju sredu po nabljudenijam iz kosmosa. Moskva, Nauka:1985.
- KNIŽNIKOV, Ju.F.: Dinamičeskoe aerokosmičeskoe zondirovanie. Vestnik MGU, ser. Geografija, Moskva (1985) 4, S.7-13.
- KUDRICKIJ, D.M.; ŽOLONDZ', V.A.: Dinamičeskaja kartometrija. Tr.IV Vsesojuzn. gidrolog. s'ezda. T.10, (1976), S.111-114.
- LUČKOV, V.P.; DRUMEVA, L.B.: Izmenenie solevogo sostava rapy zaliva Kara-Bogas-Gol. Vodnye resursy, Moskva (1985) 2, S.127-128.
- NOVIKOV, Ju.V. u.a.: Usychanie zaliva Kara-Bogas-Gol po dannym kosmičeskich i aerovisual'nych nabljudenij. In: Tes. dokl. Pervoj Vsesojuzn. konfer. " Biosfera i klimat po dannym kosmičeskich issledovanij ", Baku 29.11.-3.12.1982, S.116-118.
- Pravda, (44) 1986, (Kara-Bogas-Gol zovët na pomošč).
- SSSR iz kosmosa (Al'bom). Moskva, GUGK:1982.
- ŠIRJAEV, E.E.: Kartografičeskoe otobraženie, preobrazovanie i analiz geoinformacii. Moskva, Nedra: 1984.
- VINOGRADOV, B.V.: Tri urovnja distancionnoj indikacii v izučenii ekosistem. Priroda, Moskva (1977) 10, S.24-37.
- VINOGRADOV, B.V.: Preobrazovannaja Zemlja. Aerokosmičeskie issledovanija. Moskva, Mysl': 1981.
- VINOGRADOV, B.V.: Distancionnoe kartografirovanie dinamiki ekosistem v aspekte avtomatizacii. In: Avtomatizacija v tematičeskoj kartografii. Moskva, MFGO:1985, S.54-60.

Inventur geökologischer Funktionselemente der Agrarlandschaft mittels Luftbildinterpretation

H. KUGLER, R. GASSERT (unter Mitwirkung von H. WALDENBURGER und A. SCHÜRER)

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Sektion Geographie

Zusammenfassung

Multispektrale und andere Luftbilder repräsentieren Lage und Verbreitung, Struktur und Zustand und teilweise auch Funktion geökologisch bedeutsamer Landschaftselemente in Agrargebieten. Kartierung und Beurteilung dieser Landschaftselemente können vorteilhaft mittels Photointerpretation durchgeführt werden.

Summary

Multispectral and other aerial photographs represent situation and distribution, structure and condition and also partly function of landscape elements which are important for agrarian landscapes from the geocological point of view. Mapping and evaluation of these elements can be profitably realized by photointerpretation.

Резюме

Многозональные и другие аэроснимки показывают положение, распространение, структуру и состояние, а частично также и функцию геоэкологически важных элементов ландшафта в аграрных областях. Картирование и оценку этих ландшафтных элементов можно проводить на основе фотоинтерпретации.

1. Untersuchungsgegenstand Landschaftselement ( $LE_g$ )

In intensiv genutzten Kulturlandschaften haben areale Strukturelemente mit naturnahen Ökosystemen, mit landschaftsökologisch und landeskulturell und im weiteren Sinn territorialökonomisch positiv zu bewertenden komutativen Wirkungen besondere Bedeutung (vgl. THOMASIIUS, 1973; BAUER und WEINITZSCHKE, 1973; NIEMANN, 1982; HENTSCHEL u. a. 1979; SCHRÖDL, 1982; LEGLER, 1984; ROTTER und KNEITZ, 1977). In der sozialistischen Agrarlandschaft der DDR sind solche Landschaftselemente ( $LE$ ) vorrangig gebunden an Schlaggrenzen, Lesesteinwälle, stehende und Fließgewässer, Straßen und Wege sowie an Problemstellungen innerhalb der Schläge wie Kleinstufen, steinige Kuppen, vernäßte Senken, Kiesgruben, Lehm- und Tongruben, Mergelgruben, Kleinhalden des historischen Bergbaus. Sie treten als Trockenrasenflächen und Triften, als Gehölze und Restwälder auf oder wurden mit der Rekultivierung von Tagebauflächen neu entwickelt. Sie sind demzufolge genetisch (kausal, zeitlich) sehr verschiedenartig. In der Regel unterliegen sie keiner ständigen geplanten produktiven Vorrangnutzung durch Pflanzen- und Tierproduktion. In diesem Sinne an Sonderstandorte gebunden, kann diese Teilklasse der Landschaftselemente ( $LE_g$ ) nach Nutzungs- und Naturraummerkmalen sowohl areal homogen (topisch, monomorph)

als auch areal heterogen (chorisch, polymorph) sein.

Kennzeichnend für alle  $LE_s$  sind folgende weitere Merkmale, die ihren Charakter als "Landskulturelemente" im Sinne von RICHTER (1979) bedingen:

- a) Geokomplex- und Geosystemcharakter, mit Einheit von Standort und Bios;
- b) Landschaftsökologische Bedeutung für die Erhaltung einer artenreichen Fauna und Flora, durch ihre überwiegend positiv zu wertenden Einflüsse auf Geländeklima, Wasserhaushalt, Minderung bodenerosiver Feststoff- und Nährstoffverlagerungen;
- c) Indirekte und direkte ökonomische Bedeutung, speziell in Verbindung mit gezielter Flurholznutzung, mit Ertragssteigerung durch Minderung von Austrocknung, Boden-erosion, Ausfrieren, Schädlingsbefall sowie durch ihre gleichzeitige Hindernisfunktion für die Bewirtschaftung;
- d) Bedeutung für die Erfüllung immaterieller gesellschaftlicher Bedürfnisse durch Bereicherung des natürlichen Erholungspotentials und Erhöhung der Diversität der großflächig strukturierten Agrarlandschaft mit positivem landschaftsökologischem Effekt.

## 2. Untersuchungsmethode

Voraussetzung für landschaftsgestalterische Maßnahmen im Agrarraum ist die Erfassung der durch Naturraum- und Bewirtschaftungsunterschiede in Vergangenheit und Gegenwart bedingten areal differenzierten Landschaftsausstattung mit  $LE_s$  einschließlich der Beurteilung von Entwicklungsmöglichkeiten im Einklang mit der Erzielung von Höchstertträgen aus der verfügbaren landwirtschaftlichen Nutzfläche. Für solche Inventuren bietet die Luftbildinterpretation durch stärker detaillierende Objektkennzeichnung und Aktualität der Ausgangsdaten erhebliche Vorteile gegenüber der Auswertung topographischer Karten, durch erhebliche Reduzierung des Arbeitsaufwandes wesentliche Vorteile gegenüber direkten Geländeerhebungen. Unverzichtbar blieben terrestrische und laborative Methoden für spezielle Analysen (Artenzusammensetzung von Biotopen, Funktionsleistungen u. a.) und für die Gewinnung von interpretationsrelevanten Referenzdaten. In einem kombinierten Verfahren mit Luftbildauswertung, Kartenauswertung, Geländeaufnahme und Laboranalyse ist demzufolge eine optimale Inventur der  $LE_s$  zu erzielen.

Entsprechend der strukturellen und funktionellen genetischen und lagemäßigen Vielfalt der  $LE_s$  ist bei ihrer Erfassung ein umfangreicher Merkmalskatalog (rund 80 Merkmale) zu berücksichtigen. Wesentliche Merkmalsgruppen sind:

- a) Lagemerkmale (Lage zu umgebenden Nutzflächen, in bestimmten Landschaftstypen, Bindung an Reliefformen, Gewässer usw.)
- b) Anordnung, Häufigkeit
- c) Struktur
  - c<sub>1</sub> Formmerkmale (Grund- und Aufriß)
  - c<sub>2</sub> Komponentenausstattung (Relief, Wasser, Boden, Vegetation; arealinterne Prozesse)
  - c<sub>3</sub> Arealinterne Gefügegliederung, laterale Prozeßverbindungen
  - c<sub>4</sub> Zustand
- d) Arealexterne dynamische Verkopplung, Funktionen
- e) Ursächliche Standortbindung, Genese

Die Prüfung der Aussagefähigkeit des verwendeten multispektralen, spektrazonalen und panchromatischen Bildmaterials an mehr als 500  $LE_s$  des Raumes Halle-Friedeburg, der Unstrutau bei Roßleben-Memleben und der Mulde bei Eilenburg ergab, daß ein großer Teil der Merkmale durch qualitative und quantitative Interpretation der geometrischen, spektralen und temporalen Bildinformationen mittels gerätegestützter Analogauswertung mit unterschiedlichem Genauigkeitsgrad erfaßbar sind (vgl. KUGLER, GASSERT u. a. 1985; WALDENBURGER 1984; SCHÜRER 1984).

Dabei kann sich die  $LE_s$ -Analyse stützen auf teilweise mit anderen Zielstellungen durchgeführte Untersuchungen zur Erfassung von Flächennutzungen, Freiflächen in Siedlungen, Vegetationsformen, Wäldern, Baumarten, Standortverhältnissen in der  $LN$  (vgl. HILDEBRAND, 1976; MASUNY, 1978; KENNEDY, 1980; SCHMIDT, 1985; WOLFF, 1970; MAURER, 1983; MEINENBERG, 1966; VILLWOCK, 1983; KADRO, 1981; STEINER, 1966; DUHME, 1985 u. a.), auf Arbeiten zur speziellen Ermittlung von Bestandeshöhen (PERLWITZ und FROMMHOLD, 1976; PELZ und POFAHL, 1982) und Aussagen über generelle Möglichkeiten der Luftbildnutzung für die Lösung gebietsplanerischer Aufgaben (TRACHSLER, 1980) und für die Landschaftsanalyse (SCHMIDT-KRAEPELIN und SCHNEIDER, 1966; KUGLER u. a. 1984; 1983).

Der meist kleinflächigen, linearen oder punktuellen Ausprägung der  $LE_s$  entsprechend, erweisen sich Bildmaßstäbe bis 1:20 000, bedingt bis 1:50 000, als geeignet. Wegen der bestmöglichen Vegetationserkennung sind Aufnahmetermine während der vollen Vegetationsentwicklung Mitte Mai ... Mitte Juli zu bevorzugen. Für spezielle Fragen (Bodenerosion, Vernässung; Gehölzartendifferenzierung; vgl. RIEDEL und SCHRÖDER, 1984; STEINER, 1961) sind davon abweichende Termine (März u. a.) erforderlich. Generelle Einschränkungen ergeben sich u. a. bei der Erkennung durch Kronenüberschirmung verdeckter Objekte und Merkmale.

Als relativ unproblematisch erweist sich die Ermittlung der Lage, Verbreitung und Häufigkeit, Arealausdehnung und arealinternen Strukturierung der  $LE_s$ . Begrenzt sind die Möglichkeiten der Kennzeichnung des Vertikalaufbaus der Vegetation wegen des Überschirmungseffektes und der für niedrige Gehölze nur bei sehr großen Bildmaßstäben erreichbaren geeigneten Genauigkeit der parallaktischen Höhenmessung.

Unter Verwendung des abgebildeten grünen, roten und nahinfraroten Spektralbereiches der Remission (MKF-6-Kanäle 2, 4 und 6) lassen sich stoffliche Ausstattungsmerkmale (Wasser, Gestein/Boden, Grünland, Gehölzartengruppen) sowie Vitalitätsunterschiede günstig differenzieren. Weitere Differenzierungen, vor allem der arealinternen Gliederung der vegetationsbestimmten  $LE_s$ , erlaubt die Bildtextur (beschrieben durch Form, Größe, Anordnung der Texturlemente und durch mittleren Tonwert und Amplitude der Bildschwärzung).

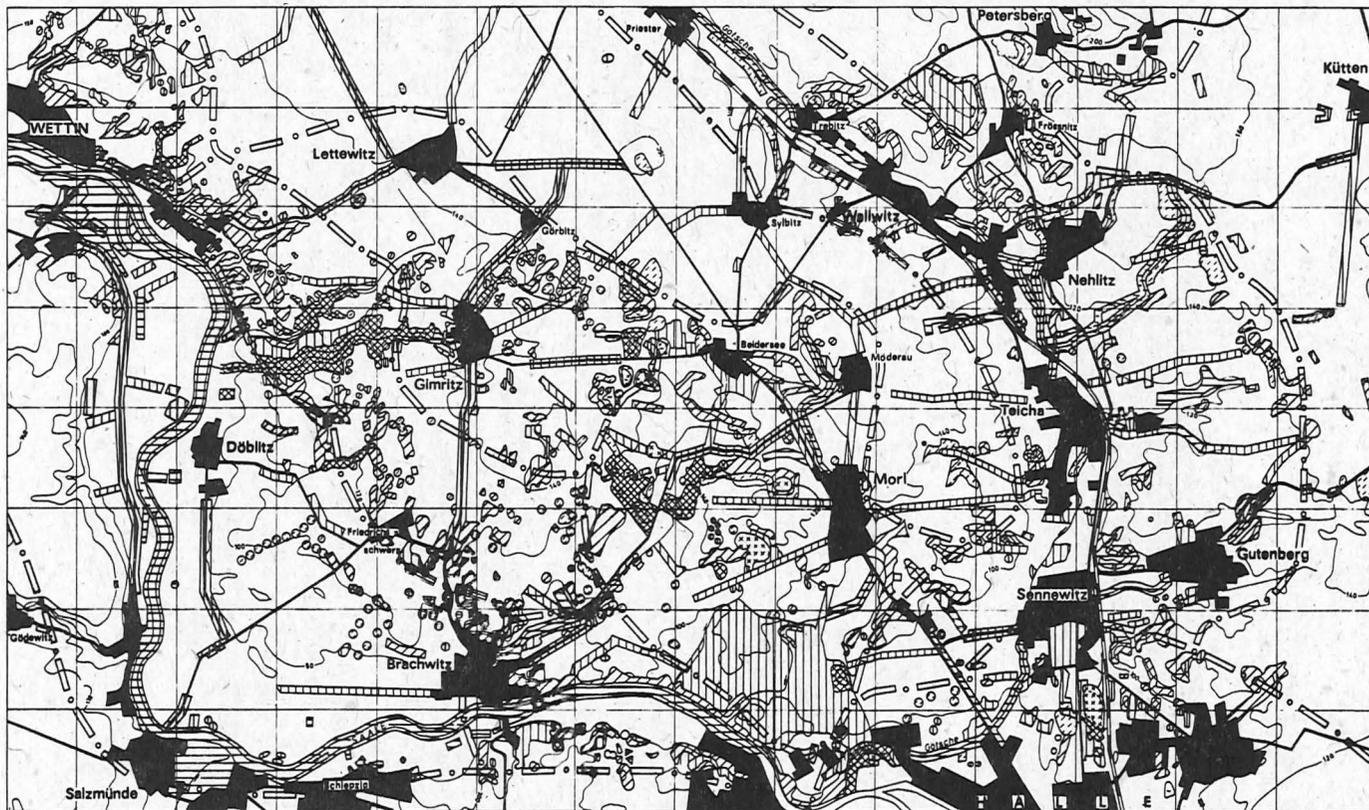
### 3. Kartierung der Gebietsausstattung mit $LE_s$

Für die flächendeckende Inventarisierung wurden die  $LE_s$  in 7 Hauptklassen zusammengefaßt, die an den funktionswirksamen Ausstattungskomponenten der  $LE_s$  orientiert sind. Die Identifizierung dieser Hauptklassen im Luftbild ist flächendeckend homogen möglich, zugleich werden damit auch solche  $LE_s$ -Typen ausgewiesen, bei denen Möglichkeiten der gestalterischen Potentialerhöhung gegeben sind (z. B. Begrünung der R- und W-Typen).

Die Kartierung der  $LE_s$  zeigt eine sowohl durch unterschiedliche natürliche Bedingungen und historisch gewachsene Flächennutzungsstrukturen als auch durch gegenwärtige Bewirtschaftungsunterschiede bedingte unterschiedliche Besatzdichte und Artenverbreitung von  $LE_s$ .

Für das in Abbildung 1 dargestellte Untersuchungsgebiet ist die Bindung der  $LE_s$  an

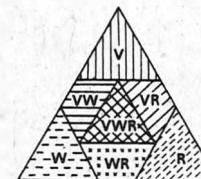
Ausstattung der Agrarlandschaft mit landskulturell wichtigen Landschaftselementen / Raum Halle-Wettin



Maßstab 1:50000

Topographische Grundkarte M 1:25 000  
 bodenk. Bearbeitung: H. Zepow, H. Auger,  
 H. Lehmann, A. Bsp. Gier,  
 W. G. Müller  
 Kartograph. Bearbeitung: E. Reuter  
 Bonn, 1981

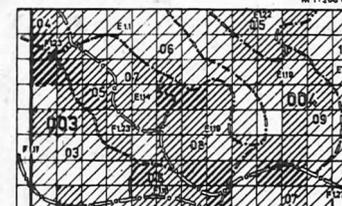
Typen der Landschaftselemente (LE):



- V Vegetationsbestimmte LE
- VW Vegetations- und gewässerbestimmte LE
- VR Vegetations- und reliefbestimmte LE
- VWR Vegetations- gewässer- und reliefbestimmte LE
- W Gewässerbestimmte LE
- WR Gewässer- und reliefbestimmte LE
- R Reliefbestimmte LE

Besatztypen:

M 1:200 000



Regenstichanzahl LE (% / km <sup>2</sup> )	dominierende Typengruppe (DATG mit entsp. top. Aufb. Kombinationen ansetz.)	WASSER (w, w, v)	RELIEF (R)
0-5	[diagonal lines /]	[diagonal lines /]	[diagonal lines /]
6-10	[diagonal lines \]	[diagonal lines \]	[diagonal lines \]
11-25	[diagonal lines / and \]	[diagonal lines / and \]	[diagonal lines / and \]
>25	[cross-hatch]	[cross-hatch]	[cross-hatch]

Geechoren: 1: Mikroscharen nach NTK-Musterblatt Halle)

004 00 Adressnummer  
 P 108 Typ

Kleinhalten des historischen Bergbaus und Abbaurestlöcher, an Wege, Fließgewässer, Schlaggrenzen, Kleinstufen, Steilhänge und Kleintäler und sowie an grundwassernahe Standorte der Flußbaue (Flußufer, Altwasserarme u. a.) typisch.

Im Rahmen generell gültiger Verfahrensschritte bei der Luftbildauswertung empfiehlt sich folgendes Vorgehen bei der Gebietsinventur:

- Referenzdatengewinnung durch terrestrische Aufnahme von Schlüsselflächen;
- Densitometrische Stichprobenmessungen, Flächenbearbeitung durch Bestimmung des Reflexionsverhaltens;
- gerätegestützte analoge Bildauswertung am INTERPRETOSKOP für das gesamte Arbeitsgebiet
- Hinzunahme ergänzender Daten aus terrestrischen Analysen, Karten u. a. Quellen.

Die kartographische Zusammenführung der Luftbild- und Kartendaten kann günstig mit KARTOFLEX erfolgen.

Die Nutzung der Inventarisierungsergebnisse bieten sich an für

- die Entwicklung von Landschaftsgestaltungsplänen;
- die Aufnahme in schlagbezogene thematische Betriebskarten der Landwirtschaft (vgl. VILLWOCK, 1983; HENTSCHEL u. a., 1979);
- die Aufnahme in digitale territoriale Datenspeicher (vgl. TRACHSLER, 1980).

Vergleichende Untersuchungen an Aufnahmen folgender Jahre können der Kontrolle der Realisierung von Flurgestaltungsprogrammen, speziell auch der Kontrolle der Entwicklung von Neupflanzungen von Flurgehölzen u. a. dienen.

#### Literaturverzeichnis

Baüer, L. u. H. Weinitzschke:

Landschaftspflege und Naturschutz, Jena 1973

Duhme, F.:

Vitalitätskartierung von Stadtbäumen in München. - Manuskript, 1985 = Bericht Rat der Stadt München

Hentschel, P. u. a.:

Präzisierte Richtwerte der Menge, Verteilung und Ersehbarkeit von Landschaftselementen (NfD). - F/E-Bericht (A4), Inst. für Landschaftsforschung und Naturschutz Halle der AdL der DDR, 1979

Hentschel, P. u. a.:

Behandlungsvarianten und Zieltypen für die Sicherung spezieller Funktionsleistungen von Landschaftselementen. - F/E-Abschlussbericht, Inst. für Landschaftsforschung und Naturschutz Halle der AdL der DDR 1980

Hildebrand, G.:

Die spektralen Reflexionseigenschaften der Vegetation. - XVI, IUFRO-World Congress, Proceedings, Division VI, Norway 1976, S. 214 ... 227

- Kadro, A.:  
Untersuchungen der spektralen Reflexionseigenschaften verschiedener Vegetationsbestände. - Diss. Forstwiss. Fakultät, Universität Freiburg, 1981
- Kenneweg, H.:  
Luftbildinterpretation und die Bestimmung von Belastung und Schäden in Vitalitäts-geminderten Wald- und Baumbeständen. - Schriftenreihe a. d. forstlichen Fak. Univ. Göttingen u. d. niedersächs. forstl. Versuchsanstalt, 62, 1980
- Kugler, H. u. a.:  
Integration von Fernerkundungsdaten für geomorphologische Landschaftsanalyse. - Lehrheft 7 Geofernerkundung. Dresden 1983
- Kugler, H., C. Riedel u. G. Villwock:  
Landschaftsanalyse mit multispektralen Luftbildern in der Umgebung von Halle (Saale). - Geogr. Bericht 29/3/1984
- Kugler, H. u. R. Gassert:  
Luftbildgestützte Erfassung landeskulturell wichtiger Landschaftselemente. - Forsch.ber. Sektion Geographie MLU 1985
- Legler, B.:  
Naturraumgliederung und Landschaftsgestaltung. - In: Umweltforschung. Gotha, 1984
- Maurer, H.:  
Automatisierte Baumartenkartierung mit großmaßstäbigen Infrarotfarbluftbildern. - Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen, 134, 1, 1983, S. 35 ... 47
- Masuny, S. A.:  
Analyse von Texturparametern in Luftbildern und Scanneraufzeichnungen verschiedener Maßstäbe zur Identifizierung von Waldtypen. - Diss. Forstwiss. Fak. Univ. Freiburg, 1978
- Meienberg, P.:  
Die Landnutzungskartierung nach Rau-, Infrarot- und Farbluftbildern. - In: Münchner Stud. z. Sozial- und Wirtschaftsgeogr., 1966
- Niemann, E. u. a.:  
Methodik zur Bestimmung der Eignung, Leistung und Belastbarkeit von Landschaftselementen und Landschaftseinheiten. - Wiss. Mitt. Inst. für Geogr. u. Geoökologie der AdW der DDR, Sonderheft 2, Leipzig 1982
- Pelz, E. u. U. Pofahl:  
Methodik der Analyse und Interpretation. - Lehrheft 5 Geofernerkundung, Dresden 1982
- Perlwitz, W. u. H. Frommhold:  
Bestimmung der forstlichen Bestandeshöhe aus Luftbildern am Topocart B. - Jenaer Rdsch., 21, 2, 1976
- Richter, H.:  
Geographische Aspekte der sozialistischen Landeskultur. - Gotha/Leipzig 1979
- Riedel, C. u. H. Schröder:  
Abbildungsverhalten bodenerosiv geschädigter Flächen im Luftbild. - Hercynia N. F., 21, 2, 1984
- Rotter, M. u. G. Kneitz:  
Die Fauna der Hecken und Feldgehölze und ihre Beziehung zur umgebenen Agrarlandschaft. - Waldhygiene, 12, 1 ... 3, 1977

Schmidt, I.:

Die Anwendung der Luftbildinterpretation zur Analyse von Freiflächen in Siedlungen. - Wiss. Abhandlungen Geogr. Gesell. der DDR, 18, 1985

Schmidt-Kraepelin, E. u. S. Schneider:

Luftbildinterpretation in der Agrarlandschaft. - Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum, 7, 1966

Schrödl, G.:

Anteil und Verteilung von Flurgehölzen in standörtlich verschiedenen Landwirtschaftsbetrieben der DDR als Grundlage für eine produktions- und landschaftsbezogene Flurholzwirtschaft. - Diss. A Institut für Forstwiss. Eberswalde-Finow, 1982

Schürer, A.:

Kennzeichnung und Kartierung ausgewählter landeskulturell bedeutsamer Landschaftselemente im Raum Halle-Wettin-Petersberg durch Luftbildinterpretation und vergleichende Gelände- und Kartenanalyse. - Dipl.-Arbeit Sektion Geographie MLU, 1984

Steiner, D.:

Die Jahreszeit als Faktor bei der Landnutzungsinterpretation auf panchromatischen Luftbildern. - Landeskundliche Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum, 5, 1961

Thomasius, H. u. a.:

Wald, Landeskultur und Gesellschaft. - Dresden 1983

Trachsler, H.:

Grundlagen und Beispiele für die Anwendung von Luftaufnahmen in der Raumplanung. - Ber. z. Orts-, Regional- und Landesplanung, 41, Zürich 1980

Villwock, G.:

Untersuchungen zur standörtlichen Heterogenität landwirtschaftlicher Nutzflächen mit Methoden der Geofernerkundung. - Diss. A Univ. Halle 1983

Villwock, G.:

Großmaßstäbige Betriebskarten zur standörtlichen Heterogenität landwirtschaftlicher Nutzflächen auf der Grundlage von Fernerkundungsdaten. - Wiss. Abhandlungen Geogr. Gesell. der DDR, 18, 1985

Waldenburger, H.:

Untersuchungen zur Erfassung landeskulturell relevanter Zustandselemente und Prozesse in Grundwasser- und überflutungsbeeinflussten Flußauen mittels Luftbildinterpretation. - Dipl. - Arbeit Sektion Geographie MLU, 1984

Wolff, G.:

Neue Verfahren der Aufnahme und Auswertung von Luftinformationen und ihre Bedeutung für die Erfassung des Waldzustandes in der DDR. - Diss. B, TU Dresden, 1970

Erfassung von Komponenten der Ertragsbildung auf der Grundlage spektraler Signaturen - Ergebnisse des INTERKOSMOS-Experimente "Kurek 85"

H. BARSCH<sup>1)</sup>, R. SÖLLNER<sup>2)</sup>, H. WEICHEL<sup>2)</sup>

1) Pädagogische Hochschule Potsdam  
Sektion Geographie

2) Akademie der Wissenschaften der DDR  
Zentralinstitut für Physik der Erde

Zusammenfassung

Während des Interkosmos-Experimente "Kurek 85" wurden biometrische Parameter von verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturen des Kirow-Kolchos bestimmt und als Maß für ihre jeweilige Produktivität benutzt. Gleichzeitig wurden parallel dazu die spektralen Signaturen der landwirtschaftlichen Kulturen gemessen. Ein Produktivitätskriterium auf der Grundlage der spektralen Signaturen im VIS-, NIR- und TIR-Spektralbereich wurde auf die Spektraldaten angewandt und teilte die Kulturen in Produktivitätsgruppen ein. Die so erhaltenen Produktivitätsgruppen stimmen mit der aus den biometrischen Bodendaten abgeleiteten Produktivitätsabstufung gut überein.

Summary

During the Interkosmos-experiment "KURSK 85" the biometric indices of different crops in the Kirov collective farm were used as a measure for their productivity, which the interpretation of spectral signatures can refer to. A productivity criterion, derived from the spectral signatures in the VIS, NIR and TIR wavebands was used for the differentiation of the crops. The groups of vitality obtained in this way are in good correspondence with the ground reference data.

Резюме

Во время эксперимента "Курск 85", проведенного в рамках работ Интеркосмос, в районе колхоза "Киров", были определены биометрические параметры различных сельскохозяйственных культур, используемые как меры при оценке их действительной продуктивности. Одновременно измерялись спектральные характеристики сельскохозяйственных культур, на основе которых к спектральным данным для видимой, ближней и тепловой ИК зоны был применен критерий продуктивности. В результате этого все культуры были подразделены в продуктивные группы. Такие группы хорошо совпали с градацией продуктивности, вычисленной по биометрическим данным почв.

### Problematellung und Untereuchungsansatz

Daten, die für die Kontrolle der Entwicklung und die Prognose des Ertrages landwirtschaftlicher Kulturen benötigt werden, müssen auf terrestrischem Wege mit einem hohen Aufwand an Arbeitszeit beschafft werden und stehen heute noch zum Teil nur verspätet oder lückenhaft zur Verfügung. Es lag daher nahe, den Einsatz von Fernerkundungsmethoden für die Zustandserfassung landwirtschaftlicher Nutzflächen zu prüfen. Bereits beim Experiment LACIE (large area crop inventory experiment) wurden seit 1974 durch das Landwirtschaftsministerium der USA Ertragsabschätzungen auf der Grundlage von Fernerkundungsdaten durchgeführt. Aus den Fernerkundungsdaten wurden dabei die landwirtschaftlichen Anbauflächen artbezogen ermittelt und nach Anbauregionen untergliedert. Die Ertragsabschätzung erfolgte durch Multiplikation der in den einzelnen Regionen ermittelten Anbaufläche mit Kennziffern des aktuellen witterungsbedingten und des standortbedingten Ertragspotentials. Der informationelle Wert von Fernerkundungsdaten geht jedoch weit über die Ermittlung der Größe und der räumlichen Verteilung der Anbaufläche hinaus und gestattet auch die Erkennung von Differenzierungsstufen im Zustand landwirtschaftlicher Kulturen, ihrer Verbreitung und ihrer Anteile an der Gesamtfläche. Das ist zum Teil bereits durch Auswertung der spektralen Signaturen der landwirtschaftlichen Objekte im roten Bereich des sichtbaren Lichts (VIS) und im nahen infraroten Spektralbereich (NIR) möglich. Wesentlich umfangreichere und komplexere Informationen sind in diesem Zusammenhang ableitbar, wenn zusätzlich die spektralen Signaturen im mittleren (MIR) und thermischen Infrarot (TIR) sowie im Mikrowellenbereich (MW) erfaßt werden (vergleiche u. a. BARSCH, MAREK, SÜLLNER, WEICHELDT 1984; BAUER, VANDERBILDT, ROBINSON 1980; MIGUET, BARET, GUYOT 1983; VASILIEV, KACINSKI 1984). Die Interpretation dieser Signaturen erfordert ein leistungsfähiges physikalisches Modell für die Beschreibung des Zusammenhanges zwischen ökophysiologischen Pflanzenmerkmalen und den spektralen Signaturen. Zur Entwicklung und Qualifizierung dieser Modellvorstellungen sind terrestrische Messungen dieser Merkmale mit den Fernerkundungsdaten in Beziehung zu setzen. Experimentelle Untersuchungen zur Kennzeichnung der Ertragsbildung landwirtschaftlicher Kulturen mit Fernerkundungsdaten erfolgen deshalb im Interkosmos-Programm in verschiedenen Aufnahmeebenen (VASILIEV, VEDEŠIN 1982). Dementsprechend ist beim Interkosmos-Experiment KURSK-85 der Einsatz von sowohl aerokoamischen als auch terrestrischen Sensoren für spektrale Signaturmessungen im VIS, NIR, MIR, TIR und MW-Bereich mit pedologischen und biometrischen Bodenuntersuchungen gekoppelt worden.

Der Beitrag der DDR für dieses Experiment konzentrierte sich auf die Beteiligung an terrestrischen boden- und biogeographischen Untersuchungen sowie an spektralen Signaturmessungen in den unteren Aufnahmeebenen, vor allem an Flugtreesen. Seine Zielstellung bestand sowohl in der Weiterentwicklung der Methodik der Interpretation spektraler Signaturmessungen als auch in der Erarbeitung eines Beitrages zur räumlich differenzierten Kennzeichnung des Zustandes landwirtschaftlicher Nutzflächen im Untersuchungsgebiet mit Hilfe spektraler Signaturmerkmale.

Die landwirtschaftlichen Nutzflächen wurden als agrotechnische Geosysteme betrachtet. Eine Anwendung des Systembegriffe erschien hierbei nicht nur durch allgemeine systembezogene Herangehensweise bei der Erfassung des Zustandes und der Deutung der Prozeßabläufe in den untersuchten landwirtschaftlichen Nutzflächen gerechtfertigt, sondern insbesondere durch die verfolgte konkrete Problematellung. Die objektive Kennzeichnung der Ertragsbildung durch Bewertung und hierarchische Gliederung der Vitalität der erfaßten Menge von landwirtschaftlichen Kulturen im Untersuchungsgebiet auf der Grundlage radiometrisch meßbarer Systemelemente, die unmittelbare Träger ertragsbildender Funktionen sind oder die Ertragsbildung beeinflussen, also Komponenten der Ertragsbildung dar-

stellen.

Die spektralen Signaturen, die die spektrale Energieverteilung der von den Objekten ausgehenden (remittierte und emittierte) elektromagnetischen Strahlung darstellen, stellen das mit Radiometern meßbare Abbild dieser Systemelemente dar. Elemente, die sich als Komponenten der Ertragebildung in den spektralen Signaturen widerspiegeln, sind Bestandteil des Assimilationsapparates der Pflanzen und des Speicherkörpers im Boden. Sie kann man durch stoffliche Bestandteilemerkmale (Biomasse, Chlorophyllgehalt, Wassergehalt und Intensität der Transpiration), durch morphologische Merkmale des Bestandes (Blattflächenindex, Bedeckungsgrad, vertikaler Bestandaufbau, Blattmosaik) sowie durch Humusgehalt und Feuchte des Bodens kennzeichnen. Die Widerspiegelung dieser Systemelemente in den spektralen Signaturen erfolgt als Merkmalkomplex und ist i. e. nicht umkehrbar eindeutig. Es ist verständlich, daß akkumulative Einflußfaktoren und interne in der Pflanze ablaufende biochemische Vorgänge mit Fernerkundungsmethoden nur indirekt über diese stofflichen und morphologischen Bestandteilemerkmale erfaßbar sind.

Basis der experimentellen Arbeiten war die Bestimmung von Systemeigenschaften kleiner Areale, der Ackerschläge. Es war zu berücksichtigen, daß Geosysteme große Systeme darstellen, auf die neben den obengenannten kontrollierten Einflußgrößen auch andere, im Experiment nicht kontrollierbare Faktoren einwirken, auf agrotechnische Geosysteme vor allem durch die technologischen Maßnahmen der Pflanzenproduktion. Ihre Wirkungen galt es, bei der Interpretation der Fernerkundungsdaten empirisch zu beachten. Ebenso war klar, daß die Dynamik der agrotechnischen Systeme des Kursker Gebietes in einem Zeitabschnitt auch in Bezug auf die kontrollierten Einflußgrößen nicht vollständig erfaßt werden konnte, obwohl umfangreiche Zusatzinformationen aus stationären Untersuchungen der Kursker Forschungsstation des Geographischen Institut der Akademie der Wissenschaften der UdSSR im Modellgebiet Waldsteppen-Geosysteme des UNESCO-Programms Man and Biosphere vorlagen (GERASIMOV, DROZDOV 1980; GRIN u.a. 1983). Diese waren aber für die Kennzeichnung der Rahmenbedingungen der Geosystem-Dynamik von großer Bedeutung. Deshalb schien auch eine erste Abschätzung des zu erwartenden Ertrages denkbar zu sein, also eine prospektive Extrapolation des Systemzustandes.

Im Mittelpunkt der Untersuchungen stand jedoch die Bestimmung des Zustandes der agrotechnischen Geosysteme des Kursker Gebietes zum Aufnahmezeitraum, d. h. zwischen 10. und 25 Juni 1985. Die pflanzliche Substanz aufbauenden Stoffwechselprozesse dominierten. Für den Stoff-Energie-Austausch der agrotechnischen Geosysteme waren daher die Absorption der Sonnenstrahlen im blauen und roten Bereich des sichtbaren Lichtes durch die Chlorophyllpigmente der Kulturpflanzen sowie die Remission der Einstrahlung im Nahen Infrarot und ihre Absorption im Mittleren Infrarot durch den wäßrigen Zellsatz der Blätter von Interesse, ebenso die Minderung der Ausstrahlung im thermischen Infrarot durch die Evapotranspiration und im Mikrowellenbereich durch den Wassergehalt von Boden und Pflanze.

#### Untersuchungsgebiet

Kursk liegt auf den Mittelrussischen Höhen, im nördlichen Bereich in der Waldsteppe. Bei einem mittleren Jahresniederschlag von rund 500 mm Höhe treten hier im Januar Mitteltemperaturen um  $-6^{\circ}\text{C}$ , im Juli um  $+20^{\circ}\text{C}$  auf. Unter diesen Bedingungen hat sich auf Löß typische Schwarzerde entwickelt, die zum Teil durchschlämmt oder gekappt worden ist. Dort, wo die Lößplatten von sandigen glazigen oder glazifluvialen Sedimenten durchspießt werden, findet man Braunpodsole, 30 % des Kursker Gebietes sind heute noch

mit Wald bedeckt, mit Eichen-Mischwäldern auf Löß und Kiefern-Mischwäldern auf Sand. Die artenreichen Wiesensteppen, mit Klee, Salbei, Federgras, Trespen, Hahnenfuß u. a. trifft man, ebenso wie die Eichen-Mischwälder, noch in den Telkomplexen des Lößgebietes und in Naturschutzgebieten an, beispielsweise in der Strelitzen-Steppe südlich Kurek, wo die stationären Untersuchungen der Forschungsstation des Geographischen Institutes der Akademie der Wissenschaften der UdSSR durchgeführt werden. Für dieses Gebiet konnten folgende Werte für den Haushalt organischer Substanz in natürlichen Geosystemen ausgewiesen werden (DROZDOV, GRIN, ANANIEV, ANANIEVA, RADNER, SAMARINA 1980):

Phytomasse und Humus (dt/ha)	Platte	Wald Nordhang	Südhang	Platte	Steppe Nordhang	Südhang
Nettoproduktion/Jahr	12,3	12,1	12,0	14,2	13,1	14,1
(davon unterirdisch)	( 2,0	2,7	2,8	10,1	6,6	9,0 )
Vorrat an Phytomasse	151,4	141,3	156,6	33,4	30,4	30,8
Humusvorrat	472,0	236,0	487,0	557,0	552,0	530,0

Die Tabelle verdeutlicht den - mit Ausnahme der bewaldeten oder ehemals bewaldeten Südhänge - weithin hohen Humusvorrat und die große Fruchtbarkeit der Schwarzerde-Standorte dieser Lößplatten.

Die landwirtschaftlichen Nutzflächen, die fast 70 % des Kureker Gebietes einnehmen, liegen zum großen Teil auf solchen Lößplatten. Es überwiegt Ackerland, das etwa zur Hälfte mit Brotgetreide bestellt wird. Daneben sind Zucker- und Futterrüben, Mais, Luzerne, Klee und Kartoffeln in die Fruchtfolgen einbezogen worden.

Auf den Lößplatten wurden beim Interkosmos-Experiment Kurek-85 mehrere Testgebiete für die Untersuchung von agrotechnischen Geosystemen genutzt. Östlich von Kurek waren Areale ausgewählt worden, die am Rand der Mittelrussischen Höhen durch Tal-komplexe stark zerechnitten wurden. Hier war die innere Gliederung der Böden und der natürlichen Vegetation des Waldsteppenbereiches bei Kurek besonders deutlich erkennbar. Auf den Lößplatten dominieren typische Schwarzerde mit Resten von Federgras-Trespen-Wiesensteppe, an Nordhängen Schwarzerde mit Zittergras-Bergeeggen-Rasen und Nelkenwurz-Eichenwald, an den Hangkanten und an Südhängen karbonatische Schwarzerde mit Katzenminzen-Federgras-Salbei-Steppe und Nelkenwurz-Eichenwald, sowie in den Tälchen Feuchtschwarzerde mit Germer-Wiesan (vgl. DROZDOV 1978).

Eine prinzipiell gleichartige Verteilung von Landschaftsmerkmalen zeigten auch die Testgebiete südlich Kurek, im zentralen Teil der Mittelrussischen Höhen. Den weitaus größten Flächenanteil nahmen aber hier die typischen Schwarzerden auf ausgedehnten Lößplatten mit einer Mächtigkeit des humosen Oberbodens von 6 bis 8 dm ein. Auf einer solchen Lößplatte im Gebiet des Kolchos Kirov, der etwa 20 km südlich Kurek in der Nähe der Straße Moskau-Charkov liegt, wurden unsere Untersuchungen durchgeführt (Abb. 1). Sie wird nur randlich von einigen Talwurzeln erfaßt. Man konnte deshalb auch unter Berücksichtigung des durchweg fast ebenen Reliefs (Neigung der Platten unter 2°) die natürlichen Standorteigenschaften der hier zu untersuchenden agrotechnischen Geosysteme als weitgehend homogen ansehen und ihr biotisches Ertragspotential als durchweg hoch vorab ansprechen.

## Methodik und Ergebnisse terrastrischer bodengeographischer sowie biogeographischer Untersuchungen

Nördlich und südlich einer zwischenörtlichen Verbindungsstraße, die von der Hauptstraße Moakeu-Kurak-Cherkov in östlicher Richtung abzweigt und das Gebiet des Kolchose Kirov quert (Abb. 1), wurden auf einer Länge von rund 5 km in 12 Ackerschlägen Boden- und Vegetationsproben entnommen. Das geschah an insgesamt 27 Punkten, da Unterschiede in der Beetandichte und der Pflanzenentwicklung innerhalb eines Schläges berücksichtigt werden sollten. Die Kennzeichnung von Komponenten der Ertragsbildung durch Bodeneigenschaften und Vegetationsmerkmale wurde zum Teil sofort im Gelände (Bodenfarbe, Beetandichte, -höhe, -phänologie, Drillreihenabstand, Feuchtmasse von Boden- und Pflanzen) vorgenommen, zum Teil im Labor der Kuraker Experimentalstation des Geographischen Instituts der Akademie der Wissenschaften der UdSSR (Trockenmasse von Boden- und Pflanze, Anteil der Ährnmasse - crop index, Gehalt an organischer Substanz, Chlorophyllgehalt - spektrometrisch nach HOLM und LEFORT, Blattflächenindex - BFI). Einige Indikatoren der Bodenfruchtbarkeit wurden nachträglich in Potsdam ermittelt (C/N-Verhältnis - durch nasse Verbrennung, Kationenaustauschkapazität nach KAPPEN - KUK). Die Homogenität der pedologischen Standorteigenschaften im Untersuchungsgebiet wurde durch die untersuchten Bodenproben bestätigt. Der Gehalt an organischer Substanz betrug 8 bis 10 % (Abb. 2, 3) und lag damit über den in der klassischen Bodenkarte von DOKUČAEV aus dem Jahre 1983 ausgewiesenen Werten von 4 bis 7 % (vgl. auch EHWALD 1984). Das weist darauf hin, daß in der Waldsteppe auch unter Acker der Humusvorrat der Löß-Schwarzerden zumindest erhalten bleibt. Trotz lediglich geringfügiger Niederschläge im Beobachtungszeitraum blieb in dem kleinporigen Substrat die Feuchte des Oberbodens bei Werten um 16 bis 20 % der Bodenmasse stabil. Die schmalen Wertespanssen von Bodenfeuchte und Gehalt an organischer Substanz schlug<sup>en</sup> sich auch in den Farbwerten des Bodens nieder, die durchweg im Bereich von 10 YR 1/2 bis 3/2 nach der MUNSELL-Skala lagen. Mit einem C/N-Verhältnis bei 15 - 20/1 zeichneten sich im ganzen Untersuchungsgebiet Mull-Humusformen ab. Die Kationenaustauschkapazität lag zwischen 35 und 45 mval/100 g Boden bei einer Basensättigung von rund 85 % (V-Wert).

Die Betrachtung der räumlichen Differenzierung der Bodeneigenschaften ergab, daß die höchsten Werte der Bodenfeuchte, der KUK und des Gehaltes an organischer Substanz, die beste Humusqualität und die dunkelsten Farben des Oberbodens (Abb. 2, 3) im Zentrum der Lößplatten zu finden sind. Standorte am Rand der Platten, hier durch die Schläge 56, 57 und 58 sowie (an der Wurzel von Erosionstäbchen) die Schläge 36 und 42 markiert, zeigen durch niedrigere Kennwerte geringfügige Degradationserscheinungen in der Löß-Schwarzerde an. Aber auch dort weisen die pedologischen Parameter noch eine hohe Bodenfruchtbarkeit aus. Grenzbedingungen für die Ertragsbildung ergaben sich hier aus dem Klima, vor allem aus der im Vergleich zu Mitteleuropa kürzeren Dauer der Vegetationsperiode (185 Tagesmittel über 5°C, 150 Tage über 10°C) und der hohen sommerlichen Verdunstung. Im Waldsteppengebiet bei Kursk trifft man deshalb auf eine Vielzahl kleinerer Staubecken, von denen aus die Felder beregnet werden. Darüber hinaus werden die Straßen weithin von Windschutzstreifen gesäumt, um der Winderosion auf den trockenen Feldern zu begegnen. Wie die Indikatoren der Bodenfruchtbarkeit zeigen, geschieht dies mit Erfolg.

Die meisten Ackerschläge des Untersuchungsgebietes (36, 44, 49, 50, 55, 58) waren mit Winterweizen bestellt worden. Hinzu kamen Zuckerrüben auf zwei Schlägen (42, 56) sowie je ein Schlag mit Futterrüben (57), Luzerne (33), Sommergerste (38) und Hafer (37). Sie befanden sich in unterschiedlichen Phasen ihrer phänologischen Entwicklung, Der Winterweizen war in die Milchreife eingetreten, Zucker- und Futterrüben in das Stadium der Blattentwicklung (5/6-Blatt-Stadium), die Luzerne blühte und Sommergerste sowie Hafer schoben die Ähren.

Als Maß für den Umfang des Assimilationsapparates wurde vor allem der Blattflächenindex genutzt, als Maß für die Leistungsfähigkeit des Assimilationsapparates in erster Linie der Chlorophyllgehalt der Blätter. Als Indikator für die Akkumulation der Assimilate ließ sich die Biomasse der Kulturpflanzen heranziehen. In Anbetracht des notwendigen Vergleichs mit spektralen Signaturen konzentrierten sich die Feldarbeiten auf die oberirdische Biomasse. Zur flächenbezogenen Bewertung der Komponenten der Ertragsbildung wurde darüber hinaus noch die Beetandeeichte herangezogen. Bei Winterweizen zeigten sich zunächst artenspezifische Unterschiede in diesen biometrischen Werten. Die Schläge 36, 44, 49, 50, 55 und 57, mit der weit verbreiteten Weizensorte Mironovskaja 808 bestellt, hoben sich deutlich vom Schlag 58 ab, der die Sorte L'govskaja 77 trug. L'govskaja, eine kurzstrohige Züchtung, erreichte bei einer Pflanzenhöhe von lediglich 60 cm einen Ährenmassenanteil (crop index) von 40 %. Dagegen betrug bei Mironovskaja die Pflanzenhöhe 80 bis 100 cm und der crop index lag bei 20 (Abb. 2, 3). Allerdings muß hinzugefügt werden, daß die gesamte Biomasse auf den mit Mironovskaja 808 bestellten Schlägen 49 und 50 dreimal so hoch wie auf dem mit L'govskaja 77 bestellten Schlag 58 war und sich damit die absolute Ährenmasse bei beiden Sorten weitgehend gleicht. Bei deutlich höherem Blattflächenindex von Mironovskaja 808 (um 4) ist ein größerer Teil der Assimilate im Halm festgelegt worden, im Gegensatz zu L'govskaja, wo mit einem niedrigeren Blattflächenindex (um 2) die Assimilate zu einem erheblich größeren Teil in die Ährenbildung eingingen. Da dann die Ähre selbst ein <sup>en</sup> Teil der Produktion der Assimilate übernimmt, wird der geringere Blattflächenindex von L'govskaja 77 wieder etwas ausgeglichen. Betrachtet man die Entwicklung der Weizenschläge innerhalb der Sorte Mironovskaja 808, so ergeben sich die besten Kennwerte an den Schlägen 50 und 44, gefolgt von den Schlägen 49, 55 und 36. Am Plattenrand beim Schlag 36 erscheint die relativ geringe Entwicklung der ertragsbildenden Komponenten des Weizens die niedrige Bodenqualität widerzuspiegeln. Die anderen Unterschiede zwischen den Schlägen und innerhalb der Schläge lassen sich aber nur mit örtlichen Auswinterungseffekten und Verschiedenheiten der Bearbeitungstechnologie erklären. Verschiedenheiten der Bearbeitungstechnologie machen sich auch bei den Sommerkulturen bemerkbar. So sind die biometrischen Werte der Zuckerrüben, ihre Minima und Maxima, auf den Schlägen 42 und 56 miteinander verschachtelt (Abb. 2, 3). Die höchsten biometrischen Werte für Hafer auf Schlag 37 liegen über dem Maximum für Gerste auf Schlag 38, die meisten jedoch, wie zu erwarten, darunter. Im Vergleich zu Weizen sind die Wertespanssen der Sommerkulturen höher. Auch daran scheint es sich zu erweisen, daß die hier angebauten Weizensorten, die speziell für die Waldsteppe gezüchtet worden sind, eine relativ hohe Ertragsstabilität aufweisen. Man muß allerdings in jedem Fall beachten, daß die biometrischen Messungen bewußt an solchen Stellen durchgeführt wurden, die die Extremwerte der Entwicklung der Ackerkulturen in den jeweiligen Schlägen repräsentierten. Auffällig war dabei, daß die Areale der Minimalwerte fleckenhaft innerhalb der Areale mit Maximalwerten anzutreffen waren, mittlere Werte hingegen relativ selten auf zusammenhängenden Flächen auftraten.

Indem die biometrischen Werte die Leistungsintervalle des Assimilationsapparates der jeweiligen Kulturen anzeigen, veranschaulichen sie nicht nur Charakteristika einzelner Komponenten der Ertragsbildung, sondern stellen in ihrer Gesamtheit ein Maß für die Produktivität dieser Pflanzbestände dar, auf das sich die Auswertung der spektralen Signaturen beziehen kann.

#### Technik und Methodik der Messung spektraler Signaturen auf Flugtraassen

Entlang der beiden Meßtraassen wurden mit einem Radiometer die spektralen Objektsignaturen von einem Hubschrauber aus bestimmt. Das verwendete Radiometer (Typ BARNES, USA)

hatte folgende spektrale Empfindlichkeitsbereiche:

0,45 - 0,52 $\mu\text{m}$	1,15 - 1,30 $\mu\text{m}$
0,52 - 0,60 $\mu\text{m}$	1,55 - 1,75 $\mu\text{m}$
0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$	2,08 - 2,35 $\mu\text{m}$
0,76 - 0,90 $\mu\text{m}$	10,4 - 12,8 $\mu\text{m}$

Die Flughöhe des Hubschraubers betrug ca. 1000 m, die Fluggeschwindigkeit ca. 70 km/h. Bei einem Öffnungswinkel des Spektrometers von ca.  $1^\circ$  ergibt sich am Boden eine Maßfleckgröße (IFOV) von etwa 16 m Durchmesser. Da die Integrationszeit für eine Messung 50 msec beträgt, wird der kreisförmige Maßfleck in Flugrichtung um etwa 1 m verschmiert. Die Abfrage der 8 Meßkanäle erfolgt seriell, so daß für eine Meßserie etwa 400 msec benötigt werden, was zu einem Auseinanderlaufen der Maßflecke der einzelnen Kanäle entsprechend der Reihenfolge ihrer Abfrage in Flugrichtung um jeweils 1 m führt und bei der Auswertung zu berücksichtigen ist. Pro Sekunde wurden zwei Meßserien ermittelt, so daß nach jeweils ca. 10 m Flugstrecke eine neue Meßserie beginnt; auf den 5 km langen Flugtrassen werden damit jeweils an 500 "Punkten" spektrale Signaturen ermittelt. Um eine Zuordnung zwischen den spektralen Meßdaten und den Bodenobjekten zu gewährleisten, wurden während des Überfluges von Feldgrenzen von einem Operator die entsprechenden Meßserien elektronisch markiert.

Die Gesamtmeßzeit zur Erfassung der beiden 5 km langen Trassen betrug etwa 10 Minuten. Bei den vorherrschenden stabilen Wetterbedingungen wurden die Einstrahlungsverhältnisse und die atmosphärischen Bedingungen für diesen Zeitraum als konstant angenommen. Vor und nach der Trassenbefliegung wurde eine  $\text{BaSO}_4$ -Tafel als Etalonfläche mit dem Radiometer in den Kanälen 1 - 7 vermessen, um eine Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten. Trotzdem sind die gewonnenen Daten lediglich als relative Strahlungäquivalente der Meßspannungen zu betrachten und nur bedingt mit anderen spektralen Signaturmessungen vergleichbar. Im thermischen Infrarot-Kanal erfolgt eine Kalibrierung des Sensors auf ein geräteinternes Eichnormal.

#### Methodik und Ergebnisse der Auswertung von spektralen Signaturdaten

In Abbildung 4 ist der typische spektrale Verlauf der Remission von vegetativen Objekten und von unbedecktem Boden dargestellt. Die eingetragenen Kanäle stellen die spektralen Empfindlichkeitsbereiche des verwendeten Radiometers dar. Primär wird die spektrale Signatur im gesamten Spektralbereich 0,4 - 2,5  $\mu\text{m}$  von der Architektur des Beetendes bestimmt. Je glatter und horizontaler die Blätter des Bestandes sind und je größer der Blattflächenindex (BFI) ist, desto höher ist i. a. auch das Remissionsvermögen in diesem gesamten Spektralbereich. Im Spektralbereich 0,4 - 0,7  $\mu\text{m}$  wird die einfallende Strahlung durch die Pigmente in den Blättern (z. B. durch die Chlorophyllabsorption bei 0,63 - 0,69  $\mu\text{m}$ ) und im Spektralbereich 1,3 - 2,5  $\mu\text{m}$  durch das in den Blättern enthaltene Wasser absorbiert. Die Tiefe der Absorptionsbanden hängt dabei zunächst von der architekturbedingten Primärremission sowie vom Chlorophyll- bzw. Wassergehalt ab. Abbildung 5 zeigt den Zusammenhang zwischen Chlorophylldichte ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) und den registrierten Strahlungssignalen im Kanal 3 (0,63 - 0,69  $\mu\text{m}$ ) für die hier diskutierten Messungen.

Bei Beständen ohne vollständige Bodenbedeckung hat darüber hinaus der Bodenbedeckungsgrad auf die spektrale Signatur, die dann eine Mischsignatur darstellt, einen entscheidenden Einfluß. Die Stärke des Deckungsgrundeinflusses wird insbesondere im Spektralbereich 0,4 - 0,7  $\mu\text{m}$  vom Farbkontrast zwischen Boden und Pflanze (der Farbkontrast ist insbesondere abhängig vom Pigmentgehalt der Pflanze sowie vom Humus- und Wassergehalt des Bodens) und im Spektralbereich 1,3 - 2,5  $\mu\text{m}$  vom Kontrast zwischen dem Wassergehalt

der Pflanze und dem Wassergehalt des Bodens bestimmt. Im thermischen Infrarotbereich spiegelt die spektrale Signatur die Temperatur des Pflanzenbestandes wider, die sich aus der umgebenden Lufttemperatur, der Architektur des Pflanzenbestandes, seiner Evapotranspiration sowie den Windverhältnissen ergibt. Die Evapotranspiration selbst ist abhängig von der Größe der pro  $m^2$  Boden transpirierenden Blattfläche (BFI), von der ert- und zustandsspezifischen Intensität der Transpiration sowie vom Verdunstungsanteil des Bodens.

Abbildung 6 verdeutlicht den aus den durchgeführten Messungen abgeleiteten Zusammenhang zwischen dem Blattflächenindex und dem Strahlungssignal im thermischen Infrarotbereich bei Rüben- und Getreidekulturen. An einem windstillen und sonnigen Tag erreichen in den späten Mittagsstunden die Lufttemperatur, die Transpiration und die Oberflächentemperatur des Bodens ihre maximalen Werte. Da durch die Transpiration eine Abkühlung der Pflanzenbestände verursacht wird, stellen sich während der Mittagszeit i. a. die größten Temperaturdifferenzen zwischen den Beständen und den erwärmten Böden ein. Aus diesen Temperaturunterschieden kann man Schlüsse auf den Umfang des Assimilationsapparates und die Intensität der Transpiration von Beständen ziehen.

Abbildung 7 zeigt 4 Beispiele für konkrete, mit dem Radiometer vom Hubschrauber aus gemessene Signaturen. Deutlich prägen sich dabei die hier diskutierten Ursachen im gesamten spektralen Verlauf der Signaturen aus. Faßt man - wie bei den biogeographischen Untersuchungen - Umfang und Leistungsfähigkeit des Assimilationsapparates sowie die Menge der akkumulierten Assimilationsprodukte als Maß für die Produktivität eines Bestandes auf, so läßt sich insgesamt ableiten, daß ein Bestand umso produktiver ist, je niedriger die Werte der spektralen Signatur bei der Chlorophyllabsorption, bei den Wasserabsorptionebenen und im thermischen Infrarot sind und je höhere Werte das (nahe) Infrarot-Reflexionsniveau annimmt. Dieses im folgenden als Produktivitätskriterium bezeichnete Kriterium wurde auf die über den Trassen gewonnenen spektralen Signaturdaten angewandt, um die in den Meßtrassen liegenden Bestände hinsichtlich ihrer Ertragsbildung zu bewerten.

Auf Grund des Einflusses der Bestandsarchitektur auf die spektrale Signatur wurden dabei die in den Trassen vorkommenden Architekturtypen (Getreidekulturen, Rübenkulturen) getrennt behandelt. Die Unterscheidung von Rüben und Getreidekulturen, unabhängig von Bedeckungsgrad und Zustand, ist auf Grund der bereits diskutierten Unterschiede in der Bestandsarchitektur mit Hilfe der spektralen Signaturen im nahen sowie thermischen Infrarot verhältnismäßig genau möglich. In Abbildung 8 sind die zu unterschiedlichen Rüben- und Getreidekulturen (mit Deckungsgradunterschieden von 10 ... 100 %) gehörenden Meßpunkte im zweidimensionalen Merkmalsraum dargestellt. Die Komponenten des Merkmalsraumes wurden durch die Spektralbereiche des nahen ( $S_4$ ) und thermischen ( $S_3$ ) Infrarots gebildet. Die zu Rüben oder Getreidekulturen gehörigen Meßpunkte konzentrieren sich mit sehr geringer Streuung um die beiden Ausgleichskurven, deren Abstand zueinander groß genug ist, um eine exakte Trennung der zu Rüben und Getreidekulturen gehörenden Meßpunkte vorzunehmen.

Das formulierte Produktivitätskriterium wurde nun, wie folgt, konkretisiert und zur Aufspaltung einer Menge von spektralen Signaturwerten in zwei Anteile benutzt, die einen produktiveren und einen weniger produktiven Objektzustand repräsentieren: Sind die spektralen Signaturwerte eines Objektes in den Kanälen 3,7 und 8 niedriger als die Mittelwerte der Signaturwerte der zu binärisierenden Objektmenge in diesen Kanälen und ist der spektrale Signaturwert im Kanal 4 höher als der Mittelwert im Kanal 4, so erfolgt eine Einordnung in den vitaleren Anteil. Bei Nichterfüllung der Bedingung wird das Objekt dem weniger vitalen Anteil zugeordnet. Dieses Kriterium wird hierarchisch so lange auf die Menge der Objekte angewandt, bis in jedem Hierarchiezweig nur noch ein

Objekt enthalten ist oder die noch vorhandenen Objekte nicht mehr getrennt werden können. Im Ergebnis entsteht eine Rangfolge von Objekten bzw. Objektgruppen bezüglich ihres Produktivitätsgrades.

In einem ersten Durchgang wurden als Objektmenge diejenigen spektralen Signaturwerte zusammengefaßt, die auf Getreide- und Rübenkulturen entsprechenden Trassenstücken lagen. In einem zweiten Durchgang wurden die beiden Trassen jeweils in zwei etwa gleich lange Teilstücke zerlegt und unabhängig voneinander mit dem Clusteralgorithmus KMEANS in jeweils 10 Klassen geclustert. Dabei wurden sowohl die Clustermittelwerte in allen 8 Kanälen als auch die Verteilung der Cluster über den Flugtrassen angegeben. Diejenigen Cluster, die den Rüben- bzw. Getreidekulturen entsprechen, bilden dann die Objektmenge für die Anwendung des Produktivitätskriteriums. In beiden Fällen entsteht eine Rangfolge von Objekten, die mit dem auf beiden Trassen vorkommenden maximal produktiven Objekt (oder Objektmenge) beginnt und mit dem minimal produktiven Objekt (oder Objektmenge) endet. Zur Qualifizierung dieser Aussagen wurden die mittleren Bodenmeßdaten von Etalonflächen ausgewählter Stützstellen dieser Rangfolge so zugeordnet, daß die Bodenmeßwerte für minimale und maximale Bestandesqualität eines Etalonanteils dem niedrigsten bzw. höchsten Rangplatz dieses Etalonfeldes entsprechen. Ließen sich zu einem Rangplatz Bodenmeßdaten aus mehreren Etalonflächen zuordnen, wurde der Mittelwert gebildet.

Die Abbildungen 9a und 9b zeigen die Ergebnisse der hierarchischen Anwendung des Produktivitätskriteriums auf die durch Clusterung gebildete Objektmenge. Bei der Anwendung des Vitalitätskriteriums auf die Clustermenge (bei Getreidekulturen 15 Cluster, bei Rübenkulturen 6 Cluster) ergeben sich 6 bzw. 3 Rangplätze. Die Rangfolge von Clustern entspricht jeweils von links nach rechts einem abnehmenden Produktivitätsgrad. Die den Clustern entsprechenden Objekte wurden durch geometrische Zuordnung identifiziert, im Fall von mehrfachem Auftreten in der Rangfolge je nach Rangplatz mit "min" (minimale Produktivität), "med" (mittlere Produktivität) und "max" (maximale Produktivität) gekennzeichnet und den Clustern zugeordnet. Die ermittelten Rangfolgen befinden sich in völliger Übereinstimmung mit der Rangfolge der aus Bodenmeßdaten ableitbaren Kennwerte der Ertragsbildung, wie Biomasse oder Blattflächenindex (Ab. 10).

#### Räumliche Differenzierung der Ertragsbildung im Untersuchungsgebiet

Die Flugtrassen waren so angelegt worden, daß durch sie das Fleckenmuster von Standorten maximaler und minimaler Produktivität innerhalb der einzelnen Ackerschläge repräsentativ aufgenommen werden konnte. Deshalb erschien es möglich, aus den Flächenanteilen der einzelnen Rangplätze des Produktivitätsgrades innerhalb der Trasse auf die räumliche Differenzierung der Ertragsbildung in den Ackerschlägen insgesamt zu schließen sowie aus dem gewichteten Mittel des Produktivitätsgrades eine Gesamtkennzeichnung der pflanzlichen Stoffproduktion für den jeweiligen Ackerschlag abzuleiten.

Wie man sieht (Abb. 11), sind die höchsten Produktivitätswerte bei Winterweizen allein im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes zu finden. Bei Sommerkulturen (Gerste, Hafer, Zuckerrüben u. a.) kann man eine solche räumliche Konzentration hoher Produktivitäts-Rangplätze nicht feststellen. In beiden Fällen ist aber bemerkenswert, daß die niedrigsten Produktivitätswerte am Rand der Lößplatte, auf den Schlägen 36 und 58 (Winterweizen), auftreten. Eine Abschätzung des zu erwartenden Ertrages auf diesen Ackerflächen (Abb. 11) muß von den am Boden ermittelten biometrischen Daten ausgehen. Beim Winterweizen, der sich im Stadium der Milchreife befindet, wird sich die Ährenmasse nur unwesentlich erhöhen, so daß von der Ährenmasse direkt auf die möglichen Ertragshöhe geschlossen werden kann. Sommergerste und Hafer befinden sich im Stadium der Ährenschleife, so daß hier mit einer um etwa 30 % höheren Ährenmasse zum Erntetermin gerechnet werden muß.

Bei Rüben, die erst in das 5/6-Blatt-Stadium eingetreten sind, läßt sich ein Ertrag in Höhe der vier- bis fünffachen gegenwärtigen Blettmasse erwarten. Es ist selbstverständlich, daß diese Ansätze (nach SEIFERT 1981, PETR, ČERNÝ, HRUSKA 1983) insbesondere bei den Hackfrüchten nur Ertragsabschätzungen in erster Näherung zulassen. Dennoch ergibt sich daraus das gleiche Bild der räumlichen Differenzierung der Ertragsentwicklung wie bei der Interpretation der aus spektralen Signaturen ermittelten Produktivitätswerte. Höhere Ertragsenerwartungen (über 40 bzw. 50 dt/ha) bei Winterweizen konzentrieren sich auf den südlichen Teil des Untersuchungsgebietes, niedrigere bei Winterweizen auf den nördlichen Teil. Die niedrigsten Ertragsenerwartungen insgesamt sind wiederum auf den Schlägen 36 und 58 am Rand der Lößplatte zu verzeichnen. Da sich die Kennwerte der Bodenfruchtbarkeit auf dieser Platte nur wenig voneinander unterscheiden und auch die randlich gelegenen Ackerschläge ausreichend mit Dünger versorgt wurden (z. B. Schlag 58 mit 40 kg/ha Superphosphat), müssen andere Einflußfaktoren zur Interpretation dieser räumlichen Unterschiede in der Ertragsbildung herangezogen werden. Wahrscheinlich sind die Auswinterungsschäden nördlich des Windschutzstreifens, der die W-E- laufende Straße begleitet, höher als südlich davon. Wo der Windschutzstreifen endet, stellen sich auch niedrigere Produktivitätskennziffern beim Winterweizen südlich der Straße ein (Schlag 58). Darüber hinaus ist die Windoffenheit der Plattenränder generell zu beachten, die die Akkumulation der Assimilationsprodukte auf solchen Schlägen (36 und 58) mindert. Schließlich weist die Fleckigkeit der Schläge auch auf kleinräumige Unterschiede beim Ausbringen des Saat- bzw. Pflanzgutes hin.

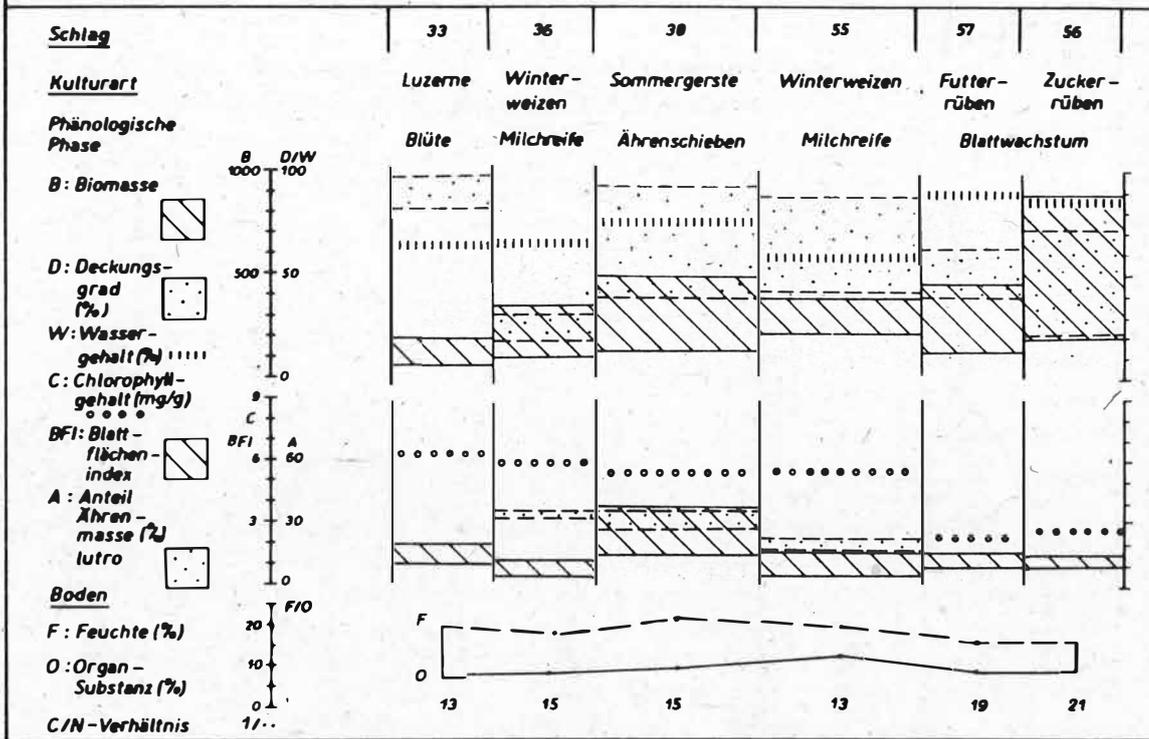
Generell läßt sich sagen, daß die räumliche Differenzierung der Ertragsbildung sich in den vom Flugzeug aufgenommenen spektralen Signaturen der Bestände in gleicher Weise wie in den terrestrisch ermittelten biometrischen Werten abbildet. Das heißt, daß bei Nutzung spektraler Meßwerte aus dem roten Bereich des sichtbaren Lichtes, aus dem nahen, mittleren und thermischen Infrarot eine approximierete Leistungsbewertung agrotechnischer Geosysteme möglich ist, die sich nutzflächenbezogen interpretieren läßt.

#### Literatur

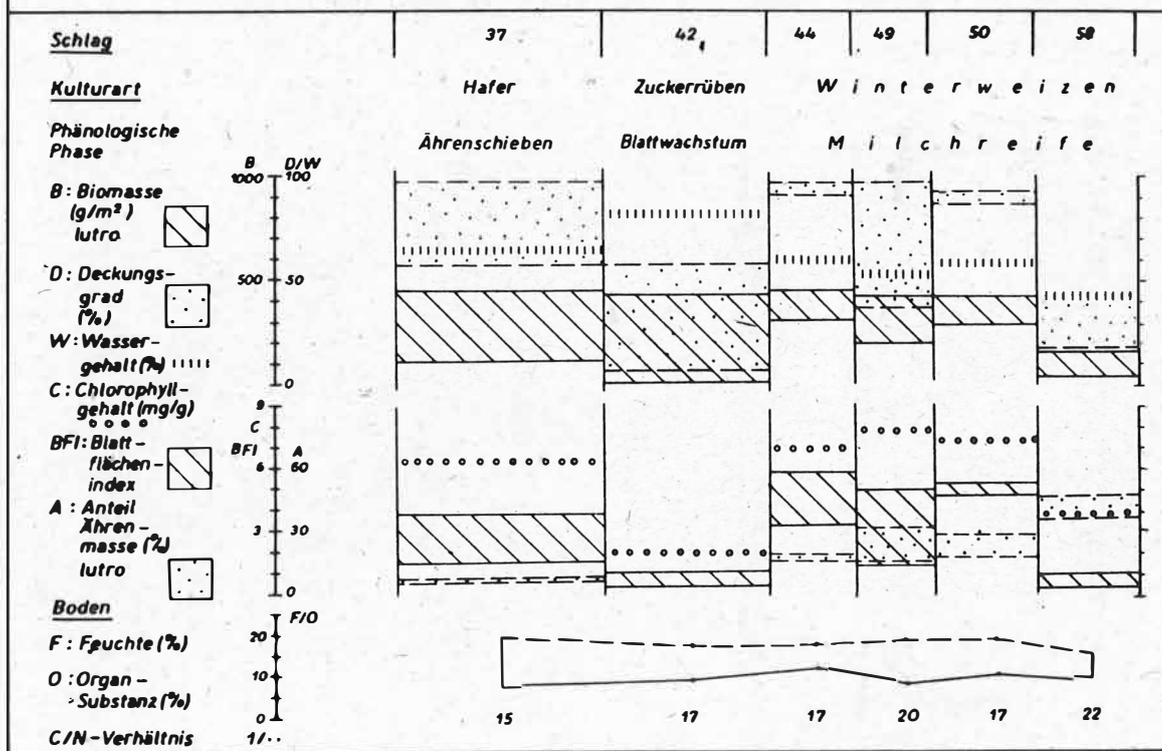
- /1/ BARSCH, H.; MAREK, K.-H.; SÜLLNER, R.; WEICHEL, H.:  
Investigation of spectral characteristics of natural objects in test sites of the GDR.  
Internationales Archiv der Photogrammetrie und Fernerkundung  
Band XXV, Teil A 7, Kommission VII, Rio de Janeiro 1984, S. 75 - 84
- /2/ BAUER, M.E.; VANDERBILDT, V.C.; ROBINSON, B.F.:  
Spectral properties of agricultural crops and soils measured from space; aerial and laboratory sensors.  
Internationales Archiv der Photogrammetrie und Fernerkundung  
Band XXIII, Teil B 7, Kommission VII, Hamburg 1980, S. 56 - 73
- /3/ DRŮZDOV, A.V.: Landschaftskundliche Aspekte bei Bilanzuntersuchungen.  
Petermanns Geographische Mitteilungen 122, 1978, 1, S. 13 - 16
- /4/ DRŮZDOV, A.V.; GRIN, A.M.; ANANIEV, I.P.; ANANIEVA, L.M.; RANNER, YU.L.; SAMARINA, N.N.:  
The central-chnozem reserve as a standard of unchanged nature  
In: Study and control of anthropogenic transformation of natural ecosystems  
Moscow 1980, S. 104 - 118
- /5/ EWALD, E.:  
V.v. Dokučeeva "Russki čarnozem" und seine Bedeutung für die Entwicklung der Bodenkunde und Geoökologie.  
Petermanns Geographische Mitteilungen 128, 1984, 1, S. 1 - 11



**Abb.2 Zustandsmerkmale von Boden und Nutzpflanzen im Kolchos Kirov südlich Kursk**  
(Aufnahme : 14.6. bis 25.6. 1985)



**Abb.3 Zustandsmerkmale von Boden und Nutzpflanzen im Kolchos Kirov südlich Kursk**  
(Aufnahme : 14.6. bis 25.6. 1985)



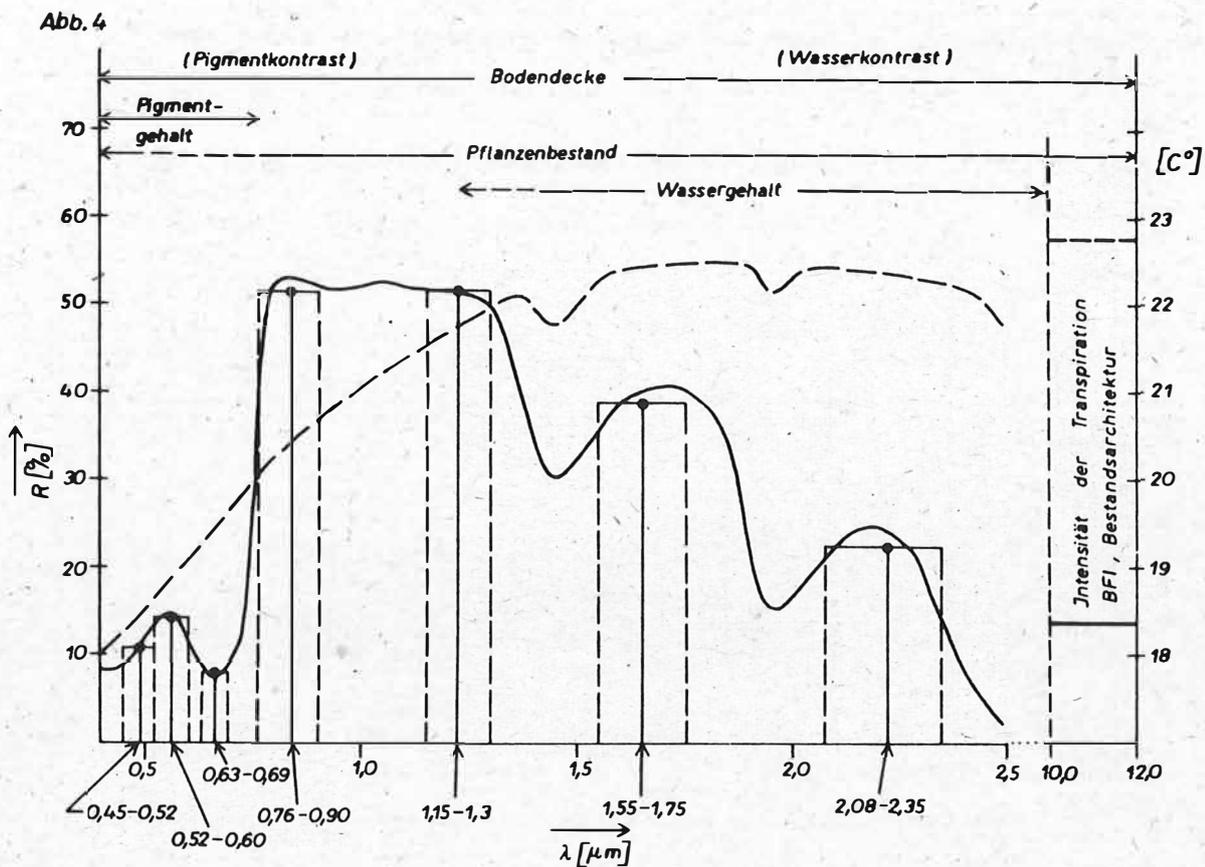


Abb. 4. Typischer spektraler Verlauf der Remission von vegetativen Objekten

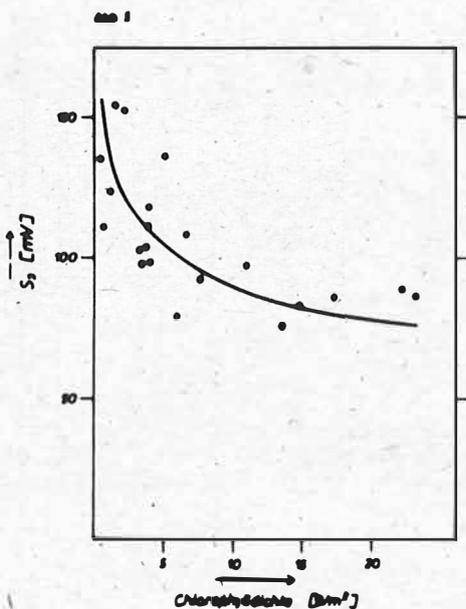


Abb. 5. Zusammenhang zwischen Chlorophyllidichte und Strahlungssignal im Kanal 3

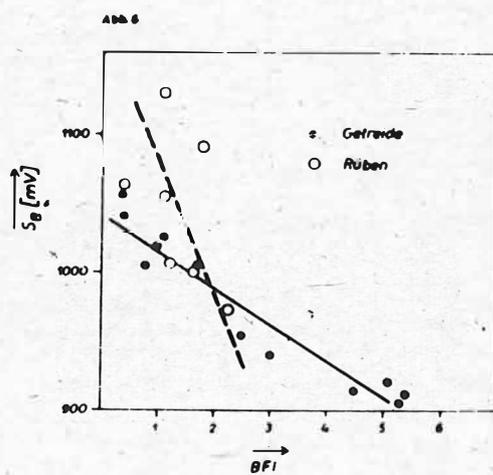


Abb. 6. Zusammenhang zwischen Blattflächenindex und Strahlungssignal im thermischen IR (Kanal 8)

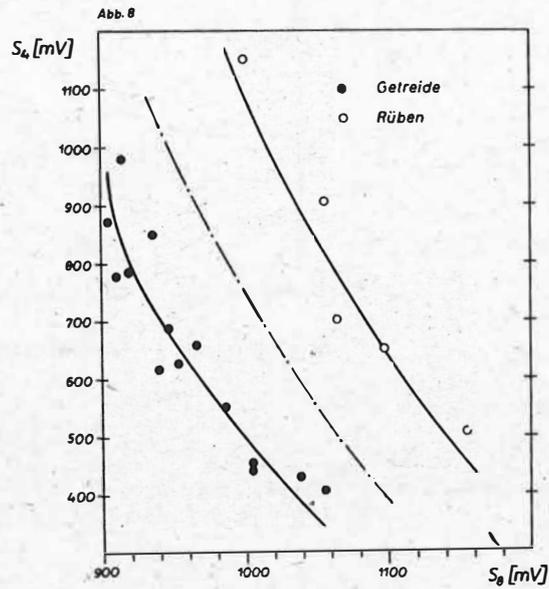
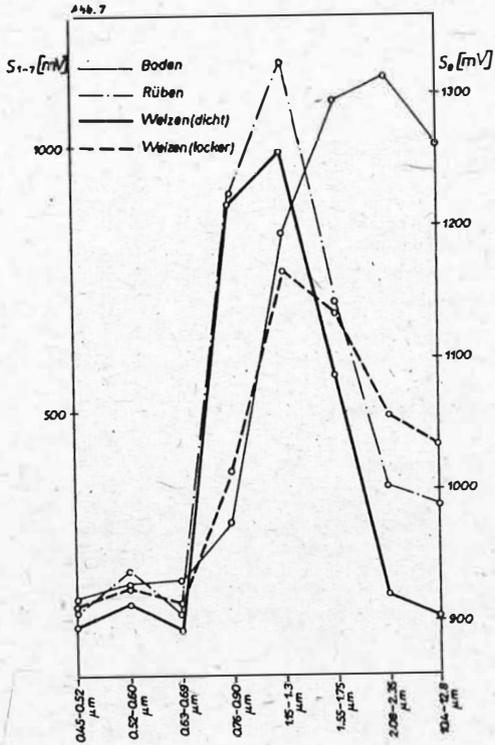


Abb. 7. Beispiele für verschiedene vom Hub-schrauber aus gemessene spektrale Signaturen

Abb. 8. Unterscheidung von Rübren- und Getreidekulturen im Merkmalsraum (S<sub>4</sub>; S<sub>8</sub>)

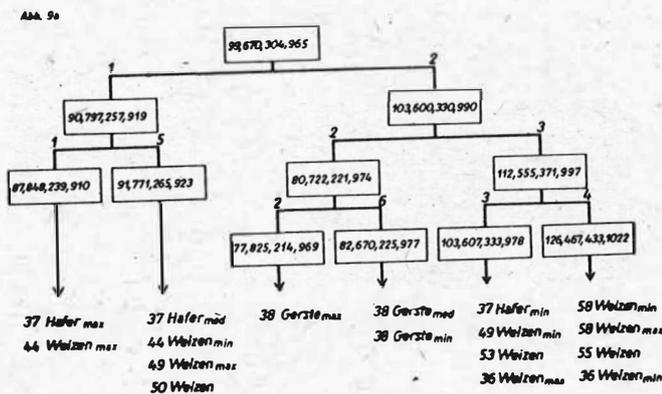


Abb. 9a. Ergebnisse der hierarchischen Anwendung des Produktivitätskriteriums auf die Objektcluster (Getreidekulturen)

Abb. 9b

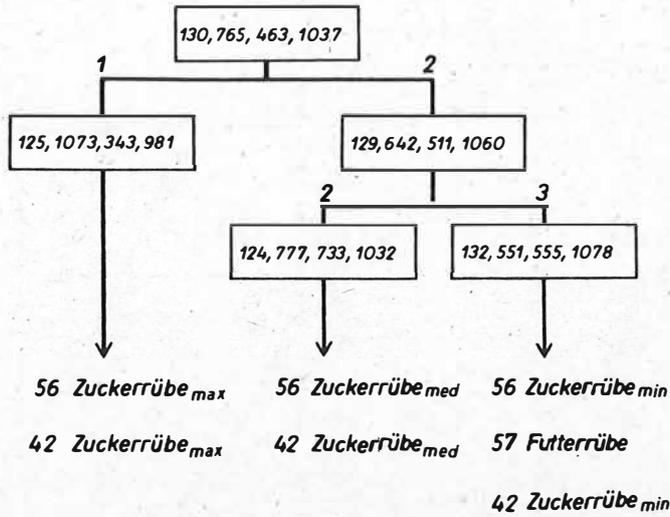
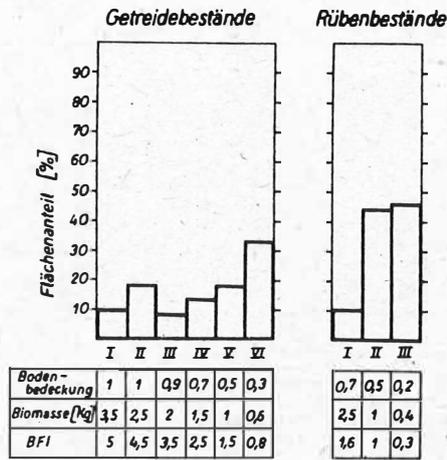


Abb. 9b. Ergebnisse der hierarchischen Anwendung des Produktivitätskriteriums auf die Objektcluster (Rübenkulturen)

Abb. 10

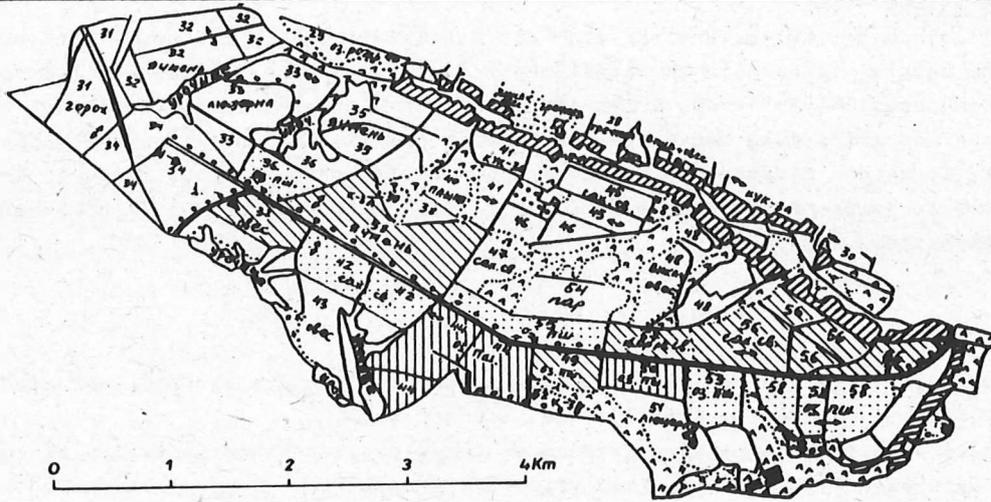


1) Weizen ; 2) Gerste, Hafer ; 3) Zuckerrübe ; 4) Futterrübe

Abb. 10. Vergleich der aus den Spektraldaten abgeleiteten Rangfolge der Produktivität mit den biometrischen Meßwerten der jeweiligen Kulturen

Abb.11 Räumliche Differenzierung der Ertragsbildung im Untersuchungsgebiet

Ertragsbildungs- klasse	G e t r e i d e					H a e c k f r ü c h t e		
	Schlag		Rang- Ziffer des Pro- duktivitäts- grades	Ertragsprognose(dt/ha)		Schlag		Ertragsprognose(dt/ha)
	Winter- weizen	Sommer- gerste Hafer		Winter- weizen	Sommergerste Hafer	Zucker- rüben	Futter- rüben	
 1	50,44		<2	> 50	> 40		<2	> 400
 2	49	37,38	2-4	40-50	30-40	56,57	2-3	300 - 400
 3	55,58, 36,53		>4	<40	< 30	42	>3	< 300



Zur Kennzeichnung der Vegetationsentwicklung aus der multitemporalen  
Dechiffrierung kosmischer Aufnahmen

K. KADEN

Pädagogische Hochschule "Karl Liebknecht" Potsdam

Zusammenfassung

Der vorliegende Artikel orientiert sich auf die Erfassung von Zustandsveränderungen land- und forstwirtschaftlicher Nutzflächen auf der Grundlage kosmischer multispektraler Scannerdaten. Es werden Ergebnisse von methodischen Untersuchungen zur rechnergestützten Dechiffrierung von Fernerkundungsdaten mit hoher zeitlicher Auflösung vorgestellt. Durch den Einsatz von Quotienten und Differenzen, die auf linearen Kombinationen der aufgezeichneten Kanäle beruhen, werden Möglichkeiten zur Erfassbarkeit von Nutzungszuständen untersucht.

Summary

The paper deals with the registration of changes of effective agricultural and forest areas by help of spaceborne multispectral scanner data. The results of methodical investigations of computer-aided interpretation of remote sensing data with high temporal resolution are presented. Using quotients and differences which are based on linear combinations of the recorded spectral bands possibilities for the recognition of different states of the effective areas are investigated.

Резюме

На основе космических многозональных сканерных данных исследуются изменения состояний сельскохозяйственных и лесохозяйственных полезных площадей. С высоким временным разрешением)показываются результаты методических исследований машинного дешифрирования данных дистанционного зондирования. Используя методы частных и разностей, которые основываются на линейных комбинациях регистрируемых каналов, исследуются возможности распознавания состояний полезных площадей.

Die Nutzung von Daten der Fernerkundung für die Kontrolle des Zustandes land- und forstwirtschaftlicher Nutzflächen ist (nicht nur in der DDR) von großem volkswirtschaftlichem Interesse, denn aus Fernerkundungsdaten können nicht nur Aussagen über die Ertragsentwicklung in der Landwirtschaft abgeleitet werden (insbesondere zur Erntezeitprognose (vgl. AMBROZUK 1984), sondern es lassen sich daraus auch Schadstellen in Land- und Forstwirtschaftsgebieten ermitteln, seien sie durch Schädlingsbefall, durch Bodenerosion, Bodenvernässung oder Bodenkontamination bedingt. Das kann detailliert für einzelne Gebiete mittels Flugzeugaufnahmen erfolgen. Damit wird ein großräumiger Überblick jedoch nicht ersetzt. Er kann mit relativ geringem Zeitaufwand nur durch die Auswertung kosmischer Daten der Fernerkundung erbracht werden. Auf dieser Grundlage wird es möglich, Zustandsveränderungen kurzfristig zu erfassen und somit Prozeßabläufe in stärkerem Maße operativ zu steuern.

Die angewandte Dechiffrierungsmethodik baut auf folgende Grundgedanken auf:

1. Der multitemporale Ansatz ist für das Erfassen von Prozeßabläufen notwendig.
2. Die Einbeziehung thermischer Spektralbereiche ist für die Zustandsbeschreibung der land- und forstwirtschaftlichen Kulturen wesentlich.
3. Für eine rasche Dechiffrierung von Fernerkundungsdaten zum Nutzungszustand bieten sich Quotienten von spektralen Strahldichtewerten an, die auf linearen Kombinationen der aufgezeichneten Kanäle beruhen; dabei bewirken
  - a) Relationen zwischen den verschiedenen registrierten Kanälen die Unterscheidbarkeit von Kulturarten und die Erfassbarkeit von Zustandsmerkmalen bzw. -unterschieden;
  - b) Veränderungen von Relationen der Strahldichtewerte innerhalb gleicher Kanäle während verschiedener Aufnahmetermine die Erkennbarkeit von Prozeßabläufen.

Als Arbeitsgrundlage dienen hauptsächlich Daten der Wettersatelliten NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Sie arbeiten mit Sensoren der AVHRR-(Advanced Very High Resolution Radiometer)Baureihe. Für eine Rahmentechnologie, die Prinziplösungen vorstellt, sind folgende Eigenschaften dieser Wettersatellitendaten von Bedeutung:

1. Sie erfassen ein sehr großes Aufnahmegebiet, so daß die Beobachtung des gesamten Territoriums der DDR möglich ist.
2. Multitemporale Arbeitsansätze werden durch das Überfliegen und Aufnehmen eines Gebietes in Zeitintervallen bis zu minimal ca. 12 h möglich.
3. Es werden neben den sichtbaren und nahen infraroten Spektralbereichen auch thermische Wellenbereiche registriert. AVHRR-Sensoren beispielsweise erfassen die Kanäle

K 1	0,55 - 0,68 um
K 2	0,725 - 1,10 um
K 3	3,55 - 3,93 um
K 4	10,3 - 11,3 um
K 5	11,5 - 12,5 um.

Diesen Vorteilen steht das schlechtere geometrische Auflösungsvermögen gegenüber. Die damit verbundene Problematik sollte jedoch zunächst ausgeklammert und lediglich eine gebietsbezogene Interpretation des Entwicklungsstandes von Flächennutzungsarten mit hohem Flächenanteil angestrebt werden. Man kann davon ausgehen, daß die abgeleiteten Befunde zum Zustand land- und forstwirtschaftlicher Nutzflächen bei zukünftigen Aufnahmesystemen mit höherer geometrischer und gleicher spektraler Auflösung reproduzierbar sind und räum-

lich konkreter gefaßt werden können. Grundlage der Untersuchungen zur Dechiffrierungsmethodik waren die folgenden NOAA-Szenen:

Typ	Aufnahmedaten	Zeit	Aufnahmekanäle
NOAA 6	7. 8. 1981	7.24.59 Uhr	1, 2, 3, 5
NOAA 7	7. 9. 1981	12.58.25 Uhr	1, 2, 3, 5
NOAA 7	13. 5. 1982	13.18.23 Uhr	1, 2, 3, 5

Als Testgebiet wurde der nördliche Teil des Territoriums der DDR gewählt. Die südliche Grenze wird ungefähr durch die Linie Halberstadt - Cottbus bestimmt. Zunächst wurde eine Transformation mittels Paßpunktverfahren (Transformationspolynom 3. Ordnung) durchgeführt. Dabei wurden alle Aufnahmen deckungsgleich zur Aufnahme vom 7. 8. 1981 transformiert. Dadurch wurden die Voraussetzungen für eine multitemporale Auswertung geschaffen.

Für die Bestimmung des Zustandes land- und forstwirtschaftlicher Nutzflächen sind weniger die absoluten Größen der vom kosmischen Sensor erfaßten Strahldichtewerte, sondern vielmehr die Relationen zwischen den Strahldichtewerten in den einzelnen Spektralbändern für die Interpretation von Interesse, da die objektspezifischen Absolutwerte der Strahldichte durch unterschiedliche Einflüsse (Trübung der Atmosphäre u. a.) modifiziert werden. Diese Relationen können durch das Bilden von Quotienten erfaßt werden. Dabei bieten sich sowohl einfache Quotienten ( $V_Q$ ) als auch normierte Quotienten, wie z. B. der von MIGUET, BARET und GUYOT (1983) vorgestellte Vegetationsindex, an. Bei den Untersuchungen wurden die relativ wenig Aufwand erfordernden einfachen Quotienten ( $V_Q$ ) verwendet. Zwischen den vier aufgezeichneten Spektralkanälen wurden alle möglichen Quotienten

$$Q_A = \frac{K_1}{K_2}; \quad Q_B = \frac{K_1}{K_3}; \quad Q_C = \frac{K_1}{K_5}; \quad Q_D = \frac{K_2}{K_3}; \quad Q_E = \frac{K_2}{K_5}; \quad Q_F = \frac{K_3}{K_5}$$

berechnet. Grundlage der Analyse waren neben den Relationen der Strahldichtewerte zwischen den verschiedenen registrierten Kanälen auch Relationen, die die Veränderung der Strahldichtewerte innerhalb eines Kanals während verschiedener Aufnahmetermine widerspiegeln. Während die zuerst genannten primär eine Differenzierung von Flächennutzungseinheiten bewirken (obwohl Unterschiede auch verschiedene Entwicklungszustände dokumentieren), dienen die zuletzt genannten hauptsächlich dem Erfassen von Entwicklungszuständen und ablaufenden Prozessen innerhalb einzelner Flächennutzungsarten. Dies kann durch das Bestimmen von Differenzbildern realisiert werden.

Alle Ergebnisse wurden zunächst an Etalonflächen getestet. Dazu dienten Flächen, die neben den Objektklassen

- Wald (Schorfheide)
- Wiese (Havelluch, Friedländer Wiese)
- Acker 1 (Altmark, Lößgebiet der Magdeburger Börde)
- Acker 2 (Jungmoränengebiet im Raum Greifswald-Neubrandenburg)

zum Vergleich auch die Klassen

- offenes Gewässer (Ostsee NW und NO Rügens)
- küstennahe Gewässer (Greifswalder Bodden, Oderhaff)
- Binnengewässer (Müritz, Schweriner See, Kummerower See)
- Siedlung (Berlin)

erfaßten. Anschließend wurden die Ergebnisse auf die Gesamtszene flächendeckend übertragen.

Nachfolgend sollen die Ergebnisse am Beispiel des Quotienten  $Q_A$  dargestellt werden; dabei betrachten wir zuerst die Szene vom 7. 8. 1981:

Das Grünland in der Großen Friedländer Wiese erbrachte Quotienten um 0,5. Nur geringfügig höhere Werte (0,6) hatten Gebiete der Testfläche des Ackerlandes im Raum Greifswald, was auf einen noch hohen Begrünungsgrad schließen läßt. Nur vereinzelt treten innerhalb der Testfläche höhere Quotientenwerte zwischen 0,7 und 0,8 auf. Diese dokumentieren die dimensionsbedingte innere Homogenität der Etalonfläche beim vorliegenden Auflösevermögen. Infolge der kühlen und feuchten Witterung im Juli 1981 war der Reifeprozess des Getreides i. A. noch nicht eingetreten und die Hackfrüchte in vollgrünem Zustand. Nur vereinzelt wird die Reife des Wintergetreides angezeigt. Dagegen traten im Ackerland bei Magdeburg ausschließlich Quotienten um 0,7 - 0,8 auf. Dies belegt die Homogenität der Testfläche zum Aufnahmezeitpunkt. Die Reife des Getreides war schon weiter fortgeschritten. Es war erntereif. Eine einheitlichere Flächennutzung fällt auf. Charakteristische Werte der Quotienten für die Etalonfläche Wald liegen im Bereich zwischen 0,8 und 0,85. Der vorherrschende Kiefernwald in der Schorfheide zeigt die typischen niedrigen Infrarot-Remissionswerte der Nadelbäume. Dies führt zu den höheren Quotienten. Der Wald hob sich dennoch deutlich von den größeren Städten ab, wo Quotienten um 1,0 auftraten. Dabei hatte die Testfläche Berlin eine logische innere Struktur. Die zentralen Gebiete des innerstädtischen Bereichs werden durch Quotientenwerte von 1,0 bis 1,1 gekennzeichnet. Die Begrünungszonen der Randgebiete im SE, SW und NW haben dagegen nur Werte von 0,75 bis 0,9. Deutlich höher liegen die Quotientenwerte für die Gewässer. Allerdings ist eine Unterscheidung der verschiedenen Gewässerklassen kaum möglich. Ihr Quotientenwert liegt bei 1,3. Er wird durch die deutlich niedrigeren Remissionswerte im Infrarotbereich hervorgerufen.

Ausgehend von dieser Charakteristik und durch die innere Struktur des Histogramms der Szene wurde die Ausgliederung folgender Flächennutzungsklassen vorgenommen (vgl. Tab. 1).

Tabelle 1 Quotientenwerte ausgewählter Nutzungsklassen /NOAA 7. 8. 1981

Klasse	$Q_A$
Grünland	0,40 - 0,56
Acker (grün)	0,56 - 0,72
Acker (reif)	0,72 - 0,77
Wald	0,77 - 0,92
Stellung	0,92 - 1,10
Wasser 1	1,10 - 1,32
Wasser 2	1,32 - 1,56

In Abb. 1 ist die räumliche Verbreitung der Klassen dargestellt. Dabei bedeuten niedrige Quotientenwerte ein weites Punkteraster und hohe Werte die größte Punktdichte. Gleichzeitig ist die Lage der Testflächen markiert. Es wird sehr deutlich, daß im Norden des Tieflandes der DDR hellere Flächen dominieren. Es zeichnen sich nicht nur die grundlandbedeckten feuchten Niederungen durch helle Streifen, wie z. B. die Flußauengebiete von Recknitz, Trebel und Peene, ab bzw. die flächigen Areale der Friedländer Wiese, der Lewitz oder an der Peenemündung, sondern auch die dazwischenliegenden Areale bleiben hell. Hieraus leitet sich ein zeitlicher Verzug der Getreideentwicklung (noch nicht eingesetzte Reife) für viele Gebiete in den Bezirken Rostock, Neubrandenburg und Schwerin ab. Auch in den mittleren Bezirken zeichnen sich zunächst deutlich die intensiv begrüneten Niederungsgebiete wie Rhinluch, Havelländisches Luch, Fiener Bruch oder die ausgedehnten Niederungen der Flüsse Milde, Jeetze, Secantsgraben u. a. in der nördlichen Altmark ab. Diese heben sich noch

deutlicher von den anderen Flächen ab, die durch ihr dichteres Punkteraster den fortgeschrittenen Reifeprozess belegen und sich somit klar von den stark begrünten Flächen der Niederungen unterscheiden. Schwierigkeiten der eindeutigen Abgrenzung bestehen dagegen zwischen diesen Ackerflächen und Nadelwald. Deutlich heben sich wieder die großen Städte ab (vgl. Berlin, Magdeburg). Sie unterscheiden sich auch gut von den flächig ausgebildeten Gewässern (Bodden, Müritzer See, Schweriner See, Kummerower See, Plauer See). Lediglich linear ausgebildete Gewässer wie Tollensesee, die Havelseen oder die Elbe werden in gleichen Rastern dargestellt. Durch ihre Linienhaftigkeit sind sie jedoch gut zu unterscheiden. Ursachen dafür liegen in der Bildung von Mischpixel, die bei dem vorliegenden ungünstigen Auflösungsvermögen für solche linear geprägten Gebilde auftreten. Schwer zu deuten sind die innerhalb der Ostsee sich abzeichnenden Strukturen. Die dunklen Gebiete hoher Quotientenwerte treten in geschlossenen Arealen in Küstennähe auf und markieren dort z. T. besondere Standorte (z. B. KKW am Greifswalder Bodden bei Greifswald/Lubmin, Küstengewässer nahe Wolgast, Barth und Rostock). Ursachen könnten durch unterschiedliche Wasserqualitäten (z. B. Temperatur, Reinheit, Salzgehalt) und/oder durch Strömungsunterschiede gegeben sein. Da Aussagen dazu nicht primär von Interesse waren, sind diese Differenzierungsmöglichkeiten nicht weiter untersucht worden.

Verfahren zur Dechiffrierung multispektraler Scannerdaten, die auf lineare Kanalkombinationen aufbauen, können auch der Erfassung von Prozeßabläufen zugrunde gelegt werden. Dabei können zunächst für jede zur Prozeßbeschreibung ausgewählte Szene getrennte Auswertungen nach obigem Muster vorgenommen werden. Als ein einfaches Maß der Veränderung bieten sich Differenzen zwischen den Quotienten der zeitlich aufeinanderfolgenden Szenen an. Sie können Grundlage einer weiterführenden rechnergestützten Auswertung sein. Ein erster Ansatz für die Interpretation von Prozeßanalysen ist über den Vergleich der mittleren Merkmalsausprägungen möglich. Durch die Verwendung dieser Mittelwerte werden durchschnittliche flächennutzungsartspezifische Veränderungen erfaßt. Diese sind besonders geeignet, um tendenzielles Verhalten zu beschreiben. Diese Analyse geht über die Zustandserfassung und -beschreibung nicht hinaus und sollte daher als Interpretation von Verhaltensweisen angesehen werden. In Abb. 2 sind für den Quotienten  $A_A$  die über die Mittelwerte gekennzeichneten Zustände zu den drei ausgewählten Zeitpunkten  $t_1 - t_3$  dargestellt und die Veränderung linear erfaßt. Dabei ergaben sich für die ausgewählten Flächennutzungsarten folgende Merkmale:

- 1) Die Nutzklasse Grünland hat für alle Aufnahmetermine die niedrigsten Quotientenwerte. Sie sind auch vom Betrag her ähnlich. Hervorgerufen werden diese Werte vor allem durch hohe Remissionswerte im Infrarot. Analysiert man das Verhalten der Quotientenwerte zu den unterschiedlichen Aufnahmeterminen, so werden sie durch ein proportionales Anwachsen der Werte in beiden Kanälen gekennzeichnet (dadurch bleiben die Werte gleich). Versucht man sich an einer Begründung (d. h. Hineininterpretieren einer Veränderung), so sind durch den Quotienten stabile Zustände dokumentiert, die den gleichartigen Begrüpfungszustand der Niederungsgebiete an den ausgewählten Aufnahmeterminen widerspiegeln. Die Unterschiede, die in den einzelnen Aufnahmekanälen registriert werden, sind bei proportionalen Änderungen nicht erfaßbar. Dies bringt die Erkenntnis, daß Quotienten die in den Einzelkanälen vorhandene Information nicht maximal wiedergeben und somit ablaufende Prozesse nur unvollkommen erfaßt werden. Die deutlich höheren Werte in den beiden Spektralkanälen im Mai sind durch die Phänologie begründet. Die geringen Unterschiede zwischen August und September können aufnahmebedingte Unterschiede sein.

- 2) In den Ackermusterklassen bilden sich drei Gruppen der Quotientenwerte ab. Beide Musterklassen haben ähnlich niedrige Quotienten für den Aufnahmezeitpunkt im Mai 1982. Hohe Remissionswerte im Infrarot charakterisieren sie. Die zweite Gruppe etwas höherer Werte bilden die Ackerflächen im Norden für die beiden anderen Aufnahmetermine. Sie unterscheiden sich allerdings deutlich in ihren kanalspezifischen Spektralwerten. Und schließlich kann man für die Ackerklasse des Binnentieflandes für beide Aufnahmetermine jeweils die höchsten Quotientenwerte für Äcker feststellen. Die Gründe für die Unterschiede leiten sich aus den verschiedenen Begrünungsphasen ab. Differenzen zwischen Frühjahr und Sommer werden ebenso sichtbar wie zwischen küstennahen Bereichen und Binnentiefland. Ähnlichkeit der durchschnittlichen Quotienten täuscht aber hier stabiles Verhalten vor, welches der inneren Homogenität der Äcker nicht gerecht wird.
- 3) Der Wald wird durch einen Abfall des Quotientenwertes von August zu September gekennzeichnet. Im Mai steigt der Wert auf das Maximum. Die Unterschiede zwischen August und September werden durch Änderung des Remissionsverhaltens im Infrarot hervorgerufen. Die höheren Quotientenwerte für das Frühjahr sind ein Zeichen der höheren Rot- und Infrarotremissionswerte während der Austriebsphase der Nadelbäume, die im Rotspektrum zur größeren relativen Erhöhung des Spektralwertes führt.
- 4) Wenig verändern sich die Quotienten außerhalb der agrarischen und forstlichen Nutzflächen. Man kann hierzu feststellen: Siedlungen haben verhältnismäßig stabile Quotientenwerte. Sie liegen zwischen denen der Gewässer und des Waldes. Die deutliche Abweichung der Spektralwerte im roten bzw. infraroten Kanal, deren Änderung proportional ist, liegt für den Aufnahmezeitpunkt Mai in den allgemeinen höheren Remissionswerten der innerstädtischen Grünflächen während der Belaubungsphase.
- 5) Die Nutzklassen der Gewässer haben in der Regel gleichbleibend hohe Quotientenwerte. Sie zeigen auch durch ihre Spektraleigenschaften in den beiden AufnahmeKanälen kaum Änderungen an und sind somit als allgemein stabil zu charakterisieren. Dabei entwickeln nur die Binnengewässer eine eigenständigere Verhaltensweise. Ihre Quotientenwerte, die allgemein etwas unter denen der beiden Musterklassen der Ostsee bleiben, unterscheiden sich besonders im Frühjahr. Sie gleichen sich in ihrer Ausprägung für diesen Zeitpunkt den Landnutzungsarten (besonders der Klasse Siedlung) an. Neben der Änderung des Quotientenwertes sind die Abweichungen in den einzelnen Spektralbändern zu beachten. Da das Verhalten zu diesem Aufnahmezeitpunkt gegenläufig ist zwischen Binnengewässer und Ostsee, verbessern sich die Differenzierungsmöglichkeiten. Ursachen dürften die temperaturbedingten Schichtungsunterschiede zwischen Frühjahr (Labilität) und Sommer (Stabilität) sein, die sich in unterschiedlichen Remissionseigenschaften niederschlagen.

Bei einer allgemeinen Betrachtung zeichnen sich die folgenden Gruppierungen nach Quotientenwerten ab:

1. Wiese zu allen Terminen, beide Ackerklassen im Frühjahr
2. Wald im September, Acker im Norden im August und September
3. Wald im August und Acker des Binnentieflandes im August und September
4. Siedlung zu allen Aufnahmetermen, Wald im Mai
5. Binnengewässer im Frühjahr
6. Gewässer zu allen Aufnahmetermen, außer 5.

Diese Gruppierung ließ brauchbare Ergebnisse für die Beschreibung von Veränderungen zwischen den diskreten Zuständen durch den Einsatz einfacher Differenzen erwarten. Dabei wurden wegen der unterschiedlichen Zuordnung der Äcker in die einzelnen Gruppen die Analysen

für diese Etalons vorgenommen. Zur Verbesserung der Aussagemöglichkeit über die innere Struktur wurde eine bildpunktbezogene Untersuchung durchgeführt. In Abbildung 3 sind für ausgewählte Abschnitte der Etalonflächen Acker 1 und Acker 2 diesbezüglich die Ergebnisse dargestellt. Betrachtet man die Differenzen, die die Veränderung erfassen, so ergeben sich drei Gruppen:

1. Es treten negative Werte um -30 bis -50 im Mittel auf. Für den Vegetationsquotienten  $Q_A$  bedeutet dies, daß ein Abbau von Chlorophyll stattgefunden hat. Somit sind sie ein Zeichen für das Eintreten der Reife und/oder Ernte. Dabei sind Differenzierungsmöglichkeiten durch die unterschiedlichen Beträge der Differenzen gegeben, die dann das Fortschreiten dieses Grundprozesses charakterisieren und modifizieren.
2. Es treten positive Werte (meist um 40) auf, die einen Chlorophyllaufbau und damit eine Begrünung von Flächen anzeigen. Auch hier deuten sich durch die unterschiedlichen Beträge weitere Differenzierungsmöglichkeiten an, z. B. Eintritt Reife oder Durchführung der Ernte.
3. Beträgsmäßig kleine Differenzwerte treten auf. Diese dokumentieren eine Stabilität, gegebenenfalls einen Verharrungszustand.

Beschreibt man die abgelaufenen Veränderungen, so heißt dies, daß die im August noch begrünten Ackerflächen im Norden sich jetzt im Reife- und Erntezustand befinden. Diese Flächen dominieren (ca. 55 %). Auf den im August als erntereif ausgewiesenen Flächen hat bereits wieder eine Begrünung eingesetzt, d. h. die Zwischenfrüchte sind aufgegangen (ca. 40 %). Nur wenige Bereiche haben einen gleichbleibenden begrünten Zustand (5 %), was Hackfrüchte (Rüben) vermuten läßt. Betrachtet man dagegen die Äcker des Binnentiefenlandes, so zeigen die beiden Aufnahmetermine ähnliche Grauwerte. Dies belegt die Stabilität des Zustandes allgemein. Veränderungen treten nur in einigen Gebieten (ca. 30 %) auf. Sie fallen durch betragsgrößere negative Werte auf. Die belegen den Erntevorgang; das heißt, daß die im August erntereifen Äcker (Grauwerthäufung um 60 - 70) abgeerntet wurden (Grauwert 80 - 90). Der homogene Zustand der Testfläche weist sie als generell abgeerntet aus, wobei die größeren Flächenanteile den gleichen Zustand bereits im August hatten. Nimmt man noch den dritten Aufnahmetermin dazu, so belegen die hohen positiven Differenzwerte für beide Etalonflächen die allgemein eingetretene Begrünung. Nur ganz vereinzelt treten Abweichungen auf. Diese sind durch den Schnitt des Futtergetreides im Frühjahr und die Nutzung dieser Flächen für den Hackfruchtanbau erklärbar. Die jährliche Rhythmik der Flächennutzung landwirtschaftlicher Standorte wird damit erkennbar.

Zusammenfassend kann man folgendes feststellen:

1. Quotienten oder Indizes der spektralen Strahldichtewerte, die von kosmischen Sensoren aufgenommen worden sind, erlauben mit geringem Rechenaufwand und in komprimierter Form einen Überblick über den Entwicklungszustand land- und forstwirtschaftlicher Kulturen. Sie machen die Unterschiede im Tempo der Vegetationsentwicklung deutlich, zeigen die Wachstumsschäden oder -ausfälle an, die auf der Grundlage von Relationen zwischen der Remissionsstrahlung im roten Bereich des sichtbaren Lichtes und im optischen Infrarot sowie der Emissionsstrahlung im thermischen Infrarot dechiffrierbar sind.
2. Prozesse der Zustandsveränderung können durch den arealbezogenen multitemporalen Zustandsvergleich an Hand der Differenzen zwischen Quotienten oder Indizes erfaßt und quantitativ gekennzeichnet werden. Diese Differenzen stellen ein rechnerlesbares Maß für die Entwicklung land- und forstwirtschaftlicher Kulturen dar.

3. Die inhaltliche Interpretation der Quotienten bzw. Indizes muß sich auf das vorhandene Wissen um die Spezifik des pflanzenphysiologisch bedingten Strahlungsumsatzes der Kulturpflanzen zum jeweiligen Aufnahmeterrain stützen. Verbesserungen in der Interpretationsqualität sind deshalb in hohem Maße vom Erkenntnisgewinn bei der Auswertung von Bodenmessungen sowie aerokosmischer Aufnahmematerialien aus methodischen Experimenten (z. B. Kurze<sup>2</sup>-85, Geoex-DDR-86) abhängig, die speziell dem Problem des Strahlungsumsatzes von Pflanzen gewidmet sind. Schon jetzt zeichnet sich ab, daß neben Remissionswerten im roten Bereich des sichtbaren Lichtes und im nahen Infrarot die Wasserabsorptionsbanden im mittleren Infrarot und die Emission im thermischen Infrarot beachtet werden müssen.
4. Der Arealbezug der Interpretation kann durch die räumliche Zuordnung der einzelnen Quotienten bzw. Indizes zu der Flächengliederung in vorhandenen terrestrischen Unterlagen (topographische Karten) bzw. zu den Ergebnissen manuell-visueller oder rechnergestützter Nutzflächen-Kartierungen gegeben werden.
5. Die Praxiswirksamkeit der so erreichten Ergebnisse ist in der DDR in hohem Maße von der räumlichen Auflösung des Fernerkundungssystems abhängig. Es ist klar, daß die für operative Entscheidungen in der Land- und Forstwirtschaft der DDR notwendige Bodenaufklärung durch Wettersatelliten nicht gewährleistet wird. Für Erderkundungssatelliten, mit denen ein momentanes Blickfeld (IFOV) von ca. 30 m Kantenlänge erreicht werden kann, lassen sich unter den Bedingungen einer sozialistischen Großflächennutzung jedoch bereits Ergebnisse erwarten, die auf Betriebsflächen bezogen, ausgewertet werden können. In diesem Fall würde pro Pixel eine Fläche von rund 0,1 ha erfaßt werden. Außerhalb der DDR, in Entwicklungsländern, wären aussagekräftige Ergebnisse auch bei einer geringeren Bodenaufklärung ableitbar. Ein rascher Zugriff zu den Fernerkundungsdaten ist jedoch in beiden Fällen Voraussetzung für eine praxisverwertbare Interpretation.

#### Literatur

Ambroziak, R. A.: Global crop monitoring: an integrated approach. Bordeaux 1984

Barsch, H./Kaden, K./Wirth, H.: Zur Aussagekraft kosmischer Fernerkundungsdaten für die Landschaftsdiagnose im Tiefland der DDR. 3. Fernerkundungskonferenz der DDR Leipzig 1984. Tagungsband. Wissenschaftliche Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde der AdW

Barsch, H./Wirth, H.: Landnutzungskartierung im Tiefland der DDR auf der Grundlage von Satellitendaten. Vermessungstechnik 32. Jg. (1984), S. 222 - 228

Harnisch, G./Wirth, H.: Untersuchungen zur Nutzung digitaler Wetterbilddaten für Aufgaben der Geofernerkundung. Forschungsbericht (Zentralinstitut für Physik der Erde) Potsdam 1984

Kaden, K.: Ergänzung zur Rahmentechnologie zur Gewinnung und Darstellung thematischer Sachverhalte aus Fernerkundungsdaten - Zustandserfassung land- und forstwirtschaftlicher Nutzflächen. Forschungsbericht (Päd. Hochschule "KL") Potsdam 1985

Krönert, R. u. a.: Rahmentechnologie zur Erkundung von FN-Strukturen sowie Prinzipien zur Herstellung von FNA aus Luft- und Satellitenbildern. Forschungsbericht (Institut für Geographie und Geoökologie, Bereich Geofernerkundung und thematische Kartographie) Leipzig 1985

Miguet, J. N./Baret, F./Guyot, G.: Estimation de la production du bois à partir des mesures radiométriques des canaux 5 et 7 de Landsat. Resumes - Colloque International. Signatures Spectrales d'objets en détection. Bordeaux 1983

Schilbach, G.: Untersuchungen zur rechnergestützten Dechiffrierung von Daten der Fernerkundung der Erde. Dissertation A, Zentralinstitut für Physik der Erde, Potsdam 1985

Schubert, R.: Beziehungen zwischen Remissionseigenschaften, Chlorophyll, Blattflächenindex und Biomasse bei Winterroggen. Forschungsbericht (Päd. Hochschule "KL") Potsdam 1985

Wirth, H./Barsch, H./Schilbach, G. u. a.: Rahmentechnologie zur Gewinnung und Darstellung thematischer Sachverhalte aus Fernerkundungsdaten. Forschungsbericht (Zentralinstitut für Physik der Erde, Päd. Hochschule "KL") Potsdam 1984

Ziegler: Physiologie. In: Strasburger u. a., Lehrbuch der Botanik, Jena 1978



Abb. 1 Räumliche Verteilung der Klassen für  $Q_A$

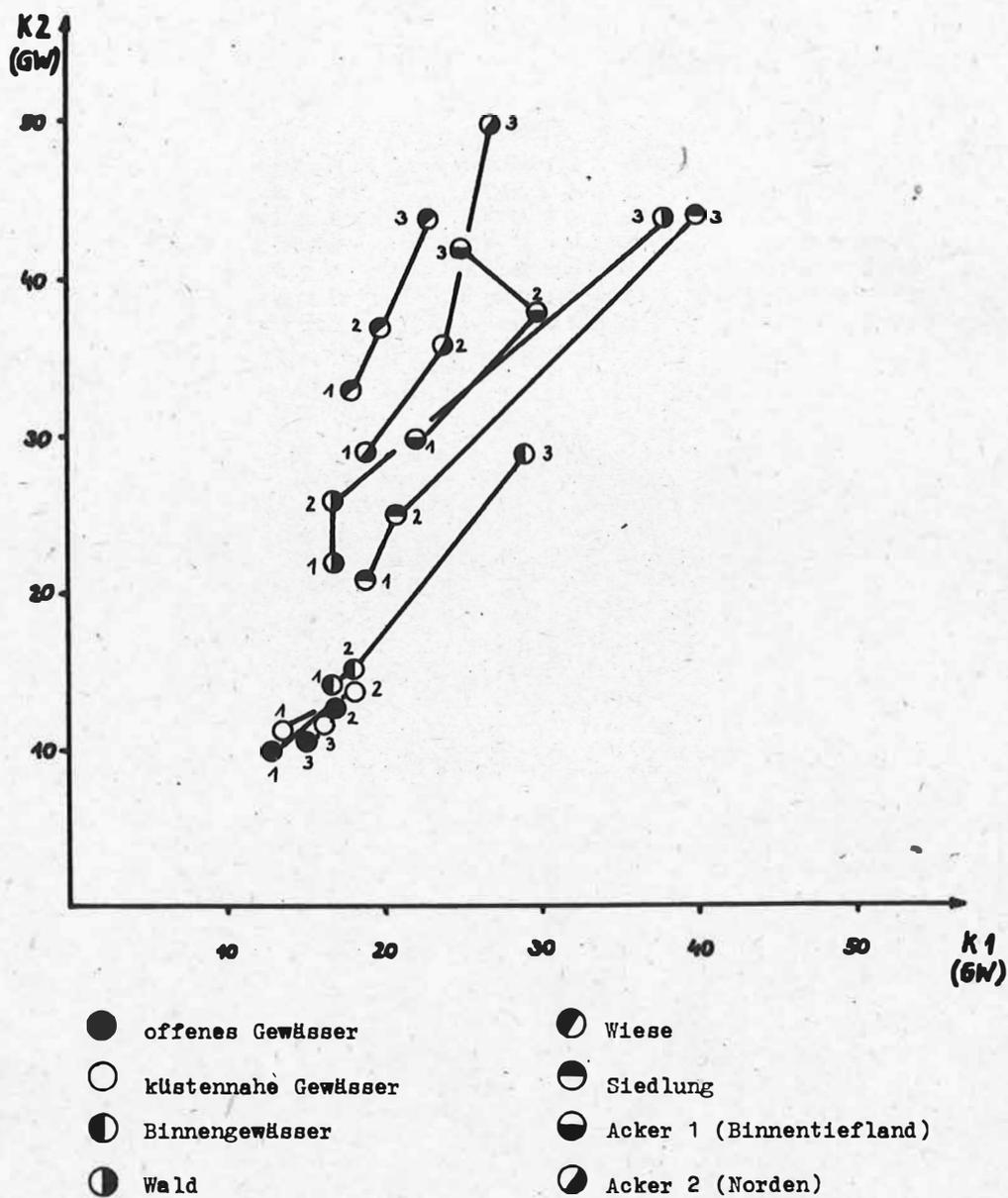


Abb. 2 Darstellung der durchschnittlichen Grauwerte der Etalonklassen für den Quotienten  $Q_A$

Acker 1 (Binnentiefeland)

7.08.81	7.09.81	13.05.82
79 73 81 68 63 68 81	92 85 80 85 91 91 85	56 61 54 44 38 37 36
108 100 84 81 79 66 66	87 74 87 85 91 91 87	61 71 53 42 39 31 31
81 77 93 93 93 74 60	88 83 83 92 92 87 92	79 53 25 25 39 39 48
97 85 84 102 93 77 69	90 73 80 83 90 98 90	49 53 42 50 59 61 66
93 76 81 87 85 79 81	86 80 86 94 94 98 95	73 53 42 50 59 61 66
93 87 89 102 87 93 102	78 81 89 97 88 91 93	92 50 54 43 54 54 52
84 89 89 95 87 81 76	83 89 93 88 84 89 95	92 40 40 40 36 29 45

Differenz	Differenz
-13 -12 1 -17 -28 -23 -4	36 24 26 41 53 54 49
24 26 -6 -4 -12 -25 -21	26 3 34 43 52 60 56
-7 -6 10 1 1 -13 -32	9 30 58 67 53 48 44
7 12 1 19 3 -21 -21	41 20 38 33 31 37 24
7 -4 -5 -7 -9 -19 -11	13 27 44 44 35 37 29
15 6 0 5 -1 2 9	-14 31 35 54 34 37 41
-2 0 -4 7 3 -8 -19	-9 49 53 48 48 60 50

Acker 2 (Norden)

7.08.81	7.09.81	13.05.82
42 30 34 45 50 63 69	23 44 56 41 23 27 23	36 23 42 42 52 46 26
72 66 66 63 39 47 69	23 33 65 78 36 36 29	58 23 31 23 23 51 30
42 34 35 32 41 47 40	22 59 74 78 85 68 39	24 32 32 6 14 30 21
44 52 31 23 27 32 34	92 92 81 73 91 78 47	1 8 19 10 14 33 55
27 42 27 19 23 27 19	56 59 54 52 52 73 50	1 52 52 76 12 12 37
61 71 63 71 69 45 50	46 32 22 22 38 50 76	34 69 71 71 25 1 1
99 100 71 66 39 50 50	23 23 56 87 58 103 103	23 12 12 25 1 1 0

Differenz	Differenz
19 -11 -22 4 27 36 46	-13 21 14 -1 -29 -19 -3
49 33 1 -15 3 11 40	-35 10 34 55 13 -15 -1
20 -25 -39 -46 -44 -41 1	1 27 42 72 71 38 18
-18 -10 -50 -50 -64 -46 7	91 84 62 63 77 45 -8
-29 -17 -27 -33 -29 -46 -31	55 7 2 -24 40 61 13
15 39 41 49 31 -5 -26	12 -37 -18 -19 13 49 75
76 77 15 -21 -21 -53 -53	0 11 44 62 57 102 103

Abb. 3 Digitalwerte für ausgewählte Testflächen (Q<sub>A</sub>)

Einsatz von Fernerkundungsdaten für landwirtschaftliche Aufgabenstellungen

K. TÓTH

Institut für Geodäsie und Kartographie (FÖMI), Budapest

Zusammenfassung:

Das Zentrum für Fernerkundung des Instituts für Geodäsie und Kartographie in Budapest nimmt zahlreiche nationale und internationale Verpflichtungen auf dem Gebiet der Datenbeschaffung, -bereitstellung und -verarbeitung wahr. Daneben führt es Forschungsarbeiten zur Entwicklung neuer Methoden der analogen und digitalen Bildbearbeitung und -dechiffrierung durch. Einen breiten Raum nehmen hierbei Planung, Durchführung und Auswertung von Arbeiten für landwirtschaftliche Aufgabenstellungen ein. Hierzu werden einige typische Beispiele angeführt.

Summary:

The Centre for Remote Sensing of the Institute for Geodesy and Cartography, Budapest, is responsible for data acquisition, storage and supply, and processing. Besides that, research work is done to develop new methods of optical and computer-aided image processing and photointerpretation. This concerns mainly planning, realization and interpretation of performances to solve agricultural problems. Some typical examples are demonstrated.

Резюме

В рамках национального и международного сотрудничества Центром дистанционного зондирования института геодезии и картографии в Будапеште проводятся работы по получению и обработке космических данных. Наряду с этими работами проводятся исследования для развития новых методов аналоговой и цифровой обработки снимков и дешифрирования. При этом важное место занимает планирование, проведение и интерпретация исследований для решения сельскохозяйственных задач. Приводятся некоторые типичные примеры.

Im Namen des ungarischen Instituts für Geodäsie und Kartographie, Zentrum für Fernerkundung, begrüße ich Sie sehr herzlich. Vielen Dank den Veranstaltern der 4. Fernerkundungskonferenz für die Einladung und die Möglichkeit, an dieser Veranstaltung teilzunehmen.

Wie ich schon auf der letzten Konferenz in Leipzig angedeutet habe, befassen wir uns in unserem Institut seit 1981 besonders mit Forschungsarbeiten zur Nutzung von Fernerkundungsdaten für die Volkswirtschaft. In diesem Sinne umfaßt die Tätigkeit unseres Fernerkundungszentrums folgende Hauptaktivitäten:

1. Dienstleistungsaufgaben sowie technische und methodische Grundlagenforschungen, zum Beispiel:

- Bereitstellung von Fernerkundungsdaten und Rechnerkapazität für verschiedene Nutzerbereiche,
- Geräteentwicklung,
- Methodenentwicklung zur analogen und digitalen Bildverarbeitung und -auswertung.

2. Entwicklung von speziellen Methoden zur Nutzung der Fernerkundungsdaten in der Landwirtschaft, zum Beispiel:

- Planung und Kontrolle von Meliorationsarbeiten,
- Arbeiten zur Bodenbewertung und zur Kartierung von Bodentypen,
- Überprüfung des Zustandes bestimmter Kulturpflanzen (Schädlingsbefall und Pflanzenkrankheiten, Prognosen für Erntezeitpunkte und Ertragsmenge),
- Terrestrische Messungen.

Im Rahmen der Forschungstätigkeit bzw. als Auftragsarbeiten für unsere Nutzer haben wir an verschiedenen Stellen unseres Territoriums praktische Arbeiten durchgeführt. Im folgenden möchte ich Ihnen eine kurze Zusammenfassung über neuere Resultate geben:

1. Die Anwendungsmöglichkeiten von Fernerkundungsdaten zur Bodenerkundung und zur Kartierung der Bodentypen haben wir im Testgebiet Rád erprobt - es liegt etwa 60 km nordöstlich von Budapest.

In kurzer Form sollen die technologischen Schritte, die benutzten Materialien und die dabei gewonnenen Erfahrungen vorgestellt werden:

- a) Datensammlung, Auswahl der vorgesehenen Luftbilder, die in diesem Fall Multispektralaufnahmen waren,
- b) Herstellung von Farbsynthesen,
- c) Feststellung der Lage der Bodenprofile,
- d) Abgrenzung homogener Bodenflächen auf den Aufnahmen,
- e) Herstellung der neuen Bodentypenkarte,
- f) Kontrolle der neuen Bodenkarte durch terrestrische Begehungen.

Das Ziel unserer Arbeit bestand darin, eine völlig neue Bodenkarte herzustellen. In Verbindung mit aktuellen terrestrischen Bodenbewertungsarbeiten sollte geprüft werden, inwieweit Luftbilder als Hilfsmittel der Bodenkartierung dienen können. Außerdem wollten wir eine Antwort auf die Frage bekommen, ob Luftbilder nach einer entsprechenden Vorverarbeitung ausreichend zuverlässige Ergebnisse liefern können.

Erfahrungen:

Die Multispektralbilder konnten wir in zwei Phasen der Bodenbewertung benutzen:

- a) zur großräumigen Lagebestimmung von Hauptbodengruppen,
- b) zur Identifizierung von Inhomogenitäten innerhalb der Hauptgruppen, die bestimmten Bodentypen bzw. -bonitätswerten entsprechen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß für die präzise Auswertung der Luftbildaufnahmen unbedingt exakte terrestrische Vergleichsdaten notwendig sind, um Bildinhomogenitäten ausreichend sicher interpretieren zu können. Der Umfang der Bodenmessungen hängt natürlich weitgehend von der Heterogenität des Untersuchungsgebietes ab.

In der nächsten Zeit werden die Forschungen unter Einbeziehung von Schwarz-Weiß-Infrarot- und Farbinfrarot-Filmmaterial fortgesetzt.

2. Eine weitere, unmittelbar praxisorientierte Aufgabe besaß den Charakter einer komplexen photogrammetrischen Interpretation. Es handelt sich hierbei um die Vermessung, Klassifizierung und Kartierung der Schilfzone entlang des Balaton-Ufers. Diese Arbeit erfolgte in enger Kooperation mit der Agraruniversität Keszthely.

Als Aufnahmematerial wurde Farbinfrarotfilm der Firma KODAK benutzt. Die Aufgabe wurde in folgende Etappen aufgeteilt:

- a) Planung der Befliegung mit einer Meßkammer (Bildmaßstab 1:15 000 bis 1: 20 000),
- b) Befliegung, photographische Verarbeitung,
- c) Sammlung terrestrischer Referenzdaten,
- d) Stereophotogrammetrische Auswertung und Interpretation,
- e) Statistische Auswertung,
- f) Kartographische Darstellung der Ergebnisse, Vervielfältigung und Abschlußarbeiten.

Als Endprodukt wurde eine Kartenserie des Balaton-Ufers im Maßstab 1:10 000 erarbeitet. Sie stellt die Grenzen der Schilf-Kategorien und die wichtigsten Kartenelemente dar. Als statistisches Resultat der Interpretation konnten Tabellen zusammengestellt werden, die eine Qualitäts- und Ernteprognose des Schilfgürtels beinhalten.

Die Herstellung der Bildflugpläne, alle photographischen und photogrammetrischen Arbeiten waren Aufgaben unseres Zentrums; die thematische Interpretation erfolgte kooperativ mit der Agraruniversität.

3. Die dritte Aufgabe, die ich vorstellen möchte, ist die Vermessung und thematische Kartierung der Großen Ungarischen Tiefebene unter Verwendung von MKF-6-Luftbildern und von digitalen Multispektralscannerdaten des Satelliten LANDSAT-3 aus der Vegetationsphase 1981. Die Aufnahmezeitpunkte waren: 29. Juni, 17. Juli, 4. August und 27. September. Die Arbeiten ermöglichten die Abgrenzung aller Schläge von landwirtschaftlichen Betrieben mit Größen von 60 bis 100 ha. Die technologischen Schritte der Verarbeitung waren folgende:

- Datenauswahl,
- Bildvorverarbeitung,
- Herstellung von Farbsynthesen aus MKF-6-Luftbildern,
- Sammlung von terrestrischen Referenzdaten,
- Überprüfung der betrieblichen Schlagkarten zur Feststellung des Pflanzenzustandes.

Die interpretationsgerechte Bildvorverarbeitung beinhaltete vor allem das "Destriping" und die geometrische Korrektur der LANDSAT-Aufnahmen mit mathematischen Methoden. Danach erfolgte die rechnergestützte Anpassung der Aufnahmen in der Überdeckung. Die Charakterisierung der Pflanzenzustände ging in folgenden Etappen vor sich:

- Clustering,
- Klassifikation,
- Überprüfung der Resultate,
- Kartographische Darstellung der Klassifikationsergebnisse.

Für die Untersuchung der Pflanzenentwicklung wurde ein anderer Weg beschritten: Es wurden gleichzeitig die Daten aller vier Aufnahmetermine benutzt. Aus ihnen stellten wir zwei Datengruppen her. Erstens ein Pseudobild der Scannerdaten des Kanals 7 aller vier Termine, zweitens den Vegetationsindex für jeden der vier Aufnahmezeitpunkte.

Die Klassifizierung der ersten Gruppe lieferte uns den Entwicklungszustand der Pflanzen; aus der Klassifizierung der zweiten Gruppe erhielten wir als Ergebnis Gruppen mit gleicher Pflanzen-Grünmasse. Die Resultate dieser Arbeiten ermöglichten die Herstellung einer Pflanzenzustands- und Grünmasskarte des Untersuchungsgebietes.

Gleichzeitig wurde eine Tabelle zusammengestellt; aus der die Genauigkeiten der Abgrenzung der Pflanzen ablesbar sind. Es ließen sich folgende Kategorien unterscheiden:

Winterweizen 1  
 Winterweizen 2  
 Mais  
 Zuckerrüben (oder Kartoffeln)  
 Zuckerrüben  
 Luzerne  
 Luzerne (oder Grünland)  
 Stoppelfeld 1 und 2  
 Ackerfläche, ungepflügt  
 Wald- und Buschgebiete  
 Kleinräumig inhomogene Flächen  
 Nichtidentifizierbare Flächen  
 Siedlungen

Das Ergebnis der Arbeiten (11 landwirtschaftliche Klassen) wurde in einer Karte des Untersuchungsgebiets (110 000 ha) dargestellt.

Seit einiger Zeit liegen an unserem Institut auch erste Ergebnisse der rechnerischen Verarbeitung von LANDSAT-Thematic-Mapper-Daten vor (vor allem Clusteroperationen aus den Kanälen 3, 4, 5 und 7 der TM-Szenen in Verbindung mit terrestrischen Referenzdaten). Obwohl die TM-Daten nicht das Auflösungsvermögen der Luftbilder erreichen, genügen sie nach unseren Erfahrungen jedoch der thematischen Auswertung für die meisten landwirtschaftlichen Fragestellungen. Ein Kostenvergleich zwischen der Nutzung von LANDSAT-TM-Daten und Luftbildern ergab, daß unter ungarischen Verhältnissen in einigen Fällen die Verwendung von TM-Daten ökonomisch vorteilhafter ist.

Abschließend darf ich noch einige Informationen über unsere anderen Tätigkeiten und über zukünftige Aufgaben geben:

1. Anfertigung einer Direktive für die Meliorationsplanung und -kontrolle unter Nutzung von Fernerkundungsdaten;
2. Vorbereitung der SPOT-Daten für die volkswirtschaftliche Nutzung (z. B. Bodenkartierung, Einschätzung des Pflanzenzustandes usw.);
3. Ausweitung der internationalen Zusammenarbeit im Rahmen der Vereinigung INTERKOSMOS, sowohl hinsichtlich der Auswertung von Fernerkundungsdaten als auch der Geräteentwicklung sowie Teilnahme an internationalen Experimenten, wie z. B. GEOEX 86 in der DDR;
4. Herstellung einer praxisreifen, routinemäßig nutzbaren Technologie für die Bodenbewertung unter Verwendung von Fernerkundungsdaten.
5. Das letzte, aber wichtigste Ziel, das wir bis zum Jahre 1989 erreichen wollen, ist eine stabile Technologie der Ertragsprognose aus der Interpretation von Fernerkundungsaufnahmen.

Ich hoffe sehr, daß Sie, verehrte Kolleginnen und Kollegen, durch die vorgestellten Themen einen kleinen Überblick von unserer Tätigkeit bekommen haben.

Ich danke nochmals für die Einladung und wünsche mir sehr, daß auch diese Veranstaltung zur weiteren Vertiefung der fachlichen und persönlichen Kontakte zwischen allen Teilnehmern beitragen wird.

Einsatz der Thermographie für Probleme der Pflanzenproduktion

A. GEBHARDT

Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR  
Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit MünchebergZusammenfassung:

Anhand einiger Beispiele werden Möglichkeiten und Bedeutung der Thermographie im mittleren Infrarot zur Lösung von Problemen der Pflanzenproduktion aufgezeigt.

Summary

Some examples demonstrate the possibilities and importance of thermography in the mean infrared for the solution of problems of plant production.

Резюме

Некоторые примеры демонстрируют возможности и значение термографии в среднем инфракрасном для решения проблем растениеводства.

1. Problemstellung

Zur Erfüllung der Forderung nach Stabilisierung der Erträge landwirtschaftlicher Kulturen auf hohem Niveau wird durch die Bodenfruchtbarkeitsforschung gegenwärtig intensiv an der Entwicklung und Überführung effektiver Methoden zur Boden- und Bestandesführung gearbeitet. Fernerkundungsverfahren spielen dabei eine wesentliche Rolle. Neben der fotografischen Luftaufnahme im sichtbaren und nahen Infrarotbereich (IR) gewinnen Aufzeichnungen im mittleren IR zunehmend an Bedeutung, da mit ihnen die Erfassung der Strahlungstemperatur der Boden- und Bestandesoberflächen, einer für die Pflanzenproduktion äußerst relevanten Größe, möglich ist.

Im Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der AdL werden seit 1981 Untersuchungen zur Nutzung der Thermographie für verschiedene Probleme der Pflanzenproduktion durchgeführt. Sie konzentrieren sich auf folgende Aufgaben:

- Erkennung und Ausgrenzung von Naßstellen bei unbedecktem Boden während der Abtrocknung im Frühjahr,
- Differenzierung der Bestände hinsichtlich der Wasserversorgung,
- Früherkennung phytopathologischer Erscheinungen,
- Lokalisierung unterirdischer Meliorationsanlagen,
- Erfassung des Wirkungsbereiches von Beregnungsanlagen,
- Erfassung des Wirkungsbereiches von Windschutzpflanzungen.

Einige Beispiele sollen im Folgenden die Leistungsfähigkeit der Thermographie belegen.

2. Aufnahmetechnik

Die terrestrischen und Luftaufnahmen wurden mit dem Wärmebildgerät AGA-Thermovision 750 durchgeführt. Um die Remission der Sonnenstrahlung zu unterdrücken, wurde der Aufnahmebereich durch einen Filter auf 3,6...5,5 µm Wellenlänge eingeschränkt. Die Aufzeichnung erfolgte als Monitorfotografie oder mit Videorecorder auf Magnetband. Die thermische Auflösung beträgt 0,2 K bei 30 °C Objekttemperatur, die Bildfrequenz 25 Hz. Als Meßplattformen dienten Hebebühnen "Tatra MTT" mit Arbeitshöhen bis 25 m sowie Hubschrauber Ka-26 und Kleinflugzeuge "Wilga" für Aufnahmehöhen bis 1000 m. Die terrestrischen Synchronmessungen der Strahlungstemperatur wurden mit einem sowjetischen Strahlungsthermometer RT-2 (Agrophysikalisches Institut Leningrad) im Wellenlängenbereich 8 ... 14 µm durchgeführt.

## 3. Aufnahmemethodik

Die Energiebilanz eines Pflanzenbestandes kann ausgedrückt werden als:

$$\begin{aligned} \text{Strahlungs-} & (1 - R) (I + H) + \epsilon (G - \sigma T_0^4) = \frac{1}{r_L} \cdot \Delta T_L & \text{Konvektion} \\ \text{haushalt} & & + \frac{1}{r_V} \cdot \Delta e & \text{Verdunstung} \\ & & + k \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=0} & \text{Bodenwärmestrom} \\ & & + S & \text{Speicherung im} \\ & & & \text{Bestand} \end{aligned}$$

- $r_L$  - turbulenter Diffusionswiderstand für Wärmetransport von der Blatt-Grenzschicht in die freie Atmosphäre (abhängig von Rauigkeit der Oberfläche  $d$ , Windgeschwindigkeit  $u$ , Stabilität der Atmosphärenschichtung)
- $r_V$  - Leitungs- bzw. Diffusionswiderstand beim Wassertransport im System Boden-Pflanze-Atmosphäre
- $R$  - Remissionsvermögen
- $I$  - direkte Sonnenstrahlung
- $H$  - diffuse Himmelsstrahlung
- $\epsilon$  - Emissionsvermögen
- $G$  - atmosphärische Gegenstrahlung
- $\sigma$  - STEFAN-BOLTZMANN-Konstante
- $T_0$  - Oberflächentemperatur des Bestandes (bzw. Bodens)
- $k$  - Wärmeleitfähigkeit des Bodens
- $z$  - Tiefe
- $\Delta e, \Delta T_L$  - Gradient des Dampfdruckes bzw. der Lufttemperatur zwischen Oberfläche und freier Atmosphäre
- $T$  - Bodentemperatur

Die Temperatur der Boden- bzw. Bestandesoberfläche wird damit beeinflusst von:

- Einstrahlungsparametern:  $I, H, G$
- Zustandsparametern der Atmosphäre:  $T_L, e, u$
- Bestandes- und Bodenparametern:  $R, \epsilon, d, k, r_V$

Speziell bei der Aufnahme von Beständen spielt dabei der Leitungs- bzw. Diffusionswiderstand für den Wassertransport  $r_V$  eine wesentliche Rolle. Er setzt sich zusammen aus den Widerstandskoeffizienten für den Wassertransport im Boden, die Wasseraufnahme durch das Wurzelsystem, den Transport in den Gefäßen zu den Blättern sowie die Diffusion des Wasserdampfes durch die Mesophyll-Zellwände, substomatären Hohlräume und die Spaltöffnungen. Wird eines dieser Kettenglieder gestört, so kommt es zu einer Variation der Transpiration insgesamt und damit der Pflanzentemperatur (bei gleichen äußeren Bedingungen). Das Temperaturbild eines geschlossenen Bestandes ist demnach in erster Linie ein qualitatives Bild der Evapotranspiration und gibt damit Auskunft über wichtige Wachstumsbedingungen.

Bei unbedecktem Boden spielt das kurzwellige Absorptionsvermögen für die Ausbildung der Oberflächentemperatur die dominierende Rolle. Die Thermographie gleicht einem kontrastverstärkten panochromatischen Luftbildnegativ. Eine Abweichung von dieser Regel zeigen vernässte Flächen. Durch die Wirkung der Evaporation und hohen thermischen Trägheit weisen sie deutliche Temperaturminima auf. Diese treten auch auf, wenn die erhöhte Feuchte nicht zwangsläufig mit einem reduzierten Remissionsvermögen verbunden ist. Aufnahmezeitpunkt und meteorologische Bedingungen sind für diese Untersuchungen so zu wählen, daß die Verdunstungsunterschiede maximal ausgeprägt sind (Stunden nach Mittag unter Einstrahlungsbedingungen, geringe Windgeschwindigkeit).

## 4. Einsatzbeispiele

- Erfassung der differenzierten Wasserversorgung geschlossener Bestände (Abb. 1)

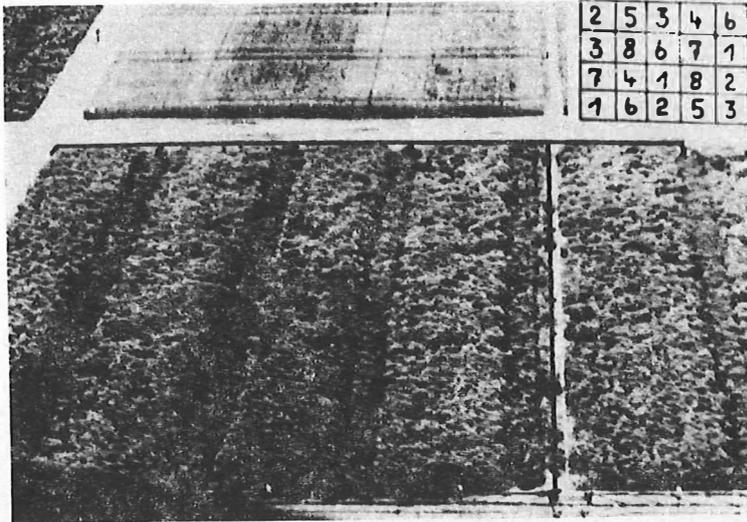
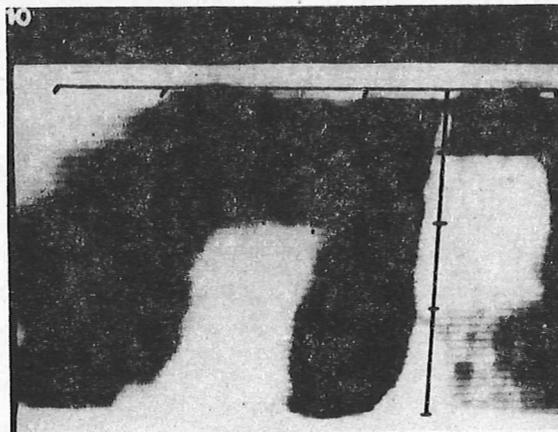


Abb. 1a: Panchromatische Luftaufnahme des Versuchsblockes Kartoffeln (freigegeben unter ZLB/L-0380/81) rechts oben Anordnungsschema der Beregnungsvarianten:

- 1 - unberegnert
- 2 - 15 mm Gesamtgabe
- 3 - 30 mm "
- 4 - 45 mm "
- 5 - 60 mm "
- 6 - 75 mm "
- 7 - 40 mm "
- 8 - 50 mm "



1b: thermografische Luftaufnahme (Aufnahme synchron mit Abb. 1a) (freigegeben unter ZLB/L-0386/81)

Innerhalb des Versuchsblockes Kartoffeln bestehen insgesamt 8 verschiedene Beregnungsvarianten (4fache Wiederholung). Die Luftaufnahmen wurden als Schrägaufnahmen aus 50m Flughöhe angefertigt. Dadurch war gewährleistet, daß vorrangig die Pflanzen und nicht der Bodenuntergrund abbildungswirksam wurden. Der Aufnahmeterrn lag Anfang Juli am Ende einer niederschlagsfreien Dekade. Die letzte Beregnung war 2 Tage vor Aufnahme erfolgt. Während in der panchromatischen Aufnahme (Abb. 1a) keine Differenzierung zwischen den einzelnen Beregnungsvarianten möglich ist, können in der Thermographie eindeutig 3 Klassen der Strahlungstemperatur ausgehalten werden. Sie entsprechen den Wasserversorgungsklassen:

- 1 + 2 - Wasserstreß, am wärmsten
- 3 - teilweise Streßmerkmale, mittlere Temperatur
- 4 bis 8 - keine Streßmerkmale, am kältesten

Der Meßbereich zeigt an, daß dabei eine Strahlungstemperatur-Differenz zwischen unberegneten und ausreichend wasserversorgten Pflanzen von ca. 10 K besteht.

Ähnliche Ergebnisse wurden für die Kulturen Zuckerrüben, Lupine, Weidelgras und Winterweizen beobachtet (GEBHARDT 1984a).

## - Früherkennung von Nematodenbefall (Abb. 2)

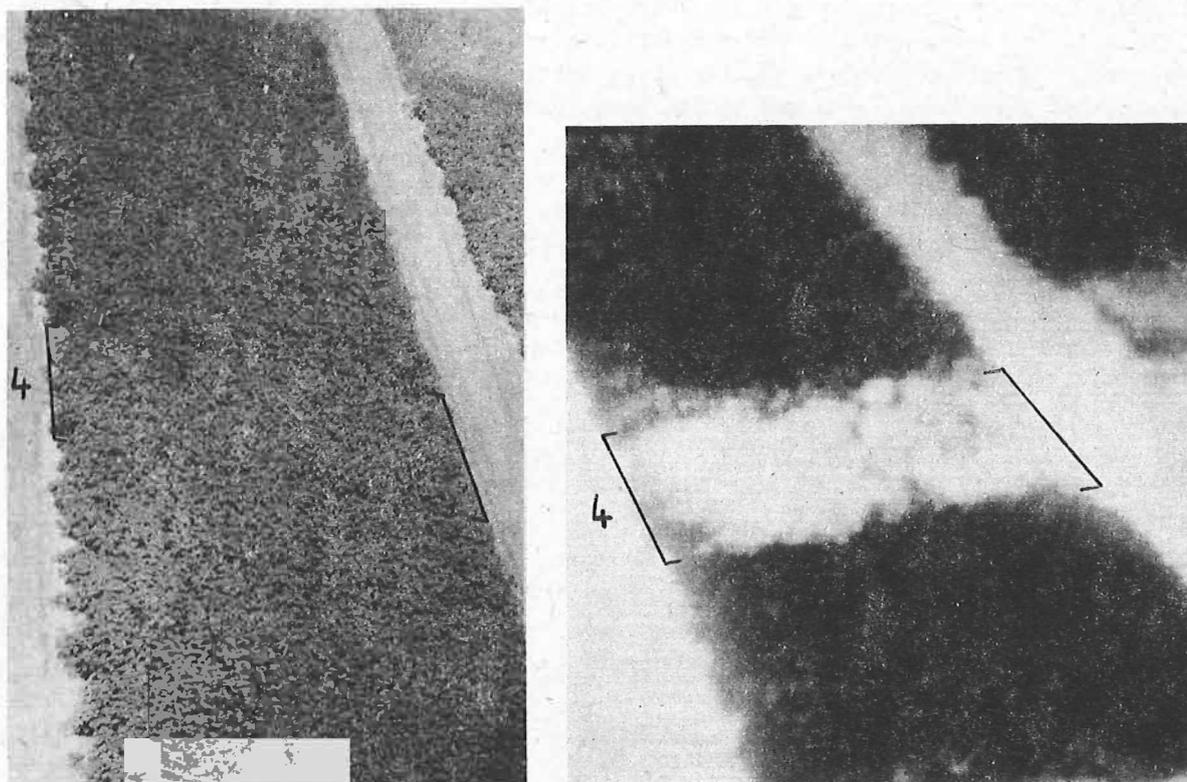


Abb. 2: Panchromatische (links) und thermografische Aufnahme (rechts) von Parzellenversuchen Kartoffeln mit unterschiedlicher Belastung durch Nematoden *Globodera rostochiensis*

Parzelle 4: 30080 Eier und Larven in 100 g Boden

Nachbarparzellen bis max. 205 Eier und Larven in 100 g Boden

Der Versuchsblock mit Kartoffeln zeigt Parzellen mit unterschiedlicher Ausgangsverseuchung durch Nematoden *Globodera rostochiensis*. Parzelle 4 weist im Vergleich zu den Nachbarparzellen die absolut höchste Belastung auf. Während in der panchromatischen Aufnahme keine Anzeichen von Wachstumsdepressionen erkennbar sind, weist die Thermografie diese Parzelle eindeutig als geschädigt aus. Die erhöhte Temperatur ist Resultat der reduzierten Transpiration infolge Zerstörung des Wurzelsystems durch die Nematoden (Verhinderung der Wasseraufnahme). Die relative Erhöhung der Strahlungstemperatur beträgt 1,5 K. (GEBHARDT 1984 b)

##### 5. Einschätzung

Die Thermographie spielt im Komplex der Fernerkundungsverfahren für die Landwirtschaft eine wichtige Rolle. Ihre besondere Bedeutung resultiert aus der Möglichkeit, über die Bestandestemperatur auf die Evapotranspiration schließen zu können und damit einen Wachstumsparameter hoher Relevanz für die Ertragsbildung zu erfassen. Für diese Aufgabenstellung ist sie Verfahren im Sichtbaren und nahen IR-Bereich eindeutig überlegen.

Die Hauptschwierigkeit bei der Interpretation der Thermographien ergibt sich aus der komplexen Abhängigkeit der Strahlungstemperatur der Boden- und Bestandesoberflächen von einer Reihe objektunabhängiger Faktoren (vor allem Windgeschwindigkeit, Einstrahlung). Das Befliegungsergebnis ist daher in höherem Maße als Luftaufnahmen im Sichtbaren und nahen IR abhängig von den herrschenden und der Aufnahme vorausgegangenen meteorologischen Bedingungen. Die Erklärung der Temperaturanomalien muß daher unter umfassender Berücksichtigung der im konkreten Maßgebiet zum konkreten Zeitpunkt vorliegenden Situation erfolgen. Dies stellt für den Nutzer einen notwendigen Lernprozeß dar.

Um die stärkere Berücksichtigung der Thermographie als Fernerkundungsmethode bei der Bearbeitung landwirtschaftlicher Probleme zu erreichen, muß die Operativität der Luftaufnahmen in Abhängigkeit der meteorologischen Bedingungen verbessert werden. Außerdem ist es dringend erforderlich, die Strahlungstemperatur in Bodenmeßprogrammen gleichberechtigt neben der Remission zu berücksichtigen. Nur so wird es möglich sein, die Potenzen der Thermographie als Fernerkundungsmethode in der Landwirtschaft Schritt für Schritt gezielt nutzbar zu machen.

#### Literatur

- GEBHARDT, A. (1984a): Beurteilung des Wasserversorgungszustandes von Pflanzenbeständen mittels Thermografie. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd., Berlin 28(1984)4, S. 231-237
- GEBHARDT, A. (1984b): Möglichkeiten zur Früherkennung phytopathologischer Erscheinungen mit Hilfe der Thermografie - Übersicht und erste Ergebnisse. Arch. Phytopathol. u. Pflanzenschutz, Berlin 20(1984)5, S.437-445

Untersuchungen über räumliche Inhomogenitäten in der Wassertemperatur und in Wasserinhaltsstoffen in der östlichen Ostsee auf der Grundlage von Schiffs- und Satellitenbeobachtungen

H.J.BROSIN, L.GOHS, G.SCHENKEL,  
T.SEIFERT und H.SIEGEL

Akademie der Wissenschaften der DDR  
Institut für Meereskunde  
Rostock-Warnemünde

Zusammenfassung:

Ein charakteristisches Merkmal in der Dynamik von geschichteten Schelfmeeren wie z.B. der Ostsee sind mesoscale Bewegungsvorgänge wie küstennahe Auftriebsereignisse, Wirbel oder sogenannte Pilzströmungen.

Satellitengestützte Fernerkundungsverfahren im sichtbaren und infraroten Spektralbereich gestatten es, die Lage der mit Auftriebsereignissen oder Wirbeln verbundenen Frontalzonen und ihre räumlichen Skalen festzustellen und ihre zeitliche Entwicklung zu verfolgen.

Erste Ergebnisse aus einem im Mai 1985 in der östlichen Ostsee durchgeführten Subsatelliten-Experiment werden vorgestellt. Die aus Schiffsmessungen ermittelte Ausbreitung von wärmeren und schwebstoffreichen Wassermassen konnte mit Satellitenaufnahmen erfaßt werden. Die charakteristischen Skalen werden vorgestellt.

Summary:

Mesoscale motions like nearshore upwelling events, eddies or so-called mushroom-like currents form a characteristic feature of the dynamics of stratified shelf seas.

Satelliteborne remote sensing in the visible and infrared domain enables a determination of the frontal zones connected with the upwelling or eddies and an observation of their spatial scales and temporal development.

First results of a ground-truth experiment in the eastern Baltic Sea in May 1985 are presented. It was possible to trace the extension of warmer water masses with higher concentration of suspended matter and to determine the characteristic scales.

Резюме

Характерным признаком в динамике стратифицированных окраинных морей, как например Балтийское море, являются мезомасштабные движения. Ими могут быть как прибрежный апвеллинг, вихри и так называемые грибовидные течения.

Методы дистанционного зондирования в видимой и инфракрасной зоне позволяют определить местоположение и пространственную структуру фронтальных зон, связанных с апвеллингами и вихрями, а также проследить их временное развитие.

Показаны первые результаты подспутникового эксперимента, проведенного в мае 1985 г, для восточной части Балтийского моря. На основе космических снимков можно проследить распространение теплых водных масс с повышенными концентрациями взвешенных материалов. Представляются характерные шкалы.

Die Zirkulation der Ostsee besitzt praktisch keinen nennenswerten stationären Anteil, sondern wird durch eine große räumliche und zeitliche Veränderlichkeit charakterisiert. In einem stark geschichteten, rotierenden und quasi-abgeschlossenen Becken mit komplizierter Bodentopographie und Küstengestalt, wie es die Ostsee darstellt, spielen mesoskale Bewegungsvorgänge eine besondere Rolle. Bessere Einsichten in die mesoskale Dynamik sind daher notwendig sowohl zum allgemeinen Verständnis der Ostseedynamik als auch für viele anwendungsorientierte Fragestellungen.

Zu den mesoskalen Bewegungsvorgängen gehören in der Ostsee:

- Pilzströmungen  
- - - - -

mit charakteristischen Skalen von 10 - 50 km und einer Lebensdauer von weniger als 1 Tag bis zu etwa 5 Tagen. Sie bleiben auf eine mehr oder weniger dünne Oberflächenschicht beschränkt und verdanken ihre Entstehung einer lokalen Energiezufuhr (GINSBURG, FEDOROV 1984).

- Quasistationäre Wirbel  
- - - - -

mit unterschiedlichem Drehsinn und Abmessungen von etwa 10 - 30 km (z.B. HORSTMANN 1983) und einigen Tagen Lebensdauer. Sie umfassen die gesamte Wassersäule und werden durch Besonderheiten der Bodentopographie oder der Küstenform verursacht.

- Wandernde Wirbel  
- - - - -

mit unterschiedlichem Drehsinn und horizontalen Abmessungen von etwa 20 - 60 km (z.B. BYČKOVA et al. 1985 a, HORSTMANN 1983, MATTHÄUS et al. 1986) und einer Lebenszeit bis zu rund 10 Tagen, die die gesamte Wasserschicht umfassen. Eine Erklärung beruht in ihrer Interpretation als topographische Rossby-Wellen (z.B. KIELMANN 1982).

- Küstennahe Auftriebszonen  
- - - - -

Solche Auftriebszonen können sich für Zeiträume von 2 bis zu etwa 10 Tagen über Entfernungen von 10 - 250 km annähernd küstenparallel ausbilden (z.B. BYČKOVA et al. 1985 b, GIDHAGEN 1984). Sie umfassen ebenfalls die gesamte Wassersäule und entstehen als Folge der Ekmandrift bei entsprechenden Windverhältnissen.

Derartige mesoskale Prozesse zeichnen sich an der Meeresoberfläche in der Ausbreitung und Verteilung von Plankton und anderen Schwebstoffen ab, im Winter dient häufig auch Treibeis als natürlicher Tracer. Wegen der mit diesen Vorgängen verbundenen Vertikalbewegung kommt es beim Vorhandensein einer thermischen Schichtung (besonders deutlich ausgeprägt im Zeitraum April - Oktober) auch zu horizontalen Temperaturunterschieden an der Meeresoberfläche. Diese Merkmale ermöglichen somit auch eine Erfassung der Erscheinungen mit Fernerkundungsverfahren.

Als besonders geeignet erweisen sich die hochauflösenden Infrarotradiometer (AVHRR, Auflösung ca. 1 km) der NOAA-Wettersatelliten, die auf Grund der mehrmaligen täglichen Überflüge bei geeigneten meteorologischen Bedingungen auch eine Verfolgung kurzzeitiger Veränderungen ermöglichen. Auch die über APT-Verfahren empfangenen Infrarotdaten reduzierter Auflösung (ca. 5 km) lieferten bei entsprechender Bearbeitung Informationen über die Lage und Grobstruktur mancher mesoskalen Erscheinung. Die gegenwärtig verfügbaren Satellitensensoren im sichtbaren Spektralbereich wie z. B. die Scanner MSU-M bzw. MSU-S auf METEOR-Satelliten (Auflösung ca. 1 bzw. 0,25 km) sind nicht für einen Einsatz über Wasser optimiert und bringen daher nur unter besonderen Bedingungen (günstige meteorologische Verhältnisse und Beobachtungsbedingungen, deutliche Konzentrationsunterschiede in der Schwebstoffverteilung) nutzbare Hinweise.

Anhand von Satellitenbeobachtungen lassen sich Informationen ableiten über

- charakteristische Abmessungen und Zeitskalen
- Bewegungsrichtungen

- regionale Häufigkeiten
- Reaktionszeiten nach Einsetzen entsprechender Windverhältnisse
- Auftriebsintensitäten (anhand von Temperaturunterschieden).

In Verbindung mit Zusatzinformationen wie Daten aus Langzeitbeobachtungen oder schiffsgebundenen Messungen sind darüber hinaus in gewissem Umfang auch Aussagen möglich zur Struktur der Temperatursprungschicht oder über auf- bzw. abwärts gerichtete Vertikalbewegungen in Wirbeln.

In der zweiten Maihälfte 1985 erfolgte in Zusammenarbeit mit Einrichtungen des Staatlichen Komitees für Hydrometeorologie und Umweltkontrolle der UdSSR in der südöstlichen Ostsee in einem ca. 36 000 km<sup>2</sup> großen Gebiet zwischen 55 - 56°30' N, 17°30' - 21° E ein Dreietagen-Experiment unter Teilnahme des Forschungsschiffes "A.v.Humboldt", von 2 sowjetischen Forschungsflugzeugen, die mit der Multispektralkamera MKF 6 bzw. einem Infrarot-Radiometer ausgerüstet waren und unter Einbeziehung der von METEOR- und NOAA-Wettersatelliten bzw. der METEOR-PRIRODA-Erderkundungssatelliten empfangenen Informationen. Die Ziele des Experiments bestanden in folgenden Aufgaben:

- Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der Wasseroberflächentemperatur und von Wasserinhaltsstoffen mit Fernerkundungsverfahren
- Gewinnung von Informationen über mesoskale Prozesse in der Ostsee anhand von schiffs- und satellitengebundenen Messungen
- Sammlung von Erfahrungen in der operativen Steuerung von Mehretagen-Experimenten.

Als Folge der durch wolkenarme und windschwache Hochdrucklagen begünstigten starken Einstrahlung in der zweiten Maidekade hatten sich zu Beginn des Untersuchungszeitraumes die flachen Gewässer des Weichsel- und Kurischen Haffs stark erwärmt. Außerdem war auch eine stärkere Erwärmung in einer küstennahen Flachwasserzone (Wassertiefe < 10 m) festzustellen. Mit dem Ausstrom warmer und salzärmerer Wassermassen aus dem Kurischen Haff kam es zur Ausbildung einer küstenparallelen Frontalzone, in der die Gradienten der Wasseroberflächentemperatur bzw. des Salzgehalts nach schiffsgebundenen Messungen bis 1,2 K/0,4 km bzw. 1,4 ‰/5,5 km erreichten. (Diese annähernd küstenparallel verlaufende Front verlagerte sich nach Schiffsbeobachtungen in 7 Tagen um ca. 45 km seewärts).

APT-Satellitenbilder zeigten eine Ausbreitung der Warmwasseranomalie in zwei Richtungen, parallel zur baltischen Küste nach N und nach W - SW und die Tendenz zur Ausbildung von zwei entsprechenden Kernen mit Wasser erhöhter Temperatur.

Die aus dem Kurischen Haff ausfließenden Wassermassen unterschieden sich nicht nur in der Wassertemperatur und im Salzgehalt von den Wassermassen der offenen Ostsee, sondern auch in der Chlorophyllkonzentration. (Mit Werten von 10,5 - 11,3 mgm<sup>-3</sup> waren die Pigmentkonzentrationen bis zu dreimal höher als in den angrenzenden Wassermassen). Als Folge des erhöhten Schwebstoffgehaltes wurden auch deutliche Unterschiede im spektralen Remissionskoeffizienten im Vergleich zu den schwebstoffärmeren Wassermassen festgestellt, wobei die Werte im Wellenlängenbereich von 550 - 700 nm um das Anderthalb- bis Vierfache höher lagen. So zeichnete sich bei der densitometrischen Auswertung der MSU-S-Aufzeichnung vom 20.5.1985 auch vor der Mündung des Kurischen Haffs eine ca. 70 km seewärts reichende Zone erhöhter relativer Schwärzung ab.

Mit einer kurzen Zunahme NE-licher Winde bis auf etwa 7 m/s vom 18. zum 19.5.1985 kam es kurzzeitig zu Auftriebserscheinungen dicht vor der Küste der baltischen Sowjetrepubliken, die auch auf einer (hier nicht reproduzierbaren) für ozeanologische Anwendungen bearbeiteten Infrarot-APT-Aufnahme von NOAA 6 vom 19.5.1985 angedeutet sind. Der Ausstrom des warmen Wassers an dem Kurischen Haff erfolgte in einem relativ engen Strahl von nur etwa 10 km Breite, während sich nördlich und südlich davon küstenparallele ca. 25 km breite Auftriebszellen mit einer Nord-Süd-Ausdehnung von ca. 40 km ausgebildet hatten, wobei die Temperaturdifferenz gegenüber der Umgebung nach den Satellitendaten mit etwa 1 - 1,5 K angenommen werden kann.

Gleichzeitig zeigte die Satellitenaufnahme bei etwa  $55^{\circ}$  N,  $19^{\circ}$  E eine pilzförmige Strömung mit einem Durchmesser des Wirbelteils von rund 70 km. Auf Grund der Satelliteninformationen wurden operativ das Meßprogramm des Forschungsschiffes "A.v.Humboldt" geändert und schiffsgebundene Messungen im Gebiet der Pilzströmung ausgeführt. Satellitenaufnahmen an den Folgetagen ergaben keine Anzeichen mehr für diese Struktur, da als Folge der einsetzenden vertikalen Vermischung die Temperaturunterschiede unmittelbar an der Meeresoberfläche abgebaut worden waren. Die Vertikalsondierungen der "A.v.Humboldt" konnten jedoch die Existenz der Pilzströmung bestätigen, die sich auf eine oberflächennahe Schicht von etwa 10 m beschränkte.

Die anhaltende Einstrahlung bewirkte in den Folgetagen eine weitere Erwärmung. Dabei blieb aber die bereits Ende der zweiten Maidekade in den Satellitenbildern ermittelte Zweikernstruktur zumindest bis Ende Mai im wesentlichen erhalten. Für den 27.5.1985 wurden vom Observatorium Praha-Libuš des Hydrometeorologischen Dienstes der ČSSR die digitalen Satellitendaten des NOAA-9-AVHRR bereitgestellt und standen damit für eine weitere Bearbeitung auf dem Bildverarbeitungssystem BVS A 6471 zur Verfügung. Die in digitaler Form vorliegenden AVHRR-Daten liefern auf Grund der höheren Auflösung wesentlich detailliertere Angaben über die an der Wasseroberfläche angetroffenen thermischen Strukturen. Eine (hier ebenfalls nicht reproduzierbare) Farbcodierung in Abstufungen von ca. 0,5 K zeigte vor dem Kurischen Haff eine Warmwasserzone mit Strahlungstemperaturen von über  $17,5^{\circ}\text{C}$  (eine Atmosphärenkorrektur erfolgte nicht) von ca. 20 km Durchmesser. Die auf den APT-Aufnahmen nur angedeutete Ausbreitung von Warmwasser aus dem Weichselhaff (mit Strahlungstemperaturen von  $> 17^{\circ}\text{C}$ ) vor dem Samland wurde deutlich wiedergegeben sowie der Ausfluß von stärker erwärmtem ( $> 18^{\circ}\text{C}$ ) Weichselwasser.

In dem vorgestellten Fallbeispiel konnte mit Hilfe von für ozeanologische Anwendungen optimierten APT-Aufnahmen bzw. vor allem von digitalen AVHRR-Daten die Ausbildung und Entwicklung von quasistationären mesoskalen Strukturen auf Grund der relativen Temperaturunterschiede über einen Zeitraum von etwa 10 Tagen verfolgt werden. Unter Nutzung der Satelliteninformationen war eine operative Steuerung des Einsatzes von Forschungsschiffen möglich, wobei die schiffsgebundenen Messungen Informationen über den vertikalen Aufbau der Wassermassen im Untersuchungsgebiet lieferten. Damit konnte die Bedeutung dieser bisher für ozeanologische Aufgaben in der DDR nur wenig genutzten Daten speziell bei den Untersuchungen zur mesoskalen Dynamik der Ostsee gezeigt werden.

#### L i t e r a t u r

БЫЧКОВА, И. А., С. В. ВИКТОРОВ, В. В. ВИНОГРАДОВ, В. Н. ЛОСИНСКИЙ и Х. Ю. БРОЗИН: Аэрокосмические наблюдения адвективно-вихревых образований в центральной части Балтийского моря  
Иssl. Земли из Космоса 1985, № 1, 118-122

БЫЧКОВА, И. А., С. В. ВИКТОРОВ и В. В. ВИНОГРАДОВ: Использование спутниковых данных для изучения апвеллинга и фронтогенеза в Балтийском море.  
Иssl. Земли из Космоса 1985, № 2, 12-19

GIDHAGEN, L.: Coastal upwelling in the Baltic - a presentation of satellite and in situ measurements of sea surface temperatures indicating coastal upwelling.  
Swedish Meteorol. Hydrol. Inst.: Reports Hydrology and Oceanography RHO 37 1984,  
35 pp., 59 Appendices

ГИНЗБУРГ, А.И. и К.Н. ФЕДОРОВ: Эволюция гребовидных течений в океане.  
Докл. АН СССР, 276 (1984), 2, 481-484

HORSTMANN, U.: Distribution patterns of temperature and water colour in the Baltic Sea as recorded in satellite images: indicators for phytoplankton growth.  
Berichte Inst. Meereskunde univ. Kiel 106, 1 1983, 147 pp.

KIELMANN, J.: Grundlagen und Anwendung eines numerischen Modells der geschichteten Ostsee.  
Berichte Inst. Meereskunde Univ. Kiel 87 a.b 1983, 157 bzw. 116 S.

MATTHÄUS, W., R. SAMMLER und R. SCHWABE: Mesoscale Strömungsmuster und ihre Charakteristika im zentralen Arkonabecken im April 1981.  
Beitr. Meeresk. 54 (1986), 33-51

Über die Möglichkeiten der Aufstellung von Algorithmen zur Chlorophyllbestimmung  
aus spektralen Remissionskoeffizienten in der Ostsee

---

H. S I E G E L

Akademie der Wissenschaften der DDR  
Institut für Meereskunde Warnemünde  
Rostock-Warnemünde

Zusammenfassung

Die dargestellten Unterschiede in den mittleren spektralen Remissionskoeffizienten des Meerwassers von 4 verschiedenen Meeresgebieten werden hervorgerufen durch die Unterschiede in der Konzentration und Zusammensetzung der Inhaltsstoffe.

Algorithmen zur Chlorophyllbestimmung sind für die einzelnen Seegebiete nur begrenzt aufstellbar. Für das Auftriebsgebiet vor Nordwestafrika konnte eine gute Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Chlorophyllkonzentrationen erzielt werden. In der Ostsee ist wegen der starken Variabilität der Konzentration der gelösten organischen Substanzen die Aufstellung von Algorithmen nur für Zeiträume hoher biologischer Aktivität, wie z. B. während der Frühjahrsblüte in den zentralen Becken möglich.

Das durch die Fluoreszenz des Chlorophyll-a erzeugte Remissionsmaximum bei 685 nm ist sehr stark von der Planktonzusammensetzung in unterschiedlichen Seegebieten und Jahreszeiten abhängig.

Summary

Differences of the mean spectral reflectances of four different areas which are produced by the variation in the composition and concentration of the dissolved and suspended material are presented.

For several areas, algorithms for the determination of chlorophyll from reflectance measurements may be derived. Particularly for the upwelling area off Northwest Africa the calculated and measured chlorophyll concentrations compare well. Due to the strong variability of the concentration of the dissolved organic substances in the Baltic algorithms may be only derived for periods of high biological activity, such as the phytoplankton spring bloom in the Baltic proper.

The strength of the reflectance maximum at 685 nm produced by the fluorescence of chlorophyll-a depends on the plankton composition which varies regionally and seasonally.

Резюме

Представленные различия средних спектральных коэффициентов диффузного отражения в четырех различных районах моря были вызваны различиями состава и концентрации растворенных и взвешенных веществ. Алгоритмы для определения концентрации хлорофилла из коэффициентов отражения можно составлять для различных областей только частично.

Хорошее соответствие было получено между вычисленными и измеренными концентрациями хлорофилла в районе северо-западного африканского апвеллинга. Вследствие сильных вариаций концентрации растворенных органических веществ в Балтийском море алгоритмы можно составлять только в периодах высокой биологической активности, как, например, во время весеннего цветения фитопланктона в центральных районах.

Максимум коэффициента отражения около 685 нм, который вызывается флуоресценцией хлорофилла-а, зависит сильно от сезонного состава фитопланктона в различных районах.

## 1. Einführung

Zur Vorbereitung der Nutzung von Fernerkundungsverfahren im sichtbaren Spektralbereich für die Bestimmung der Konzentration ausgewählter Inhaltsstoffe ist es notwendig, neben den Atmosphären- und Oberflächeneinflüssen den Zusammenhang zwischen der spektralen Rückstrahlung des Meerwassers und den Inhaltsstoffen zu untersuchen. Im einzelnen sind das folgende Probleme:

- Einfluß verschiedener Inhaltsstoffe auf die spektrale Remission
- Regionale Unterschiede im Remissionskoeffizienten
- Aufstellung von Algorithmen zur Bestimmung der Konzentration des Chlorophyll-a und anderer Inhaltsstoffe
- Übertragbarkeit von Algorithmen auf andere Seegebiete und Jahreszeiten
- Welche Spektralkanäle sind für die Bestimmung von Inhaltsstoffen, insbesondere des Chlorophylls in den verschiedenen Seegebieten geeignet.

Die Verteilung der suspendierten Inhaltsstoffe kann für eine Reihe von Fragestellungen wichtige Informationen liefern, so z.B. für die Interpretation dynamischer Prozesse im Meer. Die Chlorophyll-a+Phaeopigment-Konzentration als Maß für die Phytoplanktonbiomasse ist eine geeignete Größe zur Abschätzung der biologischen Aktivität eines Seegebietes. Durch den synoptischen Charakter der Fernerkundungsverfahren ist es möglich, die biologische Aktivität großflächig einzuschätzen.

## 2. Meßmethodik und Untersuchungsgebiete

Zur Bearbeitung der genannten Fragestellung wurden mit dem Spektralfotometer BAS-W die aufwärtsgerichtete Strahldichte  $L_u$  unter der Meeresoberfläche und die einfallende Bestrahlungsstärke  $E_G$  über der Meeresoberfläche gemessen und der Remissionskoeffizient nach der folgenden Beziehung berechnet.

$$(1) \quad \mathcal{R} = \frac{\pi \cdot L_u}{E_G}$$

Der sichtbare Spektralbereich von 380 - 750 nm wurde mit 28 Meßstellen mit Halbwertsbreiten  $\Delta \lambda$  zwischen 10 und 20 nm abgetastet. Das Meßregime wurde in dieser Weise gewählt, damit keine der beiden Strahlungsgrößen unmittelbar durch die Meeresoberfläche beeinflusst ist. Das Spektralfotometer BAS-W wurde bei SIEGEL und LEITERER (1986) vorgestellt. Ausführliche Untersuchungen zur Meßmethodik liegen bei SIEGEL (1986a) vor. Die Kalibrierung des Spektralfotometers erfolgte nach LEITERER und WELLER (1983). Als an der Oberfläche optisch wirksame Konzentration wurde die mittlere Chlorophyll-a+Phaeopigment-Konzentration der obersten 10-m-Schicht nach LORENZEN und JEFFREY (1980) bestimmt.

An Bord der Forschungsschiffe "Alexander v. Humboldt" und "Prof. Albrecht Penck" wurden Messungen des spektralen Remissionskoeffizienten auf ca. 200 Stationen in für die DDR volkswirtschaftlich wichtigen Gebieten durchgeführt. Im Juni und September 1983 sowie im April/Mai 1985 erfolgten die Untersuchungen in der Ostsee und im Februar/März 1984 im östlichen Zentralatlantik und im Auftriebsgebiet vor Nordwestafrika (vgl. Abbildungen 1a und 1b).

Die Untersuchungen im Atlantik dienten dazu, Remissionskoeffizienten für klares Ozeanwasser und Auftriebswasser zu erhalten, in denen die optischen Eigenschaften dominant durch das Meerwasser selbst sowie durch das Phytoplankton und dessen Abbauprodukte bestimmt werden. Es handelt sich also um Gebiete ohne wesentlichen Küsteneinfluß.

In der Ostsee spielen dann die Inhaltsstoffe eine besondere Rolle, die durch den Küstenabfluß eingetragen werden.

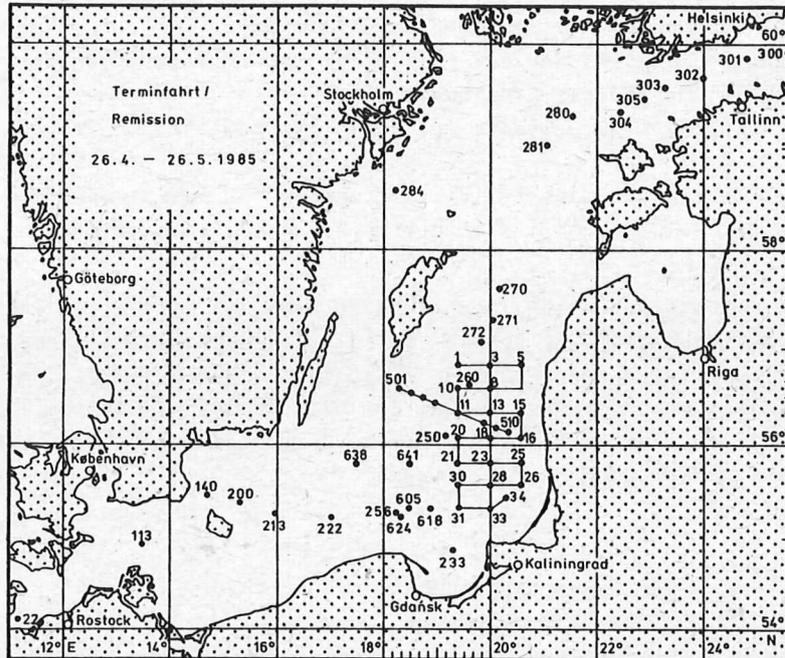


Abb. 1a: Remissionsuntersuchungen in der Ostsee im Jahre 1985

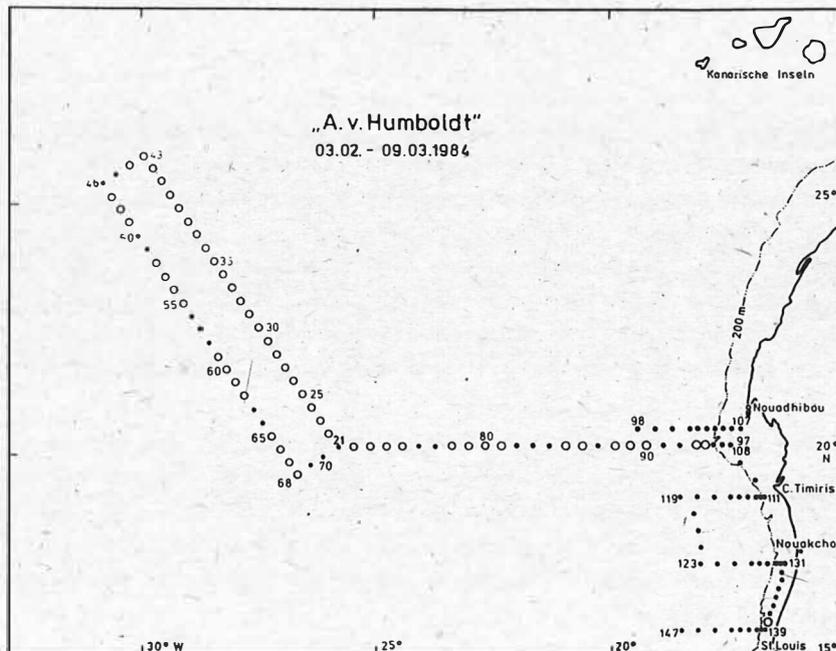


Abb. 1b: Remissionsuntersuchungen im östlichen Zentralatlantik und im Auftriebsgebiet vor Nordwestafrika

### 3. Der Einfluß ausgewählter Inhaltsstoffe auf die spektrale Remission

Die spektrale Remission des Meerwasser entsteht durch das Zusammenwirken des einfallenden Strahlungsfeldes mit dem Meerwasser selbst und den darin gelösten und suspendierten Inhaltsstoffen und stellt den Anteil dar, der aus dem Meer zurückgestreut wird. Die spektrale Modifizierung erfolgt durch die selektive Absorption des reinen Meerwassers und der Inhaltsstoffe. Je nach Lage des zu untersuchenden Seegebietes kann die Art und der Ursprung der Inhaltsstoffe (MOREL, PRIEUR, 1977) und somit auch die spektrale Rückstrahlung unterschiedlich sein. In Abb. 2 sind mittlere Remissionskoeffizienten für klares Ozeanwasser, Auftriebswasser, für die Ostsee und den Greifswalder Bodden dargestellt. Das Remissionsmaximum verschiebt sich vom blauen Bereich über grün bis in den grüngelben Spektralbereich.

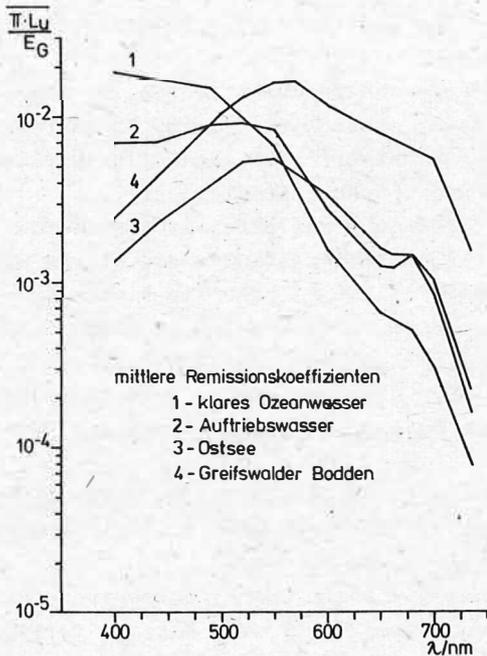


Abb. 2: Mittlere spektrale Remissionskoeffizienten für klares Ozeanwasser, Auftriebswasser, Ostsee und Greifswalder Bodden

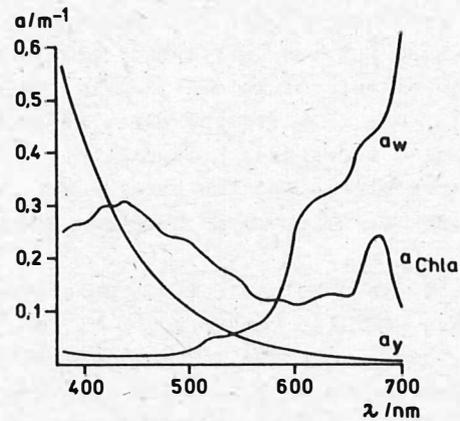


Abb. 3: Spezifische Absorptionskoeffizienten des reinen Meerwassers  $a_w$ , des Chlorophyll-a ( $10 \text{ mg/m}^3$ ) und der Gelbstoffe  $a_y$  ( $1 \text{ mg/dm}^3$ )

Der spektrale Remissionskoeffizient des Meerwassers ist proportional dem Verhältnis aus dem Rückstreuungskoeffizienten  $b_b$  und dem Absorptionskoeffizienten  $a$ . Die verschiedenen Ansätze für diesen Zusammenhang sind bei GORDON und MOREL (1983), SIEGEL (1986b) gegenübergestellt. Für Ozeanwasser haben MOREL und PRIEUR (1977) die folgende Beziehung gefunden:

$$(2) \quad R_w = 0,33 \frac{b_b}{a}$$

Der Rückstreuungskoeffizient setzt sich aus den Anteilen des reinen Meerwassers  $b_{bw}$  und der Partikel  $b_{bp}$  zusammen

$$(3) \quad b_b = b_{bw} + b_{bp}$$

Die Hauptkomponenten des Absorptionskoeffizienten sind die Anteile des reinen Meerwassers  $a_w$ , des Phytoplanktons  $a_{Ch}$  und der gelösten organischen Substanzen (Gelbstoffe)  $a_y$ .

$$(4) \quad a = a_w + a_{Ch} + a_y + a_B$$

Alle bisher nicht bekannten Absorptionskoeffizienten werden unter sonstige zusammengefaßt. Die spezifischen Absorptionskoeffizienten des reinen Meerwassers und der dominierenden Inhaltsstoffe sind in Abb. 3 dargestellt.

Die Absorptionskoeffizienten erzeugen durch ihre starke spektrale Abhängigkeit im Vergleich zum Rückstreuoeffizienten auch den spektralen Gang in der Rückstrahlung (vgl. SIEGEL, 1986b).

Im klaren Ozeanwasser werden die optischen Eigenschaften durch die Absorption des reinen Meerwassers bestimmt. Durch das Absorptionsminimum im kurzwelligen Bereich dringt dieser Anteil der einfallenden Strahlung am weitesten ins Meer ein und wird entsprechend zurückgestreut. Es entsteht die blaue Farbe des Ozeans.

Tritt im Ozean eine Planktonentwicklung auf, was insbesondere durch Aufquellen nährstoffreichen Wassers an Schelfkanten bewirkt werden kann, absorbiert das Phytoplankton über die Pigmente die einfallende Sonnenstrahlung. Der Hauptvertreter, das Chlorophyll-a, ist im Absorptionsspektrum durch zwei Maxima bei 443 und 660 nm charakterisiert.

In Küstennähe sowie in Randmeeren mit begrenzter Verbindung zum offenen Ozean werden durch Resuspension im Flachwasserbereich bzw. durch den Festlandsabfluß suspendierte und gelöste organische Materialien ins Meer getragen. Absorbierende gelöste organische Substanzen, die im Auftriebsgebiet teilweise als Abbauprodukte auftreten und in Küstennähe vorwiegend terrigenen Ursprungs sind, weisen einen exponentiellen Anstieg der Absorption zum kurzwelligen Spektralbereich auf. Dadurch ergibt sich auch der starke Abfall der Remissionskoeffizienten zu kürzeren Wellenlängen für die Ostsee und den Greifswalder Bodden.

Durch die unterschiedliche Konzentration der absorbierenden Inhaltsstoffe verschiebt sich das Remissionsmaximum vom blauen (klares Ozeanwasser) über den grünen (Auftriebsgebiet, Ostsee) bis zum grüngelben Spektralbereich (Greifswalder Bodden).

Suspendierte Inhaltsstoffe erhöhen die Lichtstreuung und somit auch die spektrale Rückstrahlung im gesamten sichtbaren Bereich. Das wird besonders deutlich im Bereich geringer Inhaltsstoffabsorption, also bei Wellenlängen  $> 550$  nm. Dadurch entstehen auch die höheren Remissionskoeffizienten im langwelligen Bereich für das Auftriebsgebiet, die Ostsee und den Greifswalder Bodden im Vergleich zum klaren Ozeanwasser.

#### 4. Algorithmen zur Bestimmung der Konzentration des Chlorophyll-a+Phaeopigment aus Remissionsmessungen

Für die Aufstellung von Algorithmen zur Bestimmung der Chlorophyll-a+Phaeopigment-Konzentration aus Remissionskoeffizienten werden vorrangig empirische Ansätze genutzt. Die besten Korrelationen ergaben Potenzansätze zwischen der Chlorophyllkonzentration und Farbindizes zweier verschiedener Wellenlängen.

$$(5) \quad Chla + Ph = A \left( \frac{R(\lambda_1)}{R(\lambda_2)} \right)^B$$

Für die verschiedenen Expeditionen und Seegebiete wurde eine Regressionsanalyse unter Nutzung von Remissionskoeffizienten 10 verschiedener Wellenlängen durchgeführt.

#### 4.1. Algorithmen für das Auftriebsgebiet vor Nordwestafrika

Für das Auftriebsgebiet vor Nordwestafrika lieferte die Regressionsanalyse das erwartete Ergebnis. Da im Auftriebsgebiet die optischen Eigenschaften dominant durch das Phytoplankton und dessen Abbauprodukte bestimmt werden, ergaben sich die besten Korrelationen für Beziehungen, die in den Farbindizes Remissionskoeffizienten der Wellenlängen  $\lambda_1 = 440 \text{ nm}$  und  $\lambda_2 = 550, 520 \text{ nm}$  beinhalten. Bei 440 nm befindet sich das Absorptionsmaximum des Chlorophyll-a und zwischen 520 und 550 nm das Absorptionsminimum und somit das Remissionsmaximum für produktives Ozeanwasser. Für einen Konzentrationsbereich zwischen  $0,3$  und  $6,2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  Chlorophyll-a+Phaeopigment konnte die folgende Beziehung

$$(6) \quad \text{Chl-a+Ph} = (0,933 \pm 0,120) \left( \frac{R_{440}}{R_{550}} \right) (-1,772 \pm 0,159)$$

mit einem Korrelationskoeffizienten  $r = 0,83$  gefunden werden. Diese Beziehung wurde genutzt, um für ein Stationsnetz im Auftriebsgebiet vor Nordwestafrika einen Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Chlorophyll-a+Phaeopigmentkonzentrationen durchzuführen. Die Abbildungen 4a und 4b zeigen recht gute Übereinstimmung.

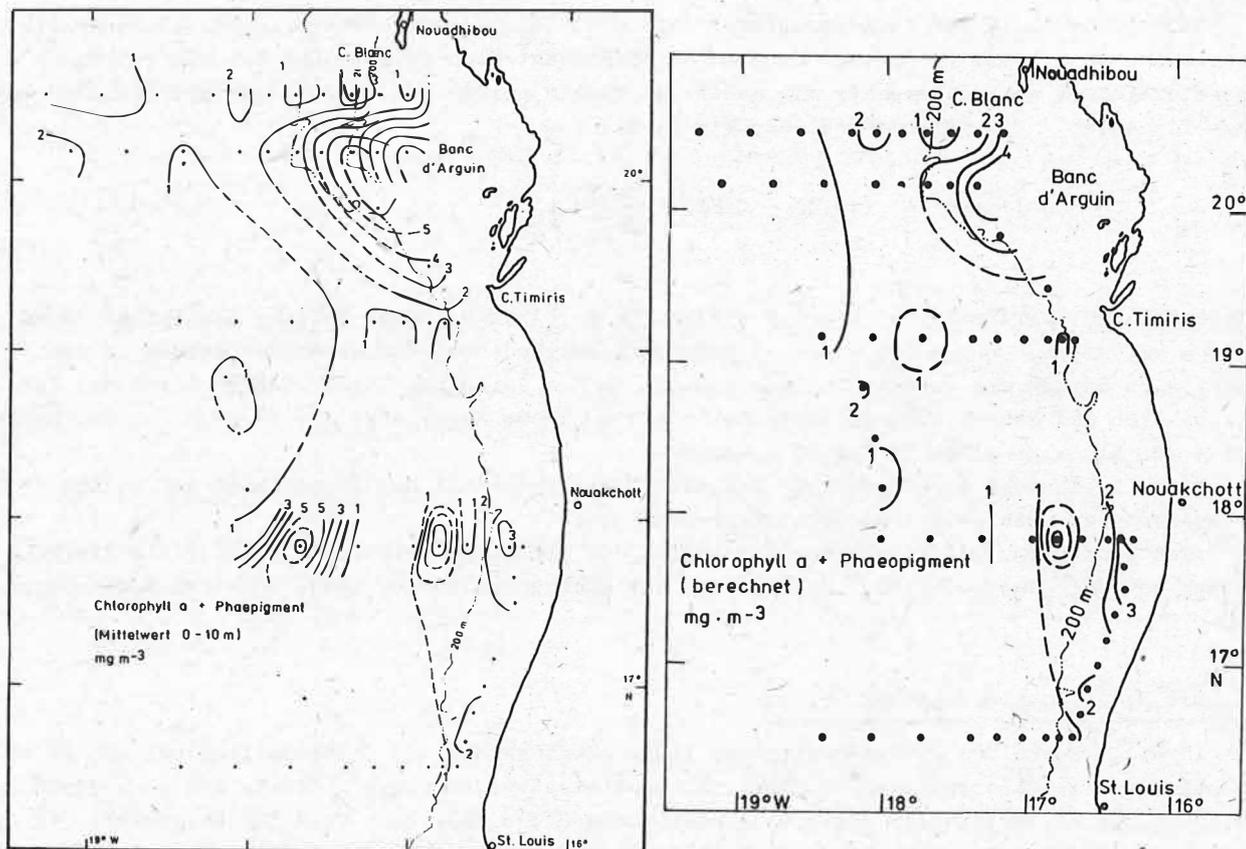


Abb.4: Gemessene (a.) und berechnete (b.) Chlorophyll-a+Phaeopigment-Konzentrationen im Auftriebsgebiet vor Nordwestafrika

#### 4.2. Algorithmen für die Ostsee

In der Ostsee werden durch die eingeschränkte Verbindung zum offenen Ozean die optischen Eigenschaften sehr stark durch die mit dem Küstenabfluß eingetragenen suspendierten und gelösten Inhaltsstoffe bestimmt. Hierbei haben die eingangs erwähnten Gelbstoffe eine besondere Bedeutung wegen der starken Absorption im kurzwelligen Bereich, eben auch im Bereich des Absorptionsmaximums des Chlorophyll-a bei 443 nm. Wie auch Modellrechnungen gezeigt haben (SIEGEL, 1986b), beeinflusst die Absorption der Gelbstoffe für das vermessene Konzentrationsintervall von 0,8 - 4 mg · dm<sup>-3</sup> den Remissionskoeffizienten im kurzwelligen Bereich wesentlich stärker als das Konzentrationsintervall des Chlorophylls, das mit 1,8 - 20 mg · m<sup>-3</sup> vermessen wurde.

Daraus ergibt sich die These, daß Algorithmen in der Ostsee nur aufgestellt werden können für Gebiete und Zeiträume, in denen die Variabilität der Gelbstoffe gering ist und die Chlorophyllkonzentration einen größeren Bereich überstreicht.

Für die Untersuchungen in der Ostsee wurde ebenfalls eine Regressions-Analyse zur Ableitung von Chlorophyllalgorithmen durchgeführt.

Es konnte kein einheitlicher Algorithmus für alle Messungen in der Ostsee aufgestellt werden. In der Stagnationsphase nach der Frühjahrsblüte im Juni 1983 in der Gotlandsee, im September 1983 auf einer Dauerstation in der Arkonasee sowie für ein Stationsnetz in der südlichen Gotlandsee im Einflußbereich des Kurischen Haffs und der Wisła konnten keine Beziehungen mit Korrelationskoeffizienten > 0,7 gefunden werden. Unterschiede in den optischen Eigenschaften werden in diesen Zeiträumen nicht dominant vom Phytoplankton erzeugt.

Für den Zeitraum der Frühjahrsblüte, der durch Chlorophyll-a+Phaeopigment-Konzentrationen zwischen 1,8 und 20 mg · m<sup>-3</sup> und Gelbstoffkonzentrationen zwischen 0,9 und 2,5 mg · dm<sup>-3</sup> gekennzeichnet war, konnten für die zentralen Becken der Ostsee Beziehungen mit Korrelationskoeffizienten > 0,9 gefunden werden, wie z. B.

$$\text{Chl-a+Ph} = (12,33 \pm 0,88) \left( \frac{\mathcal{R}_{520}}{\mathcal{R}_{600}} \right)^{(-1,91 \pm 0,16)} \quad r = 0,92$$

Die höchsten Korrelationen  $r > 0,9$  wurden für Farbindizes unter Nutzung der Wellenlängen  $\lambda_1 = 520$  nm und  $\lambda_2 = 600 - 660$  nm gefunden. Während der Frühjahrsblüte werden in den zentralen Becken der Ostsee die Unterschiede in den optischen Eigenschaften durch das Phytoplankton und dessen Abbauprodukte bestimmt. Ähnliche Ergebnisse lassen sich für den Zeitraum der Blaualgenblüte im August erwarten.

Diese Ergebnisse haben gezeigt, daß eine Übertragbarkeit der Algorithmen auf andere Jahreszeiten bzw. Seegebiete nicht einfach möglich ist.

Auch eine Berücksichtigung der Absorption der aktuellen Gelbstoffkonzentration lieferte unter Nutzung eines einfachen Modells für die anderen Messungen keine besseren Beziehungen.

#### 5. Das Remissionsmaximum bei 685 nm

In einer Reihe von Arbeiten wird das Fluoreszenzmaximum des Chlorophyll-a bei 685 nm zur Bestimmung der Chlorophyll-Konzentration aus Remissionsmessungen genutzt. KIM u.a. (1985) stellen dieses Maximum als universell anwendbare Größe dar, also auch für Seegebiete, in denen die optischen Eigenschaften nicht dominant von dem Phytoplankton bestimmt werden.

Für alle Messungen des spektralen Remissionskoeffizienten wurden daher die Abweichungen des Remissionskoeffizienten bei 680 nm von einer gedachten Basislinie zwischen  $\mathcal{R}_{650}$  und  $\mathcal{R}_{735}$  gebildet. Diese Abweichungen wurden dann den gemessenen Chlorophyll-a+Phaeopigment-

Konzentrationen gegenübergestellt, und es ergaben sich für die verschiedenen Expeditionen unterschiedliche Beziehungen (vgl. Abb. 5).

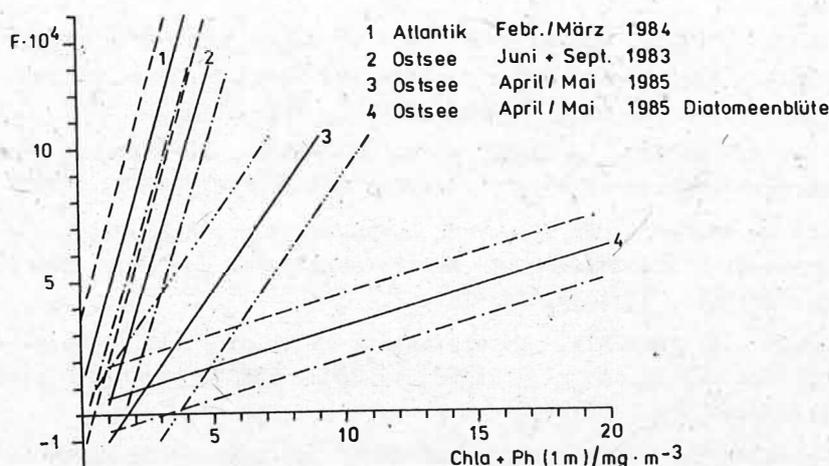


Abb. 5: Abweichungen  $F$  des Remissionskoeffizienten bei 680 nm von einer gedachten Basislinie in Abhängigkeit von der Chlorophyll-a+Phaeopigment-Konzentration

Aus biologischen Untersuchungen von STIENEN (1981) ist bekannt, daß die Fluoreszenzausbeute pro Chlorophyllereinheit von einer Reihe von Faktoren abhängt, die sich auch gegenseitig beeinflussen können. Zu diesen Faktoren gehören die gattungsmäßige Phytoplanktonzusammensetzung, der physiologische Zustand der Planktongemeinschaft, die Temperatur, die Nährstoffversorgung, die Tagesrhythmik der Photosyntheseleistung und die Hemmung der Fluoreszenz durch das Tageslicht.

Zur Deutung der unterschiedlichen Beziehungen soll hier einmal die Planktonzusammensetzung herangezogen werden. Diatomeen (Kieselalgen), die während der Frühjahrsblüte entsprechend den Messungen mit bis 100 % dominant waren, charakterisiert ein sehr geringes Fluoreszenz/Chlorophyll-Verhältnis. Dadurch entstehen die Unterschiede in den Beziehungen, z. B. auch zum September, wo die  $\mu$ -Algen dominant waren, die sich durch ein hohes Fluoreszenz/Chlorophyll-Verhältnis auszeichnen.

Die starke Variabilität der Phytoplanktonzusammensetzung in der Ostsee erklärt auch die Unterschiede in den Beziehungen. Diese Ergebnisse gestatten keine Unterstützung der Behauptung bezüglich der universellen Anwendbarkeit des Fluoreszenzmaximums des Chlorophyll-a.

## 6. Schlußfolgerungen

Aus diesen Ergebnissen lassen sich die Schlußfolgerungen ableiten, daß beim gegenwärtigen Erkenntnisstand eine Nutzung von Fernerkundungsdaten zur Bestimmung der Chlorophyllkonzentration

- in produktiven Gebieten der Ozeane unter Nutzung von Anschlußmessungen nicht problematisch ist,
- in der Ostsee aber nur für Zeiträume hoher biologischer Aktivität, wie z.B. während der Frühjahrsblüte und möglicherweise während der Blaualgenblüte im Sommer, sinnvoll erscheinen

Es ist nicht möglich, wie in der Literatur häufig praktiziert, einen Algorithmus ohne Kontrollmessungen für unterschiedliche Meeresgebiete und Jahreszeiten zu verwenden.

### 7. Literaturverzeichnis

- [ 1\_] GORDON, H.R. und A. MOREL: Remote assessment of ocean color for interpretation of satellite visible imagery, a review. In: "Lecture notes in coastal and estuarine studies" Series Springer-Verlag, N.Y. (1983), 111
- [ 2\_] KIM, H.H.; H. van der PIEPEN, V. AMANN und R. DOERFFER: An evaluation of 685 nm fluorescence imagery of coastal waters. ESA Journal (1985), 17-27
- [ 3\_] LEITERER, U. und M. WELLER: Probleme und Lösungswege bei Kalibrierung und Strahlungsmessgeräten für Meßaufgaben der Fernerkundung der Erde. Zeitschrift für Meteorologie, 3(1983), 148-151
- [ 4\_] LORENZEN, C.J. und S.W. JEFFREY: Determination of chlorophyll in seawater. Report of intercalibration tests sponsored by SCOR. UNESCO technical papers in marine science, No. 35(1980), 20 p
- [ 5\_] MOREL, A. and L. PRIEUR: Analysis of variations in ocean color. Limnol. Oceanogr., 22(1977), 709-722
- [ 6\_] SIEGEL, H.: Some remarks on the ratio between the upward irradiance and nadir radiance just beneath the sea surface. Beitr. Meereskunde, 51(1984), 75
- [ 7\_] SIEGEL, H.: On the reflectance maximum of sea water near 685 nm (short note). Beitr. Meereskunde, 53(1985), 71-72
- [ 8\_] SIEGEL, H.: On the relationship between the concentration of chlorophyll-a and the reflectance color indices. Int. Coun. Expl. of the Sea, M.C., C.M. 1985b/C:27
- [ 9\_] SIEGEL, H.: Zusammenhang zwischen ausgewählten Inhaltsstoffen und der spektralen Remission von Wasserflächen. Diss. Rostock (1986a)
- [ 10\_] SIEGEL, H.: The relationship between the spectral reflectance and the inherent optical properties in oceanic water. Beitr. Meereskunde (1986b), in Druck
- [ 11\_] SIEGEL, H. and H.-J. BROSIN: Regional differences in the spectral reflectance of sea water. Beitr. Meereskunde (1986), in Druck
- [ 12\_] SIEGEL, H. und U. LEITERER: Die Wasservariante des Spektralfotometers BAS(BAS-W), Feingerätetechnik, 35(1986)
- [ 13\_] STIENEN, C.: Die Anwendung von optischen in-situ-Meßmethoden für produktionsbiologische Fragestellungen. Institut f. Meereskunde Kiel Diplomarbeit, (1981), 97 S.

Möglichkeiten zur Gewinnung von Informationen über die  
Wasseroberfläche mit dem Mikrodensitometer

---

L. G O H S

Akademie der Wissenschaften der DDR  
Institut für Meereskunde Warnemünde  
Rostock-Warnemünde

Zusammenfassung :

Das Mikrodensitometer MD 100 vom VEB Carl Zeiss Jena ist in erster Linie zur Erprobung von Meß- und Auswerteverfahren von Satelliten- und Flugzeugaufnahmen einsetzbar. Durch Anbringen einer Zusatzleuchte ist das Mikrodensitometer auch zum Vermessen von Grauwerten aus Papierbildern geeignet. Die Untersuchung von Trübungs- und Temperaturfeldern sowie anderen Erscheinungen auf der Meeresoberfläche und das Erkennen von atmosphärischen Störungen wird bei geeigneten Satellitenaufnahmen durch die mikrodensitometrischen Messungen der mathematischen Bearbeitung zugänglich.

Summary

The main application for the microdensitometer MD 100 made by VEB Carl Zeiss Jena is the testing of measuring and interpretation procedures for airborne and spaceborne images. Operated with an additional lamp, the microdensitometer may be applied for measurements of grey values from paper images. For mathematical processing appropriate satellite images enable the use of microdensitometer measurements to investigate turbidity and temperature fields, as well as other phenomena of the sea surface, and to recognize atmospheric disturbances.

Резюме

Микроденситометр MD 100 народного предприятия VEB Kombinat Carl Zeiss JENA в первую очередь применяется для испытания методов измерения и обработки аэрокосмической информации. Используя добавочное освещение, микроденситометром можно измерять значения серой шкалы, отпечатанной на фотобумаге. Математическая обработка микроденситометрических измерений позволяет провести исследования полей помутнения и температуры и других явлений на поверхности воды, а также атмосферных помех.

## 1. Einleitung

Moderne Bildverarbeitungsanlagen stehen nicht immer zur Verfügung. Die noch vorhandenen Mikrodensitometer MD 100 vom VEB Carl Zeiss Jena können im Durchsichts- und Reflexionsverfahren zu einer ersten Informationsgewinnung über die Erscheinungen an der Meeresoberfläche aus Flugzeug- oder Satellitenaufnahmen genutzt werden.

Im Durchsichtsverfahren wird eine Aufnahme (Filmnegativ) vom sowjetischen Satelliten Meteor-30 des sichtbaren Spektralbereiches vermessen. Die systematischen Störeinflüsse auf der Aufnahme sind deutlich in den mikrodensitometrischen Aufzeichnungen mit dem Kompensationsschreiber K 201 im kleinen Registrierungsmaßstab zu erkennen.

Der Kontrast Land/Wasser im interessierenden Ostseebereich wurde berechnet, um daraus orientierende Aussagen über atmosphärische Störungen zu erhalten.

Im Reflexionsverfahren wird eine APT-Aufnahme vom Wettersatelliten NOAA-7 des thermischen Spektralbereiches vermessen. Es wird längs einer Linie durch das Gdanskee Becken und das östliche Gotlandtief die Strahlungstemperatur der Wasseroberfläche bestimmt. Die Temperaturen unter 15 °C weisen auf atmosphärische Störungen hin.

## 2. Messungen im Durchsichtsverfahren

Es folgt eine kurze Darstellung des Ablaufes der Auswertung einer densitometrischen Vermessung von einem Filmnegativ im sichtbaren Spektralbereich einer METEOR-30-Aufnahme:

1. Auflegen einer undurchsichtigen Maske, die das auszumessende Feld abgrenzt.
2. Abtasten des Meßfeldes mit dem MD 100 mit einer Meßfleckgröße von (0.05 x 0.05) mm und Aufzeichnung der Meßwerte mit dem Kompensationsschreiber des VEB Carl Zeiss Jena K 201 in relativen Einheiten.
3. Auslesen der Meßkurven und Umwandeln der Meßwerte in Schwärzungswerte, die auf einen Graukeil 15 a bezogen wurden.
4. Bestimmen von systematischen Störeinflüssen auf die Filmschwärzung. Beim METEOR-30 sowie allen Wettersatelliten ist im sichtbaren Spektralbereich in der Nord-Süd-Richtung eine Zunahme der Filmschwärzung als Störgröße festzustellen.
5. Darstellen der Ergebnisse in relativen Schwärzungswerten nach Abzug der systematischen Störeinflüsse.
6. Bestimmen des Kontrastes längs der Land/Wasser-Grenze

$$K = \frac{S_1 - S_2}{S_1 + S_2} \quad S_1 > S_2 \quad (\text{relative Schwärzung})$$

7. Abgrenzen von Gebieten mit nahezu gleichen Kontrastgrößen. Auf dem Meßausschnitt der METEOR-30-Aufnahme wurden 9 Gebiete mit folgenden Werten abgegrenzt:

A (1)	$K_1 = 0.211 \pm 0.042$	(n = 8)
B (1)	$K_2 = 0.184 \pm 0.054$	(n = 10)
C (5)	$K_3 = 0.126 \pm 0.036$	(n = 85)
D (2)	$K_4 = 0.054 \pm 0.028$	(n = 33)

A, B, C, D sind die Gebiete mit unterschiedlichem Kontrast. Die Zahlen in der Klammer zeigen an, wie oft das Gebiet auf der Abb. 1 vorkommt.

8. Auswählen des mittleren Kontrastes, mit dem der Kontrastausgleich im Meßgebiet vorgenommen werden soll.

$$S'_{21} = S_{11} \frac{1 - \bar{K}}{1 + \bar{K}} \quad \bar{K} = 0.184$$

9. Reduzieren aller Werte zeilenweise im Verhältnis zum Randkontrast

$$S'_{2x} = S_{2x} S'_{21} / S_{21}$$

$S_{11}$	=	1. Landwert
$S_{21}$	=	1. Wasserwert (korrigiert)
$S_{2x}$	=	unkorrigierter laufender Wasserwert
$S'_{2x}$	=	korrigierter laufender Wasserwert

10. Darstellen der reduzierten relativen Schwärzungswerte in der Abbildung 2.

Die Aufnahme vom 20.5.1986 um 10.42 UTC vom Umlauf B-26794 mit dem Äquatordurchgang von 166.3° West und einer Flughöhe von 571 km wurde vom Satelliten METEOR-30 aufgenommen und mit dem Mikrodensitometer vermessen. Der MSU-Sensor des Satelliten erfaßt im sichtbaren Bereich den Kanal 500 - 700 nm. Dieser Kanal schließt folgende optische Eigenschaften der Wasserinhaltsstoffe und der Atmosphäre im wesentlichen ein:

500 - 560 nm	noch vorhandene Gelbstoffe (MAUL/GORDON, 1975)
550 - 670 nm	Sedimente oder industrielle Verschmutzung (VOILLIER u.a., 1981)
670 nm	Aerosoleinfluß bei der Annahme, daß die Rückstrahlung des klaren Ozeanwassers gleich Null ist (GORDON/MOREL, 1975)
674 nm	Planktonblüte (MAUL/GORDON, 1975)
685 nm	Fluoreszenz-Emission des Chlorophylls (MOREL/PRIEUR, 1977)
500 - 700 nm	suspendierte Partikel (MAUL/GORDON, 1983)
400 - 700 nm	Wolken, Nebel, Dunst (KLUGE, 1983).

### 3. Messungen im Reflexionsverfahren

Um auch Aufnahmen auf Papierunterlage densitometrisch vermessen zu können, wurde am Mikrodensitometer eine Mikroskopierleuchte, versehen mit einer optischen Einrichtung zur Bündelung des Lichtstrahls, unter 45 Grad angebracht.

Eine Auswertung erfolgte von einer APT-Aufnahme des NOAA-7 Wettersatelliten vom 8.8.1984, 13.34 UTC, des thermischen Spektralbereiches auf einer Meßlinie, die in der Gdansker Bucht begann und zwischen dem östlichen 19. und 20. Längengrad in das Gotlandbecken hineinragte. Es wurde ein Meßfleck von (0.05 x 0.1) mm am Mikrodensitometer eingestellt. Die Meßwerte wurden mit dem Kompensationsschreiber K 201 registriert bzw. mit dem Serialisierungssystem digital aufgezeichnet.

Die Strahlungstemperatur aus den APT-Aufnahmen der NOAA-Wettersatelliten wurde mit Hilfe des APT-Rahmens bestimmt. Weiterhin wird der Ablauf über die Bearbeitung der APT-Aufnahmen grob skizziert:

1. Linienweise Vermessung der APT-Aufnahme mit dem MD 100 und Aufzeichnung der Meßwerte in willkürlichen Einheiten.
2. Vermessen des Randrahmens und Ermittlung der Beziehungen zwischen Grauwerten und Strahlungstemperatur (LAURITSON u.a. 1979).
3. Umrechnung der willkürlichen Einheiten in Grauwerte des 8stufigen Graukeils des APT-Rahmens.
4. Überführung der Grauwerte nach Vorschrift (LAURITSON) in Strahlungstemperatur.
5. Vergleich der Strahlungstemperatur mit direkt auf der Wasseroberfläche oder aus anderen Quellen direkt bestimmten Wasseroberflächentemperaturen.
6. Bestimmung der Abweichungen zwischen direkt gemessener Temperatur und der Strahlungstemperatur aus den Telemetriedaten der Wettersatelliten gewonnenen Temperatur.
7. Abschätzung der Störgröße, die atmosphärische oder andere Ursachen hat, aus der Temperaturabweichung.
8. Korrektur und Darstellung des Temperaturverlaufs.

In der Tabelle ist die errechnete Temperaturverteilung längs der angegebenen Meßlinie im APT-Bild vom 8.8.1984 von Süd nach Nord eingetragen. 1 mm auf dem Bild entspricht etwa 11 km in der Natur. Die Abstandsangaben in der Tabelle werden in mm vorgenommen.

Tabelle 1 : Temperaturverteilung

Abstand	T °C						
1	20.3	10	16.3	19	13.3	28	0.8
2	20.0	11	16.5	20	8.1	29	0.0
3	20.0	12	17.1	21	10.2	30	0.1
4	17.2	13	17.2	22	9.3	31	5.3
5	15.1	14	17.0	23	8.9	32	7.1
6	15.1	15	15.9	24	9.0	33	11.2
7	16.1	16	12.0	25	6.6	34	10.4
8	16.5	17	13.6	26	8.5	35	8.5
9	16.0	18	12.8	27	4.4		

Temperaturen in der Tabelle um 20 °C entsprechen den Temperaturen auf dem festen Land. Aus direkten Temperaturmessungen, die einige Stunden später ausgeführt wurden als die APT-Aufnahme, ergaben sich im Mittel Temperaturen um 16 °C an der Wasseroberfläche, so daß alle Temperaturen unter 15 °C auf atmosphärische Störungen zurückgeführt werden müssen.

Einige Genauigkeitsbetrachtungen lassen sich über die Temperaturbestimmung aus APT-Aufnahmen der NOAA-Wettersatelliten ausführen:

- Bei optimalen Bedingungen ist eine Temporauflösung von 0.5 K möglich (MARSHALL, 1982)
- Mit Hilfe des Randrahmens berechnete Strahlungstemperatur kann einen Fehler von 2 K aufweisen; dieser ist verringerbar, falls ein Anschluß an direkt gemessene Wasseroberflächentemperatur vorhanden ist (MARSHALL, 1982)
- Mit dem MD 100 ist eine Temporauflösung von 1 K möglich
- Eine Grauwertauflösung ist bei den APT-Aufnahmen im Schwärzungsbereich von 0.3 bis 1.0 um 0.01 zu erreichen.

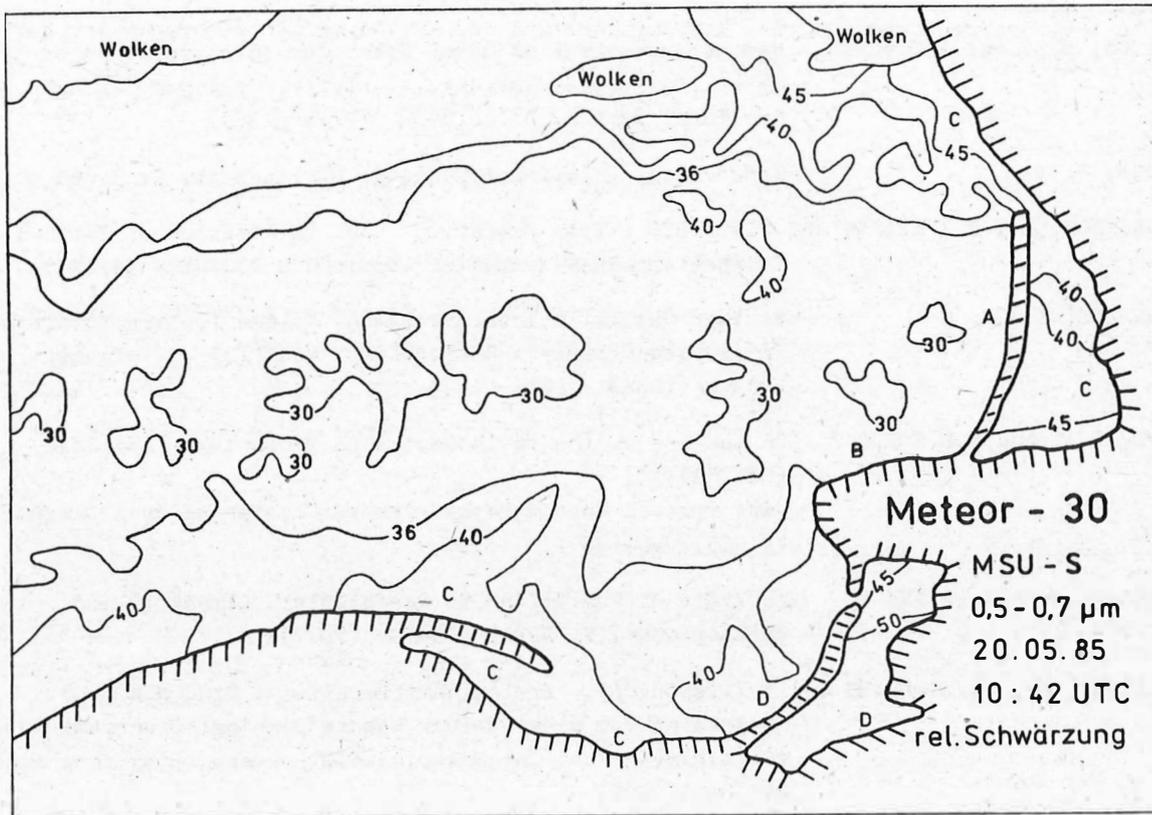


Abb. 1 Darstellung der Isolinien der relativen Schwärzung nach der Korrektur von systematischen Störeinflüssen. Am Bildausschnitt wurde keine geometrische Entzerrung vorgenommen.

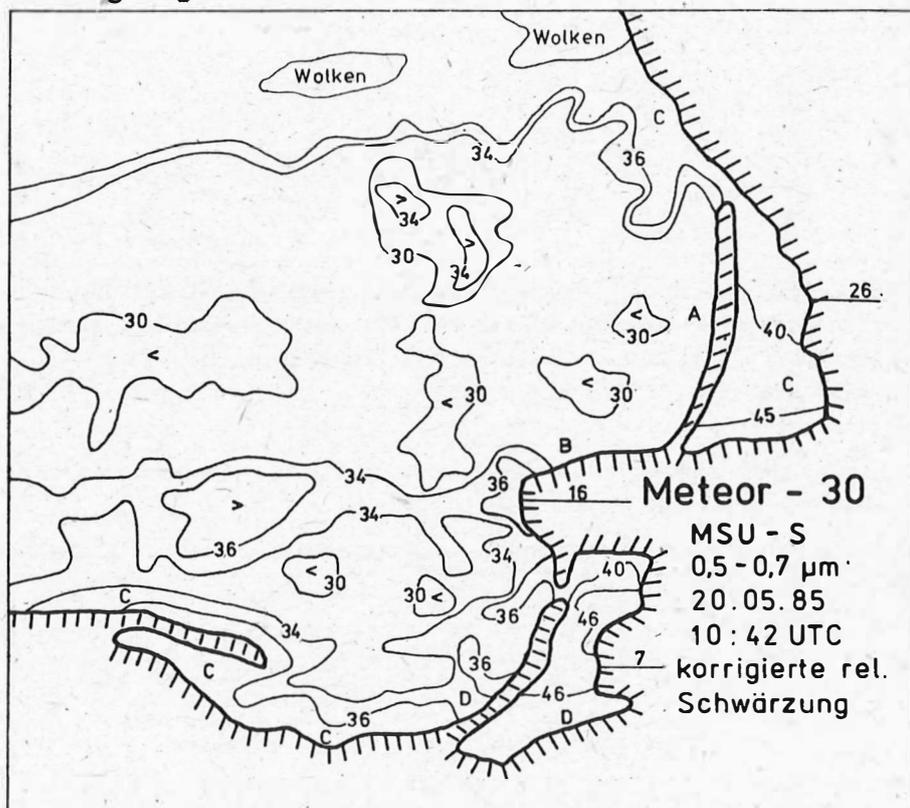


Abb. 2 Darstellung der Isolinien der relativen Schwärzung nach dem Kontrastausgleich mit der Bezugsgröße  $K = 0.184$

4. Literatur

- GORDON, H.R. and A.Y.MOREL : Remote Assessment of Ocean Color for Interpretation of Satellite Visible Imagery. A. Review. Springer-Verlag New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo (1983)
- KLUGE, J. : Meteorologie, Geofernerkundung. 8. Lehrheft, S. 3 und 4 (1983)
- LAURITSON, L., G.I.NELSON and F.W.PORTO : Data Extration and Calibration of TIROS-N/NOAA Radiometers. NOAA Technical Memorandum NESS 107 (1979)
- MARSHALL, T.A. : Weather Satellite Interpretation. Volume 1, Directorate of Naval Oceanography & Meteorology, Ministry of Defence, London (1982)
- MAUL, G.A. and H.R.GORDON : On the Use of the Earth Resources Technology Satellite (LANDSAT-1).  
In: Optical Oceanography. Remote Sensing of Environment, 4(1975), 95-128
- MOREL, A. and L.PRIEUR : Analysis of Variations in Ocean Color. Limnology and Oceanography, V. 22(4) 709-722 (1977)
- VOILLIER, M., N.BAUSSART and P.Y.DESCHAMPS : Preliminary Results of CZCS NIMBUS-7 Experiment For Ocean Colour Remote Sensing: Observation of the Ligurian Sea. In: Gower, J.F.R. Oceanography from space. 387-393 (1981)

Temperatureichung von IR-Wetterbildern

H.-H. VAJEN

Akademie der Wissenschaften der DDR  
Institut für Kosmosforschung,  
Satellitenbodenstation Neustrelitz

Zusammenfassung

Der Beitrag behandelt Probleme der Kalibration von Satellitenbildern im infraroten Spektralbereich. Ziel ist die Ermittlung der PLANCK'schen Strahlungstemperatur von abgebildeten Oberflächenstrukturen. Es wird auf unterschiedliche Verfahren der Eichung von Satellitenbilddaten in IR-Spektralkanälen für die in Mitteleuropa zugänglichen meteorologischen Satelliten METEOSAT 2 und NOAA eingegangen. Die vom Satellitenbetreiber vorgegebenen Eichalgorithmen werden erläutert. Über erste Erfahrungen und aufgetretene Probleme bei der Behandlung von IR-Bilddaten wird berichtet. Es wird ein Verfahren zur Quasi-Real-Time-Temperatureichung von IR-Wetterbildern zur Anwendung in Wetterbildempfangsanlagen für den operativen Dienst vorgestellt.

Summary

This paper describes problems of calibration of infrared weather images. The aim is the computation of the PLANCK radiation temperature of the displayed surface. Different methods are shown for calibration of weather images in the infrared spectral bands of the satellites METEOSAT 2 and NOAA which can be received in Central Europe. The calibration algorithms given by the operational centres of these satellites are discussed. This paper reports on first experiences and problems which occurred during the processing of infrared weather images. A procedure of near real-time calibrations will be introduced for application in weather image receiving and processing stations working in operative service.

Резюме

Рассматриваются проблемы калибровки спутниковых изображений в инфракрасном спектральном диапазоне. Ставилась цель определения температуры излучения Планка для структур поверхности. Обсуждаются разные методы калибровки спутниковых видеоданных в инфракрасных спектральных каналах для принимаемых в центральной Европе метеорологических спутников METEOSAT 2 и NOAA. Объясняются алгоритмы калибровки, предложенные операционным центром этих спутников, обсуждаются первые результаты и проблемы, возникающие при обработке инфракрасных спутниковых видеоданных. Предлагается метод температурной калибровки в квазиреальном времени инфракрасных видеометоданных для применения на оперативных спутниковых метеорологических станциях.

### 1. Einleitung

Die Nutzung der Daten von meteorologischen Satelliten nimmt in der modernen Meteorologie und Fernerkundung der Erde ständig zu. Besonders polumlaufernde Satelliten höherer Auflösung haben in der Fernerkundung, Ozeanografie und im Fischereiwesen große Bedeutung erlangt. Im zunehmenden Maße ist der Nutzer nicht nur an örtlich qualitativen, sondern auch an quantitativen Aussagen interessiert. In der Meteorologie sind dieses zum Beispiel Aussagen zur Oberflächentemperatur, zum Aerosol-, Wasserdampf- und Kohlendioxidgehalt, zur Albedo usw. Dieser Beitrag befaßt sich mit der Temperatureichung der infraroten Spektralkanäle der Satelliten METEOSAT und TIROS-N/NOAA.

### 2. Kurzbeschreibung der bilderzeugenden Systeme der Satelliten METEOSAT 2 und TIROS-N/NOAA

Das METEOSAT-Scanning Radiometer bildet die gesamte Erdscheibe in drei Spektralkanälen ab:

- visueller Kanal        0,4 - 1,1  $\mu\text{m}$
- infraroter Kanal     10,5 - 12,5  $\mu\text{m}$
- Wasserdampfkanal    5,7 - 7,1  $\mu\text{m}$

Die Bodenauflösung im Subsatellitenpunkt beträgt 5 km für die beiden IR-Kanäle und 2,5 km für den visuellen Kanal. Die radiometrische Auflösung beträgt 8 bit für den IR- und 6 bit für die beiden anderen Kanäle. Die Temperatureichung wird im IR-Kanal durchgeführt.

Auf den fortgeschrittenen Satelliten der Serie TIROS-N/NOAA arbeitet das 5-Kanal-Radiometer AVHRR/2, dessen Kanäle folgendermaßen aufgeteilt sind

- 2 Kanäle im visuellen bzw. nIR-Bereich (0,58 - 0,68  $\mu\text{m}$ /0,725 - 1,1  $\mu\text{m}$ )
- 3 IR-Kanäle (3,55 - 3,93  $\mu\text{m}$ /10,3 - 11,3  $\mu\text{m}$ /11,5 - 12,5  $\mu\text{m}$ )

Die Bodenauflösung beträgt für alle Kanäle 1,1 km im Subsatellitenpunkt. Die radiometrische Auflösung beträgt 10 bit. Die Temperatureichung wird in den Kanälen 3 - 5 durchgeführt.

### 3. Prinzipielle Eichverfahren

Die IR-Bilddaten dieser beiden Satellitentypen unterscheiden sich grundsätzlich hinsichtlich der Verfahren ihrer quantitativen Auswertung. Während der Nutzer von TIROS-N/NOAA echte Rohdaten, d. h. gerade abgetastete Bildzeilen empfängt, sind ihm durch METEOSAT bereits bis zu einem gewissen Grade vorverarbeitete Bilddaten zugänglich.

Die Notwendigkeit einer ständigen Eichung der Radiometer ergibt sich aus der Degradation, der sie im Orbit unterworfen sind. Damit wird eine Eichung vor dem Start über kurz oder lang fragwürdig. Daher muß die Empfindlichkeit der Radiometer in bestimmten Zeitabständen neu festgelegt werden. Für METEOSAT und TIROS-N/NOAA stehen dazu zwei prinzipiell unterschiedliche Eichverfahren zur Verfügung.

Bei METEOSAT wird die Empfindlichkeit des Radiometers in den IR-Kanälen in größeren Zeitabständen durch bodengebundene Messungen neu bestimmt. Im IR-Kanal durch Messungen der Meeresoberflächentemperatur und im Wasserdampfkanal durch Feuchtemessungen in der oberen Troposphäre mittels Radiosondenaufstiege. Falls notwendig, werden die während jeder Übertragung mitgesendeten Eichparameter aktualisiert. Obwohl es an Bord von METEOSAT einen "Schwarzen Körper" definierter Temperatur gibt und dessen Zählerwerte auch übertragen werden, können diese nicht mit Erddaten kombiniert werden, da durch die Ausrichtung des Radiometers auf den "Schwarzen Körper" zusätzliche optische Elemente in den Strahlengang eingebracht werden.

Für die Temperatureichung des IR-Kanals von METEOSAT werden der Zählerwert BBC des "Schwarzen Körpers" und ein vom Meteorological Information Extracting Centre vorgegebener Eichfaktor genutzt. Die Zählerwerte des "Schwarzen Körpers", die übertragen werden, sind auf eine Temperatur von 290 K normiert. Betrachtet werden die Änderungen in den Zählerwerten, um Informationen über eine Änderung der Radiometerreaktion zu gewinnen und eine Feinabstimmung des MIEC-Eichfaktors vornehmen zu können. Zunächst wird ein sogenannter FAG-Faktor (FAG - fine adjustment of gain) aus den normierten BBC-Werten berechnet. Als Bezugswert für den normierten BBC-Wert wurde der Wert 110 gewählt und der FAG-Faktor wurde als Quotient 110/BBC definiert. Der einem gemessenen IR-Grauwert entsprechende Strahlungswert ermittelt sich folgendermaßen:

$$N = \text{MIEC} \cdot \text{FAG} \cdot (X - X_A)$$

wobei

- $N$  → Strahlungsflußdichte in  $\text{mW/sr} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{cm}^{-1}$
- $\text{MIEC}$  → vorgegebener Eichfaktor
- $\text{FAG}$  → Faktor zur Feinabstimmung
- $X$  → Grauwerte

Die zugehörige Strahlungstemperatur wird durch Tabellen ermittelt. Für den Wasserdampfkanal gilt dieser Algorithmus analog.

Für TIROS-N/NOAA ist die Bestimmung der Parameter der Eichkurve wesentlich aufwendiger. Auch hier wird ein linearer Zusammenhang zwischen Strahlungsflußdichte und Grauwert am Ausgang des Radiometers angenommen.

Die Parameter G und I werden aus dem ankommenden Datenstrom ermittelt. Zur Eichung wird vom NESS (National Environmental Satellit Service) der folgende Algorithmus vorgeschlagen:

a) Die Temperatur des "Schwarzen Körpers" wird ermittelt

$$T_i = \sum_{j=0}^4 a_{ij} \bar{X}_i^j$$

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^4 b_i T_i$$

wobei

- $T_1$  → Temperatur des Platinwiderstandsthermometers 1
- $X_1$  → Samplingwert des Platinwiderstandsthermometers 1
- $a_{ij}$  → Koeffizientenmatrix
- $b_i$  → Wichtungsfaktoren der Platinwiderstandsthermometer
- $\bar{T}$  → mittlere Temperatur des "Schwarzen Körpers"

b) mit Hilfe der bekannten Responsefunktion wird die Strahlungsflußdichte des "Schwarzen Körpers" entsprechend seiner mittleren Temperatur für den gewünschten IR-Kanal berechnet

$$N(\bar{T}) = \sum_{k=1}^n \beta(\nu_k, \bar{T}) \cdot \hat{\Phi}(\nu_k) \Delta \nu$$

- wobei
- $\beta(\nu_k, \bar{T})$  → PLANCK'sche Strahlungsformel
  - $\hat{\Phi}(\nu_k)$  → normierte Responsefunktion mit k Stützstellen im Abstand von
  - $\nu$  → Wellenzahl

c) mittels der bekannten Daten, Strahlungsflußdichte und Ausgangsgrauwert am Radiometer, für den "Schwarzen Körper" und für das All werden die Parameter G und I für die lineare Eichkurve ermittelt

$$G = \frac{N_A - N_{sk}}{X_A - \bar{X}_{sk}}$$

$$I = N_A - G \bar{X}_A$$

wobei

- $N_A$  → Strahlungsflußdichte des Alls
- $N_{sk}$  → Strahlungsflußdichte des "Schwarzen Körpers" bei Temperatur  $\bar{T}$
- $\bar{X}_A$  → mittlerer Grauwert des Alls
- $\bar{X}_{sk}$  → mittlerer Grauwert des "Schwarzen Körpers" bei Temperatur  $\bar{T}$

d) durch Festlegung der Eichgeraden kann jedem Ausgangsgrauwert des Radiometers ein definierter Strahlungswert zugeordnet werden

$$N = GX + I$$

e) mit Hilfe von Temperatur-Strahlungstabellen wird die PLANCK'sche Strahlungstemperatur ermittelt.

Da die Eichkurve der Kanäle 4 und 5 tatsächlich etwas nichtlinear ist, muß hier noch eine Korrektur angewandt werden, um den kleinsten Temperaturfehler im Bereich von 255 bis 310 Kelvin zu garantieren. Für Kanal 3 ist keine Korrektur notwendig.

#### 5. Verfahren der Quasi-Real-Time-Temperatureichung

Für den größten Teil der Anwendungsfälle wird die Temperatureichung nach dem Empfang der Bilddaten vorgenommen. Das ist die einfachste Methode. Denkbar ist jedoch auch eine Real-Time-Temperatureichung. Diese erfordert aber in jeder Hinsicht einen erhöhten Aufwand. Günstig ist ein Kompromiß zwischen beiden Methoden, die Quasi-Real-Time-Temperatureichung. Hierbei wird die Temperatureichung durch Hardware im Empfangstrakt realisiert. Dazu werden vor dem Empfang Grauwerttransformationstabellen geladen. Diese Tabellen garantieren die gewünschte Grauwert-Temperatur-Zuordnung. Das Problem dieses Verfahrens besteht darin, Tabellen zu laden, die den erwarteten Bilddaten entsprechen. Es müssen statistische Untersuchungen erfolgen, die z. B. die Benutzung der Eichparameter vom Vortag für die Temperatureichung rechtfertigen. Die von BILLING und Mitarbeitern durchgeführten Untersuchungen zeigen, daß die Eichparameter von NOAA 9 ein stabiles Langzeitverhalten aufweisen. Sie bedürfen aber trotzdem der Überwachung, da Sprünge auftreten können. Für METEOSAT wird das Langzeitverhalten aus dem CALIBRATION REPORT ersichtlich. Für das Verfahren spricht weiterhin, daß in den meisten Empfangsanlagen für TIROS-N/NOAA ohnehin eine Reduzierung der radiometrischen Auflösung von 10 auf 8 bit vorgesehen ist, die durch Hardware mittels Tabellentechnik realisiert wird. Es verbleibt nur noch der Aufwand, die Tabellen mit für die Temperatureichung relevanten Werten zu laden.

#### 6. Probleme und Erfahrungen bei der Temperatureichung von IR-Wetterbildern

Die vom NESS und der ESOC vorgeschlagenen Algorithmen zur IR-Temperatureichung wurden auf empfangene Wetterbilder angewandt. Dabei wurde die Tabellentechnik genutzt, um eine hardwaremäßig durchgeführte Temperatureichung zu simulieren. Damit steht ein Mittel zur Verfügung, die entsprechenden statistischen Untersuchungen durchzuführen und das Verfahren zu verifizieren.

Für die Ausgabe auf Farbdisplay bzw. Speicherung wird eine feste Grauwert-Temperaturzuordnung als Standardfall vorgeschlagen und das unabhängig vom Satellitentyp. Das ist für den Nutzer einer operativ arbeitenden Wetterbildempfangs- und Verarbeitungsstation von erheblichem Vorteil, da z. B. dadurch die Laufzeit des NESS-Eichalgorithmus erheblich herabgesetzt wird.

Die Genauigkeit beider Algorithmen wurde noch nicht überprüft. Es soll darauf hingewiesen werden, daß die ermittelten Temperaturen Strahlungstemperaturen entsprechend der Strahlungsflußdichte im Spektralkanal sind und sich, bedingt durch den Atmosphäreneinfluß, von physikalischen Temperaturen der Oberfläche unterscheiden.

Sind die einzelnen IR-Kanäle kalibriert, kann man z. B. für TIROS-N/NOAA Mehrkanalalgorithmen nutzen, um die Genauigkeit zu erhöhen. Für AVHRR geben MINETT und Mitarbeiter eine theoretische Genauigkeit von 0,33 K in klarer Luft und 1,8 K für eingeschränkte Sichtbarkeitsbedingungen an. Bei Verwendung von Zwei- oder Dreikanalalgorithmen kann man bei der Bestimmung von Meeresoberflächentemperaturen unter Berücksichtigung von atmosphärischen Effekten (Aerosoleffekte, molekulare Absorption, Wasserdampfgehalt, Atmosphärendruck) Genauigkeiten von 0,67 bzw. 0,27 K erreichen.

Bei den für METEOSAT verwendeten ESOC-Eichtabellen ist von KOEPKE ein Fehler von 2 K ermittelt worden. Es werden verschiedene Fehlerursachen diskutiert. Er kommt zu dem Schluß, daß die durch ESOC-Kalibration ermittelten Strahlungstemperaturen geringer als die tatsächlichen sind.

Für die Zukunft ist eine kontinuierliche Erfassung und Auswertung der Eichparameter vorgesehen, um die Stabilität der Eichung zu überprüfen. Ziel soll es sein, statistische Aussagen über den Tages- und Jahrgang zu gewinnen, um eine hohe Genauigkeit der Quasi-Real-Time-Temperatureichung zu erreichen.

#### Literatur

- (1) METEOSAT SYSTEM GUIDE Volume 9 Section 0 Issue 4 gültig ab 01.09.1984  
"METEOSAT HIGH RESOLUTION IMAGE-DISSEMINATION"
- (2) MEP/MET, METEOSAT EXPLOITATION PROJECT, EUROPEAN SPACE OPERATION CENTRE  
"METEOSAT-2; CALIBRATION REPORT. ISSUE 8"  
Gültigkeitsperiode Apr. - Juni 1984
- (3) LAURITSON, L.; NELSON, G.J.; PORTO, F.W. "DATA EXTRACTION AND CALIBRATION OF  
TIROS-N/NOAA RADIOMETERS"  
NOAA Technical Memorandum NESS 107, Washington, Nov. 1979
- (4) BILLING, H.; FEHMEI, J.; FLEISCHER, S.; RÜDEL, P. "EICHUNG DER AVHRR-DATEN (IR)  
FÜR DEN WETTERSATELLITEN NOAA 9"  
in BEILAGE ZUR BERLINER WETTERKARTE 52/85, SO 19/85  
vom 23.05.85
- (5) MINETT, P.J.; SAUNDERS, R.W.; ZAVODY, A.M.; LLEWELLYN-JONES, D.T.  
"PERFORMANCE OF THE "SPLIT WINDOW" AT 11 AND 12  $\mu\text{m}$  WAVE-  
LENGTH FOR ACCURATE DETERMINATION OF SEA SURFACE TEMPERA-  
TURES" Rutherford Appleton Laboratory, Chilton, Didcot, UK
- (6) KOEPKE, P.  
"CALIBRATION OF THE METEOSAT IR-CHANNEL BY GROUND  
MEASUREMENTS" Beiträge Phys. Atmosph., Vol. 53, No. 3,  
August 1980

Vergleich exakt berechneter atmosphärischer Transmissionsfunktionen gasförmiger Absorber mit LOWTRAN5

SPANKUCH, D. <sup>1)</sup>, VOGEL, G. <sup>1)</sup>, DÜHLER, W. <sup>1)</sup>, HAUS, R. <sup>2)</sup>

1) Meteorologischer Dienst der DDR

Meteorologisches Hauptobservatorium Potsdam

2) Akademie der Wissenschaften der DDR

Heinrich-Hertz-Institut für Atmosphärenforschung  
und Geomagnetismus, Berlin-Adlershof

Zusammenfassung

Die Eignung des Parameterisierungskonzepts LOWTRAN 5 zur Berechnung von Transmittanzen, Radianzen und Abkühlungsraten im Bereich der  $15\ \mu\text{m}$ -Bande ( $600 - 750\ \text{cm}^{-1}$ ) wird durch Vergleiche mit direkten Rechnungen unter inhomogenen Bedingungen beurteilt.

Summary

The applicability of the radiation code LOWTRAN5 to computation of transmittances, radiances and atmospheric cooling rates in the  $15\ \mu\text{m}$  spectral region ( $600 - 750\ \text{cm}^{-1}$ ) for  $\text{CO}_2$  only is considered by comparisons with line-by-line calculations under inhomogeneous conditions.

Резюме

При помощи сравнения с прямыми расчетами для неоднородных условий (моделей атмосфер) оценивается пригодность и точность комплексной программы LOWTRAN 5 для расчетов функции пропускания, плотностей радиации и радиационного выхолаживания для области  $15\ \mu\text{m}$  полосы  $\text{CO}_2$  (район  $600-750\ \text{cm}^{-1}$ ).

Die Programmkomplexe der LOWTRAN-Parameterisierungen werden auf Grund ihrer unkomplizierten Anwendbarkeit entweder direkt verwendet oder dienen als Referenzmodelle, um die Genauigkeit einfacher Approximationen verschiedener Strahlungstransportgrößen zu überprüfen. Mit der von KNEIZYS et al. (1980) entwickelten Version LOWTRAN5 können Transmittanzen und Radianzen zwischen  $0,25$  und  $28,5\ \mu\text{m}$  unter wolkenlosen Bedingungen in einer inhomogenen terrestrischen Atmosphäre berechnet werden. Sie berücksichtigen dabei die Absorptions- und Streuprozesse, die sich aus der Wechselwirkung mit klimawirksamen Konstituenten der Atmosphäre, wie beispielsweise  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$  und anderen anthropogenen Spurengasen sowie Aerosol ergeben.

Für die  $15\ \mu\text{m}$ - $\text{CO}_2$ -Bande wurde von HAUS (1985) eine Erweiterung der Version vorgenommen, um ebenfalls vertikale Strahlungsflüsse und atmosphärische Abkühlungsraten erhalten zu können.

LOWTRAN5 stellt ein Ein-Parameter-Bandenmodell dar, dessen Schrittweite  $5 \text{ cm}^{-1}$  beträgt. An jeder Frequenzstützstelle werden die Einflüsse beiderseitig bis zu  $10 \text{ cm}^{-1}$  entfernter Linienzentren auf einen empirischen Absorptionskoeffizienten erfaßt, der allerdings nur für mittlere Werte der optischen Tiefe repräsentativ ist.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen haben eine Einschätzung der Qualität der mit LOWTRAN5 erreichbaren Modellergebnisse durch Vergleiche mit direkt berechneten Werten zum Inhalt, die sich auf den Spektralbereich  $600 - 750 \text{ cm}^{-1}$  für reines  $\text{CO}_2$  beziehen.

### 1. $\text{CO}_2$ -Transmittanz

Die in Abb. 1 dargestellten Vertikalprofile quasispektraler LOWTRAN-Transmittanzen  $\tau_{\Delta\nu}(0,p)$ , die sich von der Modellobergrenze bis zu einem Druckniveau  $p$  erstrecken

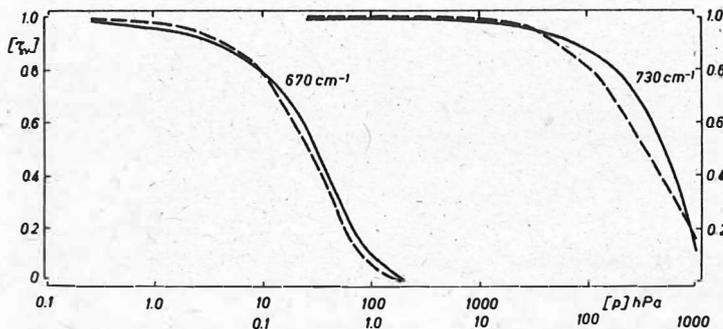


Abb. 1:

Vertikalprofile direkt berechneter und parameterisierter Transmittanzen in verschiedenen Spektralbereichen unter Standardbedingungen (Mittlere Breiten Sommer)

—  $\tau_{\Delta\nu}$  line-by-line

- - -  $\tau_{\Delta\nu}$  LOWTRAN5

weichen in Abhängigkeit vom betrachteten Spektralbereich in unterschiedlicher Weise von ihren direkt berechneten Referenzwerten ab. Während die Transmittanz im Bandenzentrum ( $670 \text{ cm}^{-1}$ ) zwischen 0 und 10 hPa um ca. 2% überschätzt wird, liegen ihre Werte am kurzwelligen Bandenflügel ( $730 \text{ cm}^{-1}$ ) um ca. 20% zu niedrig. Dies wirkt sich nachteilig auf die Genauigkeit der den Gewichtsfunktionen zugrundeliegenden Vertikalgradienten der Transmittanz aus, die zur Berechnung von Radianzen, Strahlungsflüssen und Abkühlungsraten benötigt werden. Infolge der ersichtlichen Modellschwächen gilt vielmehr

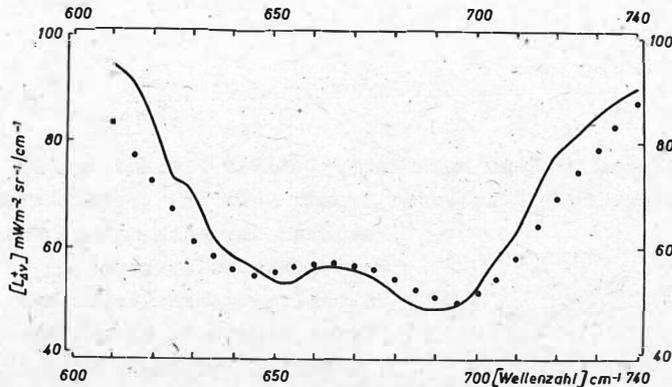
$$(1) \quad \frac{\partial \tau_{\Delta\nu, \text{LOWTRAN}}(0,p)}{\log p} \neq \frac{\partial \tau_{\Delta\nu, \text{l-b-l}}(0,p)}{\log p}$$

Hingegen kompensieren sich die in den Vertikalprofilen auftretenden Abweichungen größtenteils bei langen atmosphärischen Wegen, so daß sich angenähert

$$\tau_{\Delta\nu}(0,p_{\text{B}})_{\text{LOWTRAN}} \approx \tau_{\Delta\nu}(0,p_{\text{B}})_{\text{l-b-l}} \quad \text{setzen läßt.}$$

## 2. Radianzspektrum

Bei einem Vergleich der in Abb. 2 enthaltenen Radianzspektren  $L_{\Delta\nu}^+$  (0.1 hPa, 0°) wird eine starke Glättung deutlich, die sich im Falle einer Anwendung der LOWTRAN-Parameterisierung ergibt. Sie entsteht einerseits durch die Verringerung der Radianzbeiträge, die am langwelligigen Bandenflügel 15% erreicht, während im Bandenzentrum die entsprechenden Werte andererseits um 7% überhöht sind. Die auftretenden Fehler können sich mit abnehmender spektraler Auflösung in gewissem Maße gegenseitig kompensieren.



**Abb. 2:**

Vergleich eines direkt berechneten Radianzspektrums mit parameterisierten Werten unter Standardbedingungen (Mittlere Breiten, Sommer)

—  $L_{\Delta\nu}^+$  (0.1 hPa, 0°) line-by-line

.....  $L_{\Delta\nu}^+$  (0.1 hPa, 0°) LOWTRAN5

## 3. Abkühlungsraten

Die der Parameterisierung zugrundeliegende Vernachlässigung der Temperaturabhängigkeit der spektralen Absorptionskoeffizienten führt hier zu einer starken Verzerrung des Abkühlungsprofils, das für reines  $\text{CO}_2$  (330 ppmv) unter Standardbedingungen berechnet wurde. Es wird in Abb. 3 den Modellergebnissen verschiedener Autoren gegenübergestellt. Nach LOWTRAN ist das Abkühlungsmaximum im Vergleich zu HAUS (1985) um 1 K/Tag reduziert und liegt 5 km tiefer. Während die Abkühlungsraten unterhalb 45 km maximal um 1.5 K/Tag überschätzt werden, erweisen sich die Werte in der oberen Stratosphäre als wesentlich zu klein. Die größte Abweichung tritt mit 4 K/Tag in einer Höhe von 60 km auf.

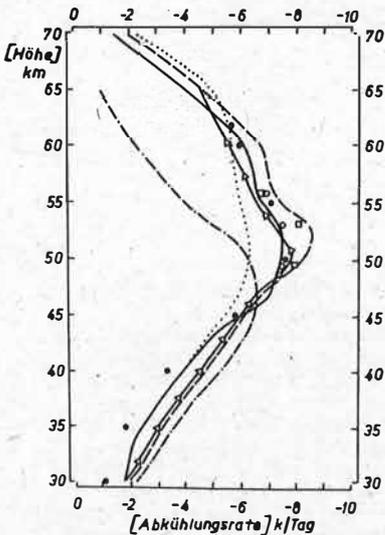


Abb. 3:

Vertikalprofile  $\text{CO}_2$ -bedingter Abkühlungsraten (330 ppmv) für die US-Standard-Atmosphäre 1962

— [1], □ □ □ [2], ..... [3], ..... [4]  
 — [5], - - - [6], —○— [7], ..... [8]

#### 4. Schlußfolgerungen

Das Programmpaket LOWTRAN5 ist

- + sehr gut zur Transmittanzberechnung innerhalb der Gesamtatmosphäre geeignet,
- + bedingt zur Ableitung von Radianzspektren geeignet,
- + nicht zur Berechnung von Abkühlungsraten geeignet.

#### Literatur

- [1] DICKINSON, R.E.: Method of parameterization for infrared cooling between altitudes of 30 and 70 kilometers. J. Geophys. Res. 21(1973), 4451 - 4457
- [2] DICKINSON, R.E.: Persönliche Mitteilung, zitiert in FELS und SCHWARZKOPF (1981)
- [3] DRAYSON, S.R., EPSTEIN, E.S.: Consequences of fine structure in the vertical temperature profile on radiative transfer in the Mesosphere. Space Res. IX, 376 - 384 (1969)
- [4] FELS, S.B., SCHWARZKOPF, M.D.: An efficient accurate algorithm for calculating  $\text{CO}_2$   $15\mu\text{m}$  band cooling rates. J. Geophys. Res. 86 (1981) G2, 1205-1232
- [5] HAUS, R.: Spektral hochaufgelöste Transmissionsfunktionen für  $\text{CO}_2$  und Infrarot-Abkühlungsraten der Erdatmosphäre im Gebiet 30-110 km. Dissertation, Akademie der Wissenschaften der DDR, Berlin (1985)
- [6] KNEIZYS, F.X. et al.: Atmospheric transmittance/radiance: computer code LOWTRAN5 AFGL - TR - 80 - 0067 Air Force Geophys. Lab., Bedford, Mass. (1980)
- [7] OU, S.S., LIOU, K.-N.: Parameterization of carbon dioxide  $15\mu\text{m}$  band absorption and emission. J. Geophys. Res., Vol. 88, No. G9 (1983) 5203-5207
- [8] VOGEL, G.: Zur Berechnung infraroter Abkühlungsraten im Bereich der  $15\mu\text{m}$   $\text{CO}_2$ -Bande unter Verwendung empirisch approximierter Transmissionsfunktionen nach SMITH. Z. Meteorol. 34 (1984) 4, 216 - 228

Eine Näherungsmethode zur Transmissionsberechnung in der Erdatmosphäre

A. KLIM

Meteorologischer Dienst der DDR  
 Meteorologisches Hauptobservatorium Potsdam

Zusammenfassung

Die genaue Berechnung des Absorptionskoeffizienten oder der Transmittance der Atmosphäre nach der line-by-line Methode ist sehr zeitaufwendig und kostspielig. Darum ist man bestrebt, einmal berechnete Daten zu speichern und bei nachfolgenden Rechnungen zu benutzen. Speicherplatzökonomie zwingt zu einer drastischen Reduktion der zu speichernden Daten. Diese Reduktion erreicht man durch das Speichern von Spektralmittelwerten. Beim Rechnen mit Spektralmittelwerten des Absorptionskoeffizienten oder der Transmittance anstelle von monochromatischen Werten treten systematische Fehler auf. In der Arbeit werden Formeln zur quantitativen Abschätzung von Fehlern angegeben, die beim Berechnen von Spektralmittelwerten der Transmittance aus Spektralmittelwerten des Absorptionskoeffizienten oder beim Umrechnen von Spektralmittelwerten der Transmittance auf Mittelwerte für andere optische Dicken oder beim Zusammenstellen des Spektralmittelwertes der Transmittance von Absorbergemischen aus den entsprechenden Spektralmittelwerten der einzelnen Absorber entstehen können.

Summary

The exact line-by-line computation of the atmospheric absorption coefficient or transmittance is a very time-consuming and expensive procedure. Therefore, the storage of these quantities calculated with much effort, and their use in repeated calculations are desirable. The costs and the cumbersome handling of voluminous computer memories require a drastical reduction in the data being stored. This reduction is obtained by the storage of mean spectral values. The computation with mean spectral values of the absorption coefficient or the transmittance in place of their monochromatical values produces systematical errors. In the paper formulae are given estimating quantitatively those errors of the mean spectral values of the transmittance, which are generated

- (i) by its computation from mean spectral values of the absorption coefficient,
- (ii) by its derivation from mean spectral values of the transmittance, calculated for other optical depths,
- (iii) by its composition for an absorber mixture from the individual mean spectral transmittances of single absorbers.

Резюме

Точное вычисление коэффициента поглощения атмосферы методом "line - by - line" требует много времени на ЭВМ. Поэтому желательно хранить получаемые с большими затратами времени данные на магнитных лентах или дисках для дальнейших расчетов. Из-за высокой стоимости массовых расчетов и из-за трудности обращения с большими количествами данных целесообразно искать пути эффективного сокращения количества сохраняемых данных. Для этой цели используется метод хранения спектральных средних значений. При использовании спектральных средних значений коэффициента поглощения или функции пропускания вместо их монохроматических значений возникают систематические ошибки. В работе рассматриваются формулы для количественной оценки ошибок спектральных средних значений функций пропускания (ссзфп), связанных с различными видами их расчета, а именно:

- 1) ошибки, связанные с вычислением ссзфп из спектральных средних значений коэффициента поглощения,
- 2) ошибки, вытекающие из определения актуальных ссзфп из рассчитанных для других оптических толщин ссзфп,
- 3) ошибки, возникающие при расчете суммарных ссзфп смеси нескольких поглощающих из ссзфп для каждого отдельного поглотителя.

Will man bei der Fernerkundung vom Satelliten oder vom Flugzeug aus die Erdbodentemperatur exakt messen oder den Gehalt an Luftverunreinigungen in den bodennahen Luftschichten genau bestimmen, muß man den Einfluß der Atmosphäre auf die gemessenen Strahlungsgrößen berücksichtigen. Eine grundlegende Größe, die den Einfluß der Atmosphäre auf die Ausbreitung elektromagnetischer Strahlung beschreibt, ist die Transmissionsfunktion oder die Transmittance der Atmosphäre, wie man diese Größe nach den Festlegungen der Internationalen Strahlungskommission exakt bezeichnen muß. Die genaue Berechnung dieser wichtigen Größe ist ein sehr zeitaufwendiges und darum kostspieliges Unternehmen. Das derzeit genaueste Berechnungsverfahren für die Transmittance ist das sogenannte line-by-line-Verfahren. Beim line-by-line-Verfahren geht man von den Spektrallinien der Absorber aus, die in der Atmosphäre vorhanden sind und berechnet aus ihnen den Absorptionskoeffizienten. Hat man den Absorptionskoeffizienten ermittelt, stellt die Berechnung der Transmittance kein Problem mehr dar.

Der zeitkostende Schritt bei der Transmissionsberechnung ist die Berechnung des Absorptionskoeffizienten. Die Berechnung des Absorptionskoeffizienten kostet deshalb soviel Zeit, weil man für einen einzigen Wert des Absorptionskoeffizienten die Beiträge von einigen hundert bis zu einigen tausend Spektrallinien zur Absorption an der gewählten Wellenzahl bestimmen muß. Weiter muß man den Absorptionskoeffizienten für sehr viele Werte berechnen. Der Spektralverlauf des Absorptionskoeffizienten ist im allgemeinen sehr unregelmäßig. Außerdem hängt der Spektralverlauf des Absorptionskoeffizienten stark von der Temperatur und vom Druck in der Atmosphäre ab. Selbst für anspruchslöse Fernerkundungsaufgaben muß man den Absorptionskoeffizienten ca. 1 Million mal berechnen.

Weil der Absorptionskoeffizient so schwierig zu berechnen ist, möchte man ihn gerne speichern und für neue Berechnungen der Transmittance verwenden. Dieses Verfahren bietet sich deshalb an, weil bei der Vorbereitung von Fernerkundungsmessungen häufig die Transmittance der Atmosphäre für unterschiedliche Konzentrationsprofile oder für eine geänderte Strahlengeometrie berechnet werden muß. Will man aber den Wert des Absorptionskoeffizienten für alle berechneten Stützstellen speichern, wächst der Speicherplatzbedarf auf technisch schwer zu beherrschende und ökonomisch unerfüllbare Ausmaße an. Man ist darum gezwungen, die Anzahl der zu speichernden Werte stark zu reduzieren. Durch das Speichern von Spektralmittelwerten der Transmittance oder des Absorptionskoeffizienten kann man den benötigten Speicherplatz drastisch reduzieren und ein - was die Rechenzeit betrifft - sehr effizientes Näherungsverfahren zur Berechnung von Transmittancen schaffen.

Allerdings muß man beachten, daß die für monochromatische Werte der Transmittance und des Absorptionskoeffizienten exakt geltenden Formeln auf Spektralmittelwerte nicht angewendet werden dürfen. In der Praxis wird aber recht unbekümmert mit Spektralmittelwerten so gerechnet, als wären sie monochromatische Werte. In der Literatur findet man überraschenderweise keinen Versuch, die Fehler quantitativ abzuschätzen, die beim Rechnen mit Spektralmittelwerten entstehen können. Der Rest des Vortrages soll sich deshalb mit der Abschätzung von solchen Fehlern beschäftigen.

Beim Rechnen mit Mittelwerten treten systematische Fehler beispielsweise auf, wenn man einen Spektralmittelwert der Transmittance aus dem Spektralmittelwert des Absorptionskoeffizienten bestimmt, wenn man einen Spektralmittelwert der Transmittance auf eine andere optische Dicke umrechnet oder wenn man den Spektralmittelwert der Transmittance eines Absorbergemisches aus den Spektralmittelwerten der einzelnen Absorber zusammenstellt.

Der Fehler, der beim Berechnen des Transmittancemittelwertes aus dem Mittelwert des Absorptionskoeffizienten entsteht, soll näher behandelt werden.

Die Transmittance  $\tau$  ist die Exponentialfunktion der negativen optischen Dicke  $\delta$ ,

$$(1) \quad \tau = \exp(-\delta).$$

Die optische Dicke  $\delta$  ist gleich dem Wegintegral über das Produkt aus dem Absorptionskoeffizienten  $\sigma_a$  und einem geeigneten Konzentrationsmaß  $\rho$ ,

$$(2) \quad \delta = \int \sigma_a(s) \rho(s) ds,$$

längs des Strahlweges durch die Atmosphäre. Im folgenden setzen wir eine homogene Atmosphäre, d.h. einen konstanten Absorptionskoeffizienten  $\sigma_a$  und eine konstante Konzentration  $\rho(s)$  längs des Weges  $s$  voraus.

Die Voraussetzung ist nicht einschneidend, da die Atmosphäre zur Berechnung der Transmittance ohnehin in dünne, homogene Schichten unterteilt wird, innerhalb derer der Absorptionskoeffizient berechnet wird. Die Aussagen über den Fehler gelten somit nur für die einzelnen dünnen Atmosphärenschichten dieses sogenannten Kugelschalenmodells.

In einer homogenen Atmosphäre reduziert sich die Gleichung (2) für die optische Dicke auf das Produkt aus Absorptionskoeffizient  $\sigma_a$ , Absorberkonzentration  $\rho$  und Weglänge  $s$

$$(2a) \quad \delta = \sigma_a \cdot \rho \cdot s.$$

Bei den in der Fernerkundung üblichen Kanalbreiten sind die Konzentration  $\rho$  und die optische Weglänge  $s$  von der Wellenzahl unabhängig, so daß sich die optische Dicke  $\delta$  und der Absorptionskoeffizient  $\sigma_a$  nur um einen konstanten Faktor unterscheiden. Alle Aussagen über Spektralmittelwerte der optischen Dicke gelten auch für Spektralmittelwerte des Absorptionskoeffizienten.

Der Spektralmittelwert der Transmittance, oder kurz die mittlere Transmittance  $\bar{\tau}$ , ist durch

$$\bar{\tau} = 1 / (x_1 - x_0) \int_{x_0}^{x_1} dx \exp(-\delta(x))$$

definiert, der mittlere Absorptionskoeffizient oder genauer die mittlere optische Dicke  $\bar{\delta}$  durch

$$\bar{\delta} = 1 / (x_1 - x_0) \int_{x_0}^{x_1} dx \delta(x).$$

Wir setzen folgende Näherungswerte

$$(3) \quad \bar{\tau}_G = \exp(-\bar{\delta}) \quad \text{für die mittlere Transmittance } \bar{\tau} \text{ und}$$

(1a)  $\bar{\tau} = \exp(-\bar{\sigma})$ ,  $\bar{\sigma} = -\ln \bar{\tau}$   
 für die mittlere optische Dicke  $\bar{\sigma}$  an. Im allgemeinen sind  $\tau_G \neq \bar{\tau}$  und  $\sigma_G \neq \bar{\sigma}$ .

Wir setzen

$$(1b) \quad \bar{\tau} = G \cdot \tau_G$$

und bestimmen die Eigenschaften von  $G$  näher. Durch Umstellen der Gleichung (1b) erhalten wir

$$(4) \quad G = \bar{\tau} / \tau_G = \exp(\bar{\sigma} - \sigma_G) = \frac{\int_{x_0}^{x_1} dx \exp(\bar{\sigma} - \sigma(x))}{x_1 - x_0}$$

Das Argument der Exponentialfunktion, die Differenz  $g(x) = \bar{\sigma} - \sigma(x)$ , ist die Abweichung des Absorptionskoeffizienten von seinem Mittelwert. Das Integral  $G$  ist also ein Maß für die Schwankung des Absorptionskoeffizienten über dem Mittelungsintervall. Für  $G$  gilt

$$(5) \quad G \geq 1,$$

wobei der Wert 1 nur dann angenommen wird, wenn die Schwankung des Absorptionskoeffizienten über dem Mittelungsintervall verschwindet. D.h. bei einem konstanten Absorptionskoeffizienten kann man mit Mittelwerten so rechnen, als wären es monochromatische Werte. In allen anderen Fällen liefert das näherungsweise Berechnen der mittleren Transmittance aus dem mittleren Absorptionskoeffizienten zu kleine Werte. Diese Aussage gilt für jeden beliebigen Spektralverlauf des Absorptionskoeffizienten. Die Ungleichung (5) für  $G$  folgt aus der Konvexität der Exponentialfunktion.

Für eine konvexe Funktion gilt, daß die Sekante zwischen zwei beliebigen Punkten stets oberhalb der Funktionskurve verläuft. Wählen wir als Punkte  $\sigma_{\min}$  und  $\sigma_{\max}$ , wo  $\sigma_{\min}$  das Minimum der optischen Dicke über dem Mittelungsintervall und  $\sigma_{\max}$  das entsprechende Maximum sind, gilt wegen der Konvexität

$$(6) \quad \tau(\nu_1 \sigma_{\min} + (1 - \nu_1) \sigma_{\max}) < \nu_2 \tau(\sigma_{\min}) + (1 - \nu_2) \tau(\sigma_{\max})$$

$$\text{mit } 0 \leq \nu_1 \leq 1, \quad 0 \leq \nu_2 \leq 1.$$

Für den Mittelwert der Transmittance  $\bar{\tau}$  gilt  $\tau_{\min} \leq \bar{\tau} \leq \tau_{\max}$  oder

$$(7) \quad \bar{\tau} = \nu_2 \tau_{\min} + (1 - \nu_2) \tau_{\max}.$$

Für den Mittelwert der optischen Dicke  $\bar{\sigma}$  gilt

$$(8) \quad \sigma_{\min} \leq \bar{\sigma} \leq \sigma_{\max} \quad \text{oder}$$

$$\bar{\sigma} = \nu_1 \sigma_{\min} + (1 - \nu_1) \sigma_{\max}.$$

Weiter sind  $\tau_{\min} = \exp(-\sigma_{\max})$  und  $\tau_{\max} = \exp(-\sigma_{\min})$ .

Die Gleichung (6), (7) und (8) ergeben zusammen die Ungleichung

$$(9) \quad \bar{\tau} > \exp(-\bar{\sigma}), \quad \text{und damit ist auch die Ungleichung (5) bewiesen.}$$

Aus den Ungleichungen (9) und (7) folgen die Ungleichungen

$$(10) \quad \tau_{\min} \leq \tau_G \leq \bar{\tau} \leq \tau_{\max},$$

aus denen unter Berücksichtigung der Gleichungen (1a), (3) und (8) die Ungleichungen

$$(11) \quad \sigma_{\max} \geq \bar{\sigma} \geq \sigma_{\tau} \geq \sigma_{\min} \quad \text{hergeleitet werden können.}$$

Es läßt sich zeigen, daß für verschwindende optische Dicke,  $\sigma \rightarrow 0$ , die Näherungswerte  $\tau_G$  und  $\sigma_{\tau}$  gegen den exakten Wert streben,

$$\tau_G \rightarrow \bar{\tau},$$

$$\sigma_{\tau} \rightarrow \bar{\sigma},$$

und daß bei einer unbegrenzt wachsenden optischen Dicke,  $\sigma \rightarrow \infty$ , die Näherungswerte  $\tau_G$  und  $\sigma_{\tau}$  gegen den minimalen,

$\tau_G \rightarrow \tau_{\min}$ , oder den maximalen Wert  $\sigma_{\tau} \rightarrow \sigma_{\max}$ , über dem Mittelungsintervall streben.

Der Beweis dieser Aussagen soll unterbleiben.

Aus den aufgezeigten Eigenschaften von  $\tau_G$  und  $\sigma_{\tau}$  ergeben sich zwei Schlussfolgerungen für den erfolgreichen Einsatz der Näherungsmethode: man muß die Atmosphäre in sehr viele dünne Schichten mit einer sehr geringen optischen Dicke unterteilen und man muß die Mittelungsintervalle so wählen, daß die Schwankung des Absorptionskoeffizienten und damit auch  $\sigma_{\max} - \sigma_{\min} \ll 1$  klein bleiben.

Weiter läßt sich zeigen, daß auch das Umrechnen eines für eine ganz bestimmte optische Dicke  $\sigma(x)$  berechneten Spektralmittelwertes der Transmittance  $\bar{\tau}$  auf eine neue optische Dicke  $\sigma_n(x) = a \sigma(x)$  mittels der Formel

$$(12) \quad \tau_H = \bar{\tau}^a$$

nur einen Näherungswert  $\tau_H$  des für die neue optische Dicke  $\sigma_n(x)$  exakt gültigen Spektralmittelwertes  $\bar{\tau}_n$  ergibt. Falls das Verhältnis  $a = \sigma_n / \sigma$  der optischen Dicken größer als Eins ist

$$a > 1,$$

ist der Näherungswert  $\tau_H$  kleiner als der exakte Mittelwert  $\bar{\tau}_n$ ,

$\tau_H < \bar{\tau}_n$ , anderenfalls,  $a < 1$ , ist der Näherungswert  $\tau_H$  größer als der exakte Mittelwert  $\bar{\tau}_n$ ,

$$\tau_H > \bar{\tau}_n.$$

Man kann auch ableiten, daß es günstiger ist, Mittelwerte der Transmittance auf neue optische Dicken umzurechnen anstatt sie aus dem Mittelwert des Absorptionskoeffizienten zu berechnen. Ein wichtiges Ergebnis erhält man, wenn man die Untersuchung auf die gemeinsame Wirkung zweier oder mehrerer Absorber ausdehnt. In der Praxis wird sehr oft so verfahren, daß man die mittlere Transmittance der einzelnen Absorber getrennt bestimmt und die von ihnen gemeinsam hervorgerufene Wirkung durch die Multiplikation der Mittelwerte annähert. Für zwei Absorber ergibt sich die Gleichung

$$(13) \quad \tau_M = \bar{\tau}(\sigma_1) \bar{\tau}(\sigma_2).$$

Es läßt sich zeigen, daß der Näherungswert  $\tau_M$  größer als der exakte Mittelwert der Transmittance beider Absorber  $\bar{\tau}(\sigma_1 + \sigma_2)$  ist, sofern der Spektralverlauf der beiden Absorber nicht proportional zueinander ist,  $\tau_M > \bar{\tau}(\sigma_1 + \sigma_2)$ .

Sämtliche Aussagen über die auftretenden systematischen Fehler wurden für homogene Atmosphärenschichten hergeleitet. Die Transmittance der gesamten Atmosphäre wird aus den Transmittancen der einzelnen Atmosphärenschichten zusammengesetzt. Beim Rechnen mit Spektralmitteiwerten der Transmittance ergeben sich auch in diesem Fall systematische Fehler.

Das Kombinieren der mittleren Transmittancen benachbarter Atmosphärenschichten entspricht dem Übergang zu größeren optischen Dicken. Es werden Näherungen nach Gleichung (12) bestimmt; diese Näherungen sind zu klein. Innerhalb der Erdatmosphäre ändert sich der Druck um Größenordnungen, auch die Temperatur schwankt beträchtlich mit der Höhe. Dadurch ändert sich der Spektralverlauf eines Absorbers zwischen Ober- und Untergrenze der Atmosphäre so beträchtlich, daß beim Kombinieren der mittleren Transmittance von Atmosphärenschichten mit sehr unterschiedlicher Höhe Näherungen nach Gleichung (13) bestimmt werden. Diese Näherungen sind zu groß. Über die gesamte Atmosphäre werden sich die beiden genannten Fehlerarten teilweise ausgleichen. Tragen wir den Fehler über die Atmosphärenhöhe auf, der sich beim näherungsweise Berechnen des Mittelwertes der Gesamttransmittance aus den mittleren Transmittancen einzelner Schichten ergibt, erhalten wir eine recht günstige Fehlerkurve. Die Abb. 1 zeigt zwei in der Praxis auftretende Fehlerkurven.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß es durchaus sinnvoll ist, Spektralmitteiwerte des Absorptionskoeffizienten oder der Transmittance zu speichern und sie für neue Berechnungen zu verwenden. Dieses Verfahren läßt sich leicht für einen elektronischen Rechner programmieren, und es liefert schnell Ergebnisse. Die Fehler liegen in der gleichen Größenordnung wie bei dem weitverbreiteten Lowtranverfahren. Durch eine geeignete Auswahl der Mittelungsintervalle hat man bei dem vorgestellten Verfahren die Möglichkeit, das Verfahren seinen speziellen Wünschen anzupassen und so recht genaue Näherungsverfahren selbst zu entwickeln.

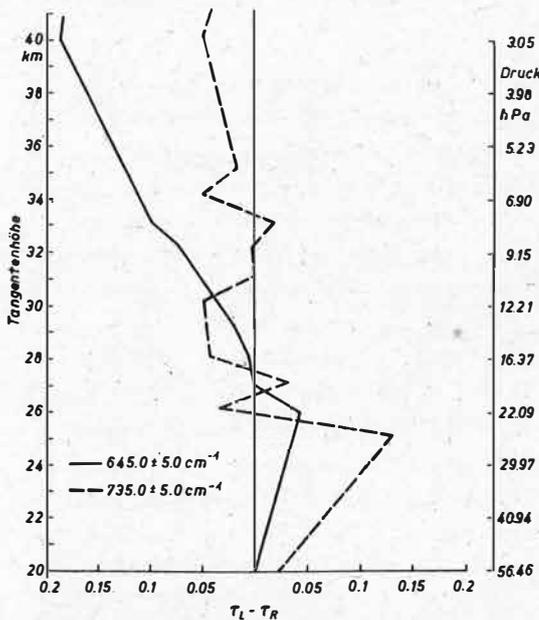


Abb. 1

Abweichungen der nach dem beschriebenen Näherungsverfahren bestimmten Approximation  $\tau_L$  der Transmittance in Limbblickrichtung (d.h. bei einer Blickrichtung tangential zur Erdoberfläche durch die Erdatmosphäre hindurch) von den line-by-line berechneten Referenzwerten  $\tau_R$ . Die Näherungswerte  $\tau_L$  für  $10 \text{ cm}^{-1}$  breite Meßkanäle wurden aus 100 schmalen,  $0.1 \text{ cm}^{-1}$  breiten Wellenzahlintervallen zusammengesetzt, über denen die Transmittancemittelwerte in den einzelnen Atmosphärenschichten gegeben waren.

Verfahren zur Erfassung von Immissionswirkungen mit Methoden der Fernerkundung

W. WELZER

Ministerium für Umweltschutz und Wasserwirtschaft der DDR

Zentrum für Umweltgestaltung

Zusammenfassung

Die Erfassung von Immissionswirkungen mit Methoden der Fernerkundung ist heute als ein fester Bestandteil der Umweltkontrolle anzusehen. Dabei kommen im allgemeinen kombinierte Verfahren zur Anwendung, bei denen terrestrische Meßnetze und Biomonitoring sowie Ausbreitungs- und Prognosemodelle mit der Auswertung von Fernerkundungsaufnahmen in vorteilhafter Weise verknüpft werden. Mit den verfügbaren Methoden lassen sich gesamtstaatliche, territoriale, zweigliche oder betriebliche Beurteilungen der Immissionswirkungen vornehmen. Für die Erfassung mittel- und langfristiger Immissionsauswirkungen werden kosmische Fernerkundungsaufnahmen benutzt; die Registrierung kurzfristiger Erscheinungen erfolgt auf der Basis von Luftbildern.

Multispektrale Scanneraufnahmen aus dem Kosmos mit hoher Bodenauflösung und digitale Bildverarbeitungssysteme hoher Rechenleistung stehen nicht immer wunschgemäß zur Verfügung. Deshalb sollte auf praktikable und bewährte Methoden bei gleichzeitiger Gewährleistung eines ausreichenden wissenschaftlich-technischen Vorlaufs für modernere Verfahren orientiert werden.

Summary

The registration of immission effects by help of remote sensing methods can be seen today as a principal component of environmental monitoring. As a rule, for that purpose combined procedures are applied which advantageously combine terrestrial measuring networks, bio-monitoring, propagation and prognostic models with the processing of remote sensing images. The available methods enable the evaluation of immission effects on state, territorial, branch or enterprise level. Spaceborne remote sensing images are used for the registration of medium- and long-term immission effects. The registration of short-term phenomena is realized by help of airborne images.

Multispectral spaceborne scanner images with high ground resolution and digital image-processing systems with high calculator capacity are not always available. Therefore, one should aim at practicable and proved methods, simultaneously guaranteeing the necessary scientific-technical advance for modern procedures.

Резюме

Учет влияния имиссии на основе методов дистанционного зондирования является одним из важных элементов контроля окружающей среды. При этом используются комбинированные методы, т.е. объединяют данные измерительной сети, модели прогноза и распространения, биомониторинга и др. с данными дистанционного зондирования. Разработанные методы были опробованы и они успешно применяются для отдельных районов.

Исходя из задач контроля окружающей среды на первом плане стоит учет средне- и долгосрочных воздействий имиссии на основе данных космического зондирования в то время, как краткосрочные воздействия должны учитываться с помощью аэросъемки.

Многозональная космическая сканерная съемка с высоким разрешением и современные системы обработки данных не всегда имеются в распоряжении. Поэтому надо ориентироваться на практические, оправдавшие себя методы при одновременном применении научно-технического прогресса.

### 1. Wissenschaftlich-technische Zielstellung der Umweltkontrolle

Das Ziel der Umweltkontrolle besteht darin, wissenschaftlich fundierte Grundlagen für gesamtstaatliche, territoriale, zweigleiche und betriebliche Entscheidungen zur planmäßigen Gestaltung der Umwelt abzuleiten und gleichzeitig die Umwelt wirksam zu schützen, d. h. eine moderne Umweltkontrolle muß einerseits zum Auffinden der Wirkungsmechanismen anthropogener Einflüsse auf die Umwelt und andererseits zur Kontrolle der Wirkungsmechanismen dienen. Die Überwachung umfaßt dabei:

- Feststellung der Konzentrationen gasförmiger, fester und flüssiger Schadstoffe in der Luft, im Wasser und im Boden,
- Erkennung der Wechselwirkungen Mensch-Umwelt und
- Analyse des Zustandes der Umwelt.

Zur technische Realisierung dieser Aufgaben sind rationelle und effektive Kontrollsysteme nötig, die unabhängig von anderen Kontrollorganen und ohne subjektive Beeinflussung wirksam werden.

Das zur Lösung der Aufgaben eingesetzte Kontrollsystem muß es prinzipiell gestatten, die Kausalkette vom Verursacher der Belastung bis hin zur Wirkung auf die Umwelt zu erfassen. Damit ergeben sich folgende Kontrollbereiche:

Emission, Transmission, Immission und Wirkung.

Innerhalb der einzelnen Kontrollbereiche sind jeweils die Kontrollmedien Luft, Wasser, Boden, Flora und Fauna und innerhalb der Kontrollmedien spezifische Schadstoffkomponenten zu überwachen.

Die Spezifik der Kontrollbereiche bedingt die zu verwendende Kontrollmethode. Zu beachten sind Zeit- und Raummaß, räumlich begrenzte Einleitung von Sofortmaßnahmen, während die Erfassung der langfristigen Entwicklung des Umweltzustandes die Ableitung von Trends sichern soll.

Eine Kombination bzw. ein System direkter und indirekter Kontrollmethoden wird als optimal angesehen. Die direkten Meßverfahren liefern die für die Bewertung des Umweltzustandes benötigten Informationen mit Hilfe von Meßnetzen, während die indirekten sich besonders für die Kontrolle der Wirkungen eignen und eine großräumige Bestimmung von Objektstrukturen oder Objekteigenschaften erfolgt.

Das Kernstück einer funktionsfähigen Kombination ist die Analyse und Bewertung der aus den einzelnen Kontrollmedien mittels unterschiedlicher Methoden gewonnenen Daten, die zur Ableitung von Entscheidungen zur Senkung der Umweltbelastung führt. Gleichzeitig wirkt die Analyse selbst auf die Strategie der Umweltkontrolle zurück und ist Kontrollorgan für die Wirkung von durchgeführten Maßnahmen auf dem Gebiet des Umweltschutzes.

Eine wesentliche Methode der indirekten Umweltkontrolle kann die Fernerkundung zur Erfassung von Immissionswirkungen sein. Die technischen Voraussetzungen sind gegenwärtig weitgehend entwickelt:

- Gewinnung von Fernerkundungsdaten durch die Realisierung des Regierungsabkommens Fernerkundung DDR-UdSSR und durch Luftaufnahmen des Betriebes "Fernerkundung, Industrie- und Forschungsflug" der INTERFFLUG
- Fotometrische und fotogrammetrische Auswertegeräte des Kombinats VEB Carl Zeiss Jena.
- Bildverarbeitungssystem A 6472 des Kombinat Robotron.

## 2. Einbeziehung der Fernerkundung in die Erfassung von Immissionswirkungen

Aus der großen Zahl der Objekte der natürlichen Umwelt und der Einflußfaktoren, die der Überwachung unterliegen, wurden für die Erfassung von Immissionswirkungen die Waldökosysteme, die sich unter starkem Einfluß anthropogener Verunreinigungen der Atmosphäre durch Industriezentren und urbanisierte Gebiete befinden, ausgewählt. Die anthropogenen Verunreinigungen sind in erster Linie bedingt durch den Ausstoß von Schwefeloxiden und die regionale Ausbreitung ihrer Umwandlungsprodukte in Form von Sulfataerosolen.

Kiefernwälder sind vom Standpunkt des Einflusses anthropogener Beimischungen sehr gute Indikatoren für Luftverunreinigungen. Die Kiefernwaldgebiete bedecken einen bedeutenden Teil der DDR. Diese Wälder sind für die Beobachtung dadurch geeignet, da der Einfluß der Schwefeloxide nicht durch Düngungseintrag überlagert wird wie bei landwirtschaftlichen Kulturen. Außerdem verschwinden die für einzelne Jahre existierenden klimatischen Anomalien. Daher sind Kiefernwälder hinreichend repräsentative Bioindikatorobjekte, die den mehrjährigen Einfluß von Schwefeldioxid zusammengefaßt wiedergeben /1/, /2/.

Der Erhalt zuverlässiger Angaben über den Zustand der Waldökosysteme erfordert die Berücksichtigung deren spezifischen Verhaltens, besonders der Remission in verschiedenen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums, der natürlichen Änderungen unter meteorologischen Einflüssen (Wind, Niederschlag, Temperatur u.a.) wie auch jahreszeitlicher Veränderungen (Wasser, Boden) und genetisch bedingter durch Klima und Wetter variiert Änderungen in Form, Masse, Vitalität und Farbe (Flora, Fauna, Ökosysteme und Landschaften), wobei stets anthropogen bedingte quantitative und qualitative Einflüsse das besondere Interesse verdienen im Hinblick auf notwendig einzuleitende Maßnahmen des Umweltschutzes.

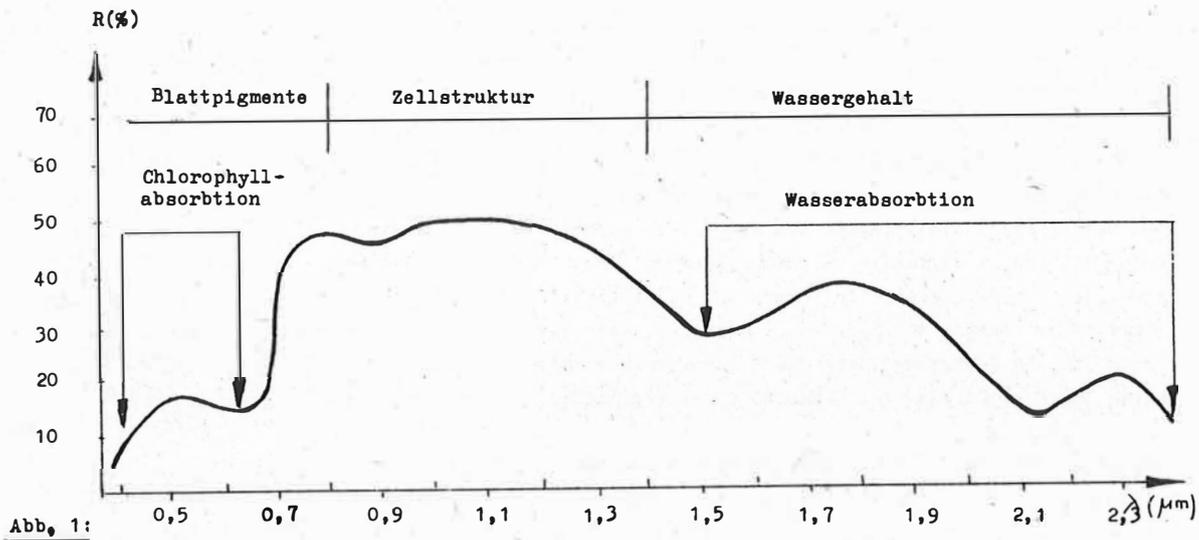
Die Erkennung und Klassifizierung der hier zur Diskussion stehenden Erfassung von Immissionswirkungen in Luftbildern und anderen Fernerkundungsaufzeichnungen setzt voraus, daß zwischen geschädigter bzw. kranker Vegetation und ungeschädigter, gesunder in einem oder mehreren Spektralbereichen Remissionsunterschiede auftreten. Diese Unterschiede müssen spezifisch sein, d.h., sie dürfen, zumindest abbildungsörtlich, auch aus anderen Gründen auftreten. Zudem bedarf es eines bestimmten Unterschiedsquantums, das ausreicht, um nach Durchgang der reflektierten Strahlung durch die Atmosphäre von einem Sensor - z.B. einer Filmemulsion - auch über größere Entfernung noch erfaßt werden zu können.

Beim gegenwärtigen Stand des Wissens über das spektrale Remissionsverhalten von Blattorganen und ganzen Pflanzen oder Pflanzenbeständen kann man davon ausgehen, daß durch Schadeinwirkungen oder Krankheiten verursachte Veränderungen der Blattpigmentierung die spektrale Remission im sichtbaren Bereich des Spektrums beeinflussen, daß morphologische Veränderungen der Zellstrukturen oft eine Absenkung der Remission im nahen, fotografisch noch erfaßbaren Infrarot bewirken und daß Veränderungen des Wassergehaltes in Blättern u.a. Pflanzenteilen die Reflektion im mittleren Infrarot qualitativ und quantitativ verändern.

In Abb. 1 werden die typischen spektralen Remissionskurven gesunder, grüner Blattorgane sowie die den Kurvenverlauf beeinflussenden Faktoren gezeigt /3/.

Geschädigte Bäume weisen vor allem Veränderungen am Blattlaub bzw. am Nadelbestand auf. Dadurch ist das Remissionsverhalten über weite Wellenlängenbereiche verändert, vorwiegend durch Veränderung des Chlorophyllgehaltes, der Zellstruktur und des Wassergehaltes.

Abb.2 zeigt ein für die meisten Pflanzen charakteristisches Remissionsverhalten. Mit zunehmendem Schädigungsgrad verschiebt sich das Remissionsmaximum vom kurzen "grünen" zu längeren Wellenbereichen. Gleichzeitig wird aber das Remissionsvermögen im nahen Infrarotbereich deutlich geringer. /4/



Typische spektrale Remissionskurve gesunder, grüner Blattorgane sowie die den Kurvenverlauf beeinflussende Faktoren.

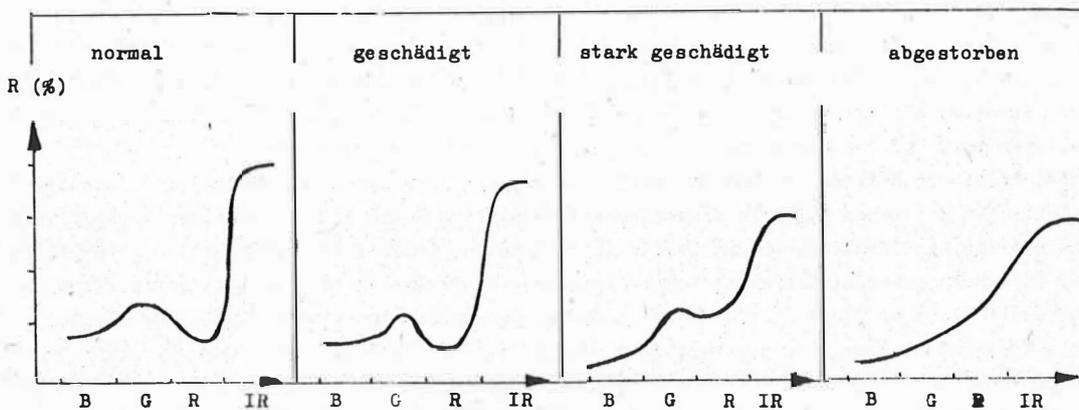


Abb. 2: B-blau, G-grün, R-rot, IR-infrarot

Typische Remissionskurven grüner Blattorgane in Abhängigkeit vom Schädigungsgrad.

Dabei ist zu berücksichtigen, daß hier auch die zunehmenden Nadelverluste zu den Remissionsveränderungen beitragen: die reflektierende Blatt/Nadelmenge nimmt ab, der Anteil an der Remission beteiligter Zweig-, Ast-, Stammoberflächen steigt ebenso wie auch der Anteil beschatteter Teile des Kroneninneren.

Die Besonderheiten von Waldökosystemen sind damit verbunden, daß die Bäume ein ziemlich hohes Lebensalter erreichen. Die Registrierung des Überganges der Wälder von einem Stadium in ein anderes wird insbesondere dadurch erschwert, daß jedes Sukzessionsstadium einige Jahrzehnte andauert und eine zuverlässige Fixierung der Veränderungen auf einer begrenzten Anzahl von Probenflächen bei Vorhandensein zufälliger lokaler Variationen praktisch unmöglich ist. Für die Ermittlung der möglichen lokalen und zeitlichen Variationen des Zustandes der Waldökosysteme und die Ermittlung von Veränderungen von jenen oder anderen Faktoren der anthropogenen Einwirkung ist es notwendig, große Territorien zu überwachen, was mit Hilfe kosmischer Aufnahmen verwirklicht werden kann. Gerade die Aufnahme aus dem Kosmos garantiert die gleichzeitige Gewinnung von Ausgangsinformationen im regionalen Maßstab, die Möglichkeit der Überwachung der Lage ausgedehnter Arealgrenzen mit verschiedenen Zuständen der Waldvegetation, die Möglichkeit einer wiederholten Aufnahme in bestimmten Zeitintervallen. Das gestattet die Erfassung der Immissionswirkungen und die prognostische Bewertung sowie die Ausarbeitung komplexer regionaler Umwelterhaltungsschemata unter Berücksichtigung der Gesamtheit der regionalen ökonomischen und ökologischen Faktoren.

/ 1 / / 2 /

Die Gründe für die Einbeziehung der Fernerkundung in das Monitoring der anthropogenen Verunreinigung erklären sich auch dadurch, daß selbst im speziellen Fall die Beurteilung von Waldökosystemen eine außerordentlich komplizierte Aufgabe darstellt. Neben der Luftverunreinigung steht gegenwärtig einem normalen Funktionieren der Waldökosysteme in industriell entwickelten Regionen insbesondere die Erschöpfung der Böden und die Verunreinigung entgegen. Einen negativen Einfluß üben die Zerstörungen des Wasserhaushaltes bei der Gewinnung von mineralischen Rohstoffressourcen und die großmaßstäbigen Meliorationsarbeiten auf den angrenzenden landwirtschaftlichen Nutzflächen aus.

### 3. Digitale Bearbeitung und thematische Interpretation von kosmischen Aufnahmen

Die in Kooperation mit dem "Zentralinstitut für Physik der Erde" und dem "Laboratorium für anthropogenes Monitoring der natürlichen Umwelt und des Klimas" Moskau entwickelte Methode der thematischen Bearbeitung und Interpretation von multispektralen Aufnahmen aus dem Kosmos besteht in der Anwendung einer rechnergestützten visuellen Analyse der Darstellung im interaktiven Arbeitsregime auf der Grundlage eines Bildverarbeitungssystems bei aktiver paralleler Teilnahme des Operators und von Spezialisten an der thematischen Interpretation.

Dabei wurde die Methode in erster Linie für die Zielstellung der Bearbeitung von Aufnahme-materialien mittlerer und höherer Geländeauflösung (180 - 250 m, 50 - 80 m) entwickelt; wobei die notwendige Charakterisierung der zu untersuchenden Objekte auf dem Wege der Interpretation der Aufnahmen unter Einbeziehung von generalisierten Merkmalen und verallgemeinerter a-priori-Informationen, d.h. landschaftsbezogene, allgemeingeographische meteorologische Daten über Emissionsquellen, spektrale Eigenschaften der Objekte der Erdoberfläche usw. erfolgt. /2/, /6/. Unter Berücksichtigung der Software umfaßt die ausgearbeitete Methode folgende Arbeitsetappen: In der ersten Etappe wird eine Bildverbesserung unter Einbeziehung von Methoden der Kontrastverstärkung (Filterung der Störungen, Grauwertspreizung) mit Hilfe geeigneter Übertragungsfunktionen, Histogrammegalisation mit dem Ziel, ein Histogramm mit nahezu gleichmäßiger Verteilung zu erhalten, realisiert.

Außerdem werden in dieser Etappe im Falle der Notwendigkeit einige geometrische Transformationen (Entzerrung, Maßstabsveränderungen, geodätische Zuordnungen usw.) durchgeführt. Anschließend folgen unter Einbeziehung von systematisierten Daten terrestrischer Messungen, Modelldaten, ökonomisch-geographischer und landschaftsbezogener Charakteristiken die Arbeitsschritte der aufeinander-

folgenden Klassifizierung nach dem Prinzip "vom Allgemeinen zum Detail". Dabei werden verschiedene Standardprogramme der Histogrammanalyse, Fotometris, Farbsynthese, density slicing (gleichmäßige und ungleichmäßige); der Isolierung geometrischer Merkmale angewendet. Die Programme garantieren insbesondere die Fotometrierung der einzelnen Aufnahmepixel entlang gegebener Trassen, die Herstellung von Registrogrammen für ausgewählte Profile, Helligkeitshistogramme für Teilflächen mit unregelmäßiger Geometrie, die Gewinnung von Falschfarbendarstellungen, Glättungen, Darstellungsdifferenzierungen, die Aussonderung homogener Gebiete, Konturen und zusammenhängender Gebiete. Der Vorteil dieser Methode wird gegenwärtig durch zwei Faktoren beeinträchtigt: eine relativ hohe Bearbeitungszeit und nur zur Verfügung stehende multispektrale Scanneraufnahmen mittlerer Auflösung zum erforderlichen Aufnahmezeitpunkt.

Aus diesem Grunde wird im Zentrum für Umweltgestaltung ein vereinfachtes Verfahren konzipiert, das die o.g. Nachteile ausschalten soll.

Das Verfahren umfaßt folgende Grundgedanken:

Auf der Basis der topographischen Karte (Ausgabe Volkswirtschaft) wird im Raster  $1 \times 1 \text{ km}^2$  ein Datenspeicher "Bioindikator" mit folgenden Kriterien aufgebaut (Variante)

- Waldanteil größer als 70 %
- Kiefern-, Fichten- oder Laubwald
- Baumalter älter oder jünger 60 Jahre
- höher oder niedriger als 500 m über NN, auch andere Höhen
- Landschaft: Harz, Thüringer Wald, Dübener Heide u.a. Landschaften.

Im Datenspeicher "Bioindikator" werden Eichgebiete festgelegt, die jeweils einer Belastungsstufe, d.h., der Anteil beträgt mehr als 70 %, entsprechen. Die Auswahl der Eichgebiete erfolgt auf der Basis gültiger Ansprech- bzw. Interpretationsschlüssel der Forstwirtschaft unmittelbar im Gelände oder aus Daten des Waldfonds.

In die multispektrale Scanneraufnahme wird das  $1 \times 1 \text{ km}^2$  - Raster der topographischen Karte eingespielt. Das Remissionsverhalten der Eichgebiete wird mit dem Remissionsverhalten der im Datenspeicher "Bioindikator" enthaltenen Flächen verglichen.

Der Vergleich erfolgt in den Kanälen grün, rot und infrarot, wobei diese Kanäle zueinander im Verhältnis stehen. Die Erfassung der Immissionswirkung in eine Funktion der Remission in den Kanälen "grün", "rot" und "infrarot". Sie kann als Variante so formuliert werden:

$$J = f \left( \frac{R(IF)}{R(G) + R(R)} \right) \quad , \text{ wobei}$$

R ( I F ) - Remission im Infrarotkanal

R ( G ) - Remission im Grünkanal

R ( R ) - Remission im Rotkanal.

Das Verhältnis der Remission in den o.g. Kanälen wird sich als Vorteil erweisen, da eine Reihe systematischer Fehler fast ausgeschaltet werden, z.B. : Einfluß Atmosphäre, Randabfall auf MKF- 6- Aufnahmen u.a. Das Ergebnis ist eine Belastungskarte zur Erfassung der Immissionswirkung im Raster  $1 \times 1 \text{ km}^2$  mit den definierten Belastungsstufen.

Der Vorteil dieser Methodik besteht wahrscheinlich auch noch darin, daß schrittweise das Verfahren auf der Grundlage neuer Erkenntnisse und qualitativ besserer Scanneraufnahmen vervollkommen werden kann.

#### 4. Lokale Erfassung von Immissionswirkungen durch die Interpretation multispektraler

##### Luftaufnahmen

Es ist im Zusammenhang damit notwendig zu betonen, daß die Erfassung und Beobachtung der lokalen Waldschäden durch Verfahren möglich sind, die primär auf der Auswertung von Luftbildern beruhen, daß hier echte Alternativen zu reinen Felderhebungen und Luftbilddauswertungen in vorteilhafter Weise verbunden werden. Verfahren dieser Art sind verfügbar, erprobt und erfolgreich praktiziert. / 3 /

Zur Inventur und Beobachtung der lokalen Waldschäden ist ein Aufnahmesystem einzusetzen, das multispektrale Aufnahmekapazität besitzt, d.h. Remissionsunterschiede sowohl im sichtbaren als auch im nahen infraroten Spektralbereich zu erfassen gestattet. Zusätzliche Aufnahmekapazität im mittleren und/oder im thermischen Infrarot kann ggf. von Nutzen sein.

Für Luftbilddaufnahmen bietet sich unter diesen Umständen der Farbinfrarot-Film SN-6M an. Seine Einsatzmöglichkeiten für die Erfassung von Vegetations- und insbesondere Waldschäden sind seit Mitte der 60er Jahre gründlich untersucht. / 5 / Zur lokalen Waldschadensinventur hat sich der Farbinfrarot-Film als Informationsbasis vielfach bewährt. / 5 /

Der zu wählende Aufnahmemastab von Luftbildern hängt von der Inventuraufgabe ab. Wird eine baumweise Schadansprache nach mehreren Schadklassen verlangt, so muß eine großmaßstäbliche Aufnahme, z.B. um 1 : 5000, erfolgen. Soll dagegen eine flächenweise Klassifizierung von Beständen nach dem Vorkommen mittlerer und schwerer Schäden durchgeführt werden, so sind Luftbilder mittleren bis kleineren Maßstabs einzusetzen.

Die Aufnahmezeit ist nach phänologischen Gesichtspunkten zu wählen. Für mitteleuropäische Verhältnisse steht die Zeit zwischen Mitte Juli bis Mitte September zur Verfügung.

##### Projektierung des Bildfluges:

Erforderliche Wetterlage und Sonnenstand: Wolkenfrei oder Bewölkung über Flughöhe max. 1/8; Sonnenstand möglichst nicht unter 50°, d.h. Aufnahmezug um die Zeit des Sonnenhöchststandes am Tage.

##### Aufnahmesystem:

LMK/MRB - 30/2323 (30 cm Kammerkonstante, 23 cm Formatseite)

Film: SN-6M

Filter: nach geprüfter Sensibilität der eingesetzten Filmemulsion und Wetterlage

Längsüberdeckung im Flugstreifen: 60 % (p)

Querüberdeckung zwischen Flugstreifen bei flächendeckenden Aufnahmen: 20 - 25 % (q)

Richtung der Flugstreifen N - S, sofern Form oder Topographie des Inventurgebiets oder die Waldverteilung im Gebiet eine andere Flugrichtung nicht zwingend nahelegen.

Die Bildinterpretation wird erleichtert, wenn die Aufgabe systematisch gelöst und folgende Grundregeln beachtet werden:

- Die Interpretation beginnt mit einer allgemeinen Beurteilung des Bildes, seiner Orientierung und dem Vergleich mit topografischen Informationen sowie mit der Suche nach typischen Elementen des Geländes bzw. des zu untersuchenden Objektes. Erst danach werden bestimmte bzw. speziell zu untersuchende Objekte oder Erscheinungen interpretiert.
- Man beschränkt sich zunächst auf ein Objekt, das sich eindeutig interpretieren läßt, und geht danach Schritt für Schritt von Objekt zu Objekt weiter. Dem Bild können nicht alle Informationen auf einmal entnommen werden. Zunächst muß man sich auf die Hauptaufgabe konzentrieren.

- Beim Vergleich werden nach der Form, dem Ausmaß, der Ton- und Farbwiedergabe von bekannten Objekten Rückschlüsse auf unbekannte Objekte gezogen.
- Für bestimmte Aufgaben müssen zuständige Spezialisten herangezogen werden. Eine universelle Bildinterpretation durch einen Auswerter ist nicht möglich.
- Den Bildern dürfen keine Informationen entnommen werden, die nach der Beurteilung der fotografischen Qualität, des Bildmaßstabes, der Tages- und Jahreszeit und des Geländes gar nicht enthalten sein können, z.B. die Zusammensetzung eines Gasgemisches in der Atmosphäre.
- Nach der Entnahme der Informationen sind in jedem Falle die Glaubwürdigkeit und die Genauigkeit der qualitativen und quantitativen Angaben zu kontrollieren.

#### Literatur

- |      |  |        |   |
|------|--|--------|---|
| /1./ | Kallweit, D.<br>Kallweit, R.                               | (1984) | Untersuchungen zum Biomonitoring als Bestandteil des nationalen Umweltüberwachungssystems der DDR unter Berücksichtigung der Anwendung der Fernerkundung<br>Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle, 1984 |
| /2./ | Nowikov, J.W.<br>Kallweit, D.                              | (1986) | Ergebnisbericht Arbeitsplan OSFE, Thema 6 zum Regierungsabkommen Fernerkundung DDR - UdSSR 1981-1985  |
| /3./ | Hildebrandt, G.  | (1985) | Waldschadenserfassung durch Fernerkundung, Freiburg (FRG) 2.-4. Oct. 1985 Organizer: Executive Board for the Convention on long range transboundary air pollution   |
| /4./ | Österreichisches<br>Bundesinstitut für<br>Gesundheitswesen | (1984) | Umweltbestandsaufnahme durch Fernerkundung und Bodenmessung   |
| /5./ | Barth, R.  | (1985) | Die Rolle der Fernerkundung in der Forstwirtschaft jetzt und künftig<br>10. Fachtagung Luftverkehr der KdF  |
| /6./ | Israel, R.A.<br>Bugrovski, V.V.                            | (1985) | Kosmisches Monitoring der Biosphäre<br>Ausgabe 1<br>Isdatelstvo Goskomgidromet, 1985  |

