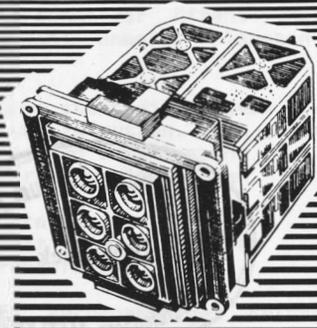


# ZENTRALINSTITUT FÜR PHYSIK DER ERDE

Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde

Nr. 118

Teil 1



6. KONFERENZ

## FERNERKUNDUNG

Stand und Entwicklungstendenzen

**Fernerkundung  
für die Umweltüberwachung**

Potsdam, 28. -31. Mai 1991

### Beiträge zur Konferenz

Wissenschaftlicher Koordinator: Prof. Dr. K.-H. Marek

Wissenschaftliche Redaktion: Dr.-Ing. habil. J. Höpfner

Technische Bearbeitung: K. Hassenberg, B. Hein

Herausgeber: Der Direktor des Zentralinstituts für Physik der Erde Potsdam

Als Manuskript gedruckt  
Potsdam 1991





93.0748/1

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



## Vorwort

Unsere Umwelt wird durch natürliche und anthropogene Prozesse, die an der Erdoberfläche und in deren Nähe ablaufen, in unmittelbarer Art und Weise beeinflusst. Dabei resultierten aus dem menschlichen Faktor im Laufe der Zeit immer größere Umweltveränderungen und -belastungen, wie Ozonloch, Treibhauseffekt, Vegetationsschäden, Müll/Altlasten, Luft-, Boden- und Wasserverschmutzung. Dies hat auch dazu geführt, daß die Entwicklung unserer Umwelt und der gesamten Erde zunehmend im Blickpunkt der Öffentlichkeit steht; denn vielen Menschen liegt das Wohl unseres Planeten Erde am Herzen.

Im Interesse unseres Lebensraumes steht die Aufgabe, unsere Umwelt zukunftsstabil zu bewahren und zu nutzen. Dazu gehört:

- Raubbau an natürlichen Ressourcen zu unterlassen,
- Projekte nur unter verantwortbaren Umweltaspekten zu realisieren,
- Maßnahmen zum Umweltschutz zu treffen,
- regenerative Maßnahmen zur Bewältigung von bereits verursachten Umweltschäden durchzuführen u. a.

Auf effektive Weise werden mit aerokosmischen Fernerkundungsmethoden umfangreiche Datenmengen gewonnen, die Auskunft über den Zustand und die Veränderungen unserer Erde geben. Sie bilden eine wesentliche Grundlage

- für die Erkundung der natürlichen Ressourcen und
- für die kontinuierliche Überwachung der an der Erdoberfläche und in der Erde ablaufenden Prozesse.

Daher kann der Einsatz der Fernerkundung in Forschung und Praxis wichtige Beiträge zur Bewältigung der Umweltprobleme leisten.

Die vom Zentralinstitut für Physik der Erde organisierte 6. Wissenschaftliche Konferenz der Reihe

"Stand und Entwicklungstendenzen der Fernerkundung",

die vom 28. bis 31. Mai 1991 in Potsdam stattfand, war dem aktuellen Thema

"Fernerkundung für die Umweltüberwachung"

gewidmet.

Potsdam, Okt. 1991

J. Höpfner



Inhaltsverzeichnis

## Teil 1

|   | Seite |
|---|-------|
| Vorwort von J. HÖPFNER  | 3     |
| Einführung von K.-H. MAREK  | 17    |
| ZIEMANN, H.: Die Aktivitäten der DARA in der Erderkundung   | 19    |
| BARTSCH, B.: Die Fernerkundung als Faktor der wirtschaftlichen Zusammenarbeit zwischen Ost und West                       | 29    |
| MAREK, K.-H.; FURRER, R.: Fernerkundung zur Umweltüberwachung im Raum Berlin-Brandenburg                                  | 36    |
| <br><u>Neue Fernerkundungssysteme für die Umweltüberwachung</u>   |       |
| BÄHR, H.-P.: Photographische oder digitale Aufnahmesysteme für die Umweltüberwachung?                                     | 46    |
| BACH, E.: PRIRODA - Ein Multisensorsystem zur Erderkundung für die sowjetische Raumstation MIR                            | 51    |
| <br><u>Erkundung von Altlasten und industriellen Umweltgefährdungen</u>   |       |
| BORRIES, H.-W.: Einsatzmöglichkeiten moderner Fernerkundungsträger zur Erfassung und Gefährdungsabschätzung von Altlasten | 65    |
| SEIFF, F.: Beprobungslose Verfahren zur Identifikation von Altlastenverdachtsflächen                                      | 75    |
| WELZER, W.: Verfahren zur Erfassung und Gefährdungsabschätzung von Altlastenverdachtsflächen und Rüstungsaltlasten        | 86    |
| KÜHN, F.; KRULL, P.: Fernerkundung und Umweltgeologie   | 94    |
| AIBLINGER, S.; SIEBERT, A.: Satellitengestützte Umweltüberwachung bergbaulich betroffener Gebiete                         | 104   |
| HÖRIG, B.; KÜHN, F.: Ein System des Fernerkundungsmonitorings zur Überwachung von Pipelines                               | 112   |

**Landschafts- und Regionalerkundungen**

|  |     |
|--|-----|
| STRATHMANN, F.-W.: Studien zur Landschaftsdefokussierung als Komponente der Bilddetailinterpretation   | 119 |
| MÜNZER, U.; ERNST, H.: Photogrammetrische Messungen an Metric-Camera-Aufnahmen für eine tektonische Analyse des östlichen Zagrosgebiets (Iran) | 128 |
| MÜNZER, U.: Statistische Erfassung von Lineamenten für eine Strukturanalyse von Island - eine Untersuchung mit Fernerkundungsdaten             | 132 |
| KOLEJKA, J.; GRAF, H.: Multitemporale Fernerkundungsuntersuchungen der Nové Mlýny Stauseen für eine ökologische Stabilisierung des Raumes      | 139 |
| PILARSKI, M.; MAREK, K.-H.; SCHMIDT, K.: Rekultivierung im Lausitzer Braunkohlenrevier - eine Analyse mittels Satellitenbildern                | 152 |
| STARK, U.: Einsatz von Satellitendaten für die Stadt- und Regionalplanung  | 154 |
| SCHMIDT, K.; MAREK, K.-H.: Zur Ableitung von Wärmebelastungsstufen der Berliner Stadtbezirke mit Hilfe von Satellitenbilddaten                 | 157 |
| FROTSCHER, W.: Methoden und Probleme der Luftbilddauswertung zur ökologischen Stadtforschung in Halle  | 160 |
| LUONG, Ph. T.; CUONG, T. D.: Anwendung von Fernerkundung und Geo-Expertensystem zur Bodenbewertung bei der Bodenerosionskartierung             | 176 |

**Vegetations- sowie Waldzustandserkundung**

|  |     |
|--|-----|
| KRÖNERT, R.: Bilanz zur Erkundung der Landnutzung mit Fernerkundungsdaten am Institut für Geographie und Geoökologie Leipzig (IGG) | 189 |
| STADLER, R.: Schritte zur Nutzbarmachung der Satellitenfernerkundung für die amtliche Statistik                                    | 206 |
| CUONG, P. V.; WIRTH, H.: Fernerkundungs- und GIS-Technologien zur Überwachung der Landnutzung eines tropischen Gebietes in Vietnam | 219 |
| JUNG, E.: Ermittlung der Schadstufen an Kiefernbeständen im Flachland der ehemaligen DDR   | 229 |

|  |     |
|--|-----|
| BARSCH, H.; WEICHEL, H.; HOFFMANN, K.; HERR, W.: Zur Erfassung von Waldschäden mit Satellitendaten - ein Beispiel aus dem Land Brandenburg | 232 |
| KUNTZ, St.; RÄHLMANN, H.: Untersuchung zur Anwendung von Satellitendaten zur Erfassung und Kartierung von Sturmschäden                     | 237 |
| HERING, A.: Holzvorratsabschätzung auf der Grundlage von Fernerkundungsdaten   | 246 |

## Teil 2

Hydrologische und Küstenerkundungen

|   |     |
|---|-----|
| IJJAS, G.; RAO, Y. S.; HÖRCHER, F.; VARGAI, Z.; AUJESZKY, L.: Bodennässeschätzung unter Verwendung von auf einem Fahrzeug montierten L-, S-Mikrowellen- und Thermal-Infrarot-Band-Radiometern und verschiedene theoretische Modelle | 251 |
| BONAU, U.: Luftbilddaufnahmen aus Ultraleichtflugzeugen zur Kontrolle der Wasserapplikation   | 260 |
| BARANOWSKA, T.: Kartierung der Wasserqualität in Seenplatten anhand multitemporaler digitaler MSS- und TM-Landsat-Bilder  | 270 |
| GOHS, L.: Räumliche und zeitliche Variabilität der Gelbstoffe in der Ostsee   | 275 |
| SIEGEL, H.; SCHMIDT, Th.; SEIFERT, T.: Nachweis von Küstenabfluß in der Kombination von Schiffsmessungen und Fernerkundungsdaten  | 289 |
| SCHMIDT, T.; SEIFERT, T.; STURM, M.: Zeitliche Entwicklung eines Kaltwasserauftrieb-Ereignisses an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns in NOAA-AVHRR-Temperaturdaten  | 302 |

Multisensordatennutzung und neue Auswertemethoden für Fernerkundungsdaten

|   |     |
|---|-----|
| WEBER, J.: Untersuchungen zur Eignung des Sensors KFA-1000 für die Erfassung von Vegetation und Versiegelung in besiedelten Bereichen | 311 |
|---|-----|

|   | Seite |
|---|-------|
| KLIMEŠOVÁ, D.: Nutzung von Videoaufzeichnungen und Luftbildern zur Erkennung der Vegetation   | 324   |
| LYALKO, V. I.: Steigerung des Informationsgehalts des MS-Komplexes MOS-OBZOR im Projekt PRIRODA für die Erkennung toxischer Belastungen | 329   |
| SZÁSZ, G.: Die Anwendung der Spektrophotometrie in der Fernerkundung  | 339   |
| PROSS, E.: Die Bedeutung der Funktionalanalyse bei der Nutzung von Geowissenschaften für Umweltaufgaben                                 | 353   |
| SCHULZ, J.: Aspekte der Integration von Fernerkundungsdaten in Geoinformationssysteme   | 363   |
| ALBERTZ, J.; TAUCH, R.: Erfahrungen bei der Herstellung von Satelliten-Bildkarten   | 373   |

#### Weitere Beiträge

|  |     |
|--|-----|
| PRANTZ, U.; PELZ, E.: Untersuchungen zur geometrischen Auflösung mittels Flugzeugscannersimulation   | 384 |
| MASŁOWSKA, A.: Rückstreuung der elektromagnetischen Wellen durch große und weiche Teilchen in der Atmosphäre   | 392 |
| KOLLEWE, M.; CORDES, W.; FISCHER, J.: Messung und Deutung der von Wolken rückgestreuten Sonnenstrahlung im Bereich der Sauerstoff-A-Absorptionsbande | 397 |
| WIRTH, H.; OPPITZ, K.: Formalisierung kartographisch-geometrischer Strukturen für Teilprozesse der kartographischen Generalisierung                  | 406 |

#### Kurzfassungen

|   |     |
|---|-----|
| BARSCH, H.; ITZEROTT, S.; SCHWARZKOPF, U.; LOEPER, H.: Charakteristik der Spektralsignatur von Steppenlandschaften und deren Stabilität beim Wechsel der Betrachtungsebenen - Ergebnisse des Interkosmos-Experiments GEOMON-89/90 | 417 |
|---|-----|

|  | Seite |
|--|-------|
| FLUSSER, J.: Vorverarbeitung multitemporaler und multisensoraler digitaler Bilder in der Fernerkundung   | 418   |
| HEISS, M.: Die Verknüpfung von Satellitendaten mit digitaler Geoinformation für wirtschaftliche Planungszwecke   | 419   |
| KENNEWEG, H.: Waldüberwachung und Waldschadensüberwachung durch Fernerkundung: Ansätze und Probleme  | 420   |
| KLAEDTKE, H.-G. ; KLEYER, M.: Klassifizierung und Flächenbilanz der Hauptfruchtarten im Landkreis Ludwigsburg für das Jahr 1990                          | 421   |
| KLAEDTKE, H.-G.; ZIEMANN, H.: Verwendung von digitalisierten KFA-1000-Aufnahmen in Kombination mit Landsat-TM- und SPOT-HRV-Aufnahmen                    | 422   |
| KRAWCZYK, H.: Untersuchungen zu Eigendimensionalität und Informationsgehalt multispektraler Fernerkundungsdaten mittels Hauptkomponentenanalyse          | 423   |
| LISCHTVAN, I. I. u. a.: Nutzung von Fernerkundungsmethoden zum Strahlungs- und ökologischen Monitoring in Weißrußland                                    | 424   |
| MAUSER, W.: Die Rolle der Fernerkundung bei der Erhebung von Pflanzenparametern und bei der Ertragsbestimmung  | 425   |
| OPRESCU, N.; MANDESCU, E.: Entwicklung eines spezifischen Landinformationssystems (LIS) für Feuchtgebiete mit Hilfe von FE-Daten, Fallstudie Donaudeelta | 426   |
| PILARSKI, J. u. a.: Deponie Schöneiche und Umgebung. I. Fernerkundungsrecherche - Geologie   | 427   |
| PILARSKI, J.; WEICHEL, H.: Deponie Schöneiche und Umgebung. II. Spektrale Signaturen - Geologie  | 428   |
| RÖSSNER, S.: Automatische Landnutzungskartierung der Region "Mittlerer Oberrhein" auf der Basis von Landsat-TM-Bilddaten                                 | 429   |
| ŠEBESTA, J.: Exodynamische Analyse des tektonischen Reliefs längs des Nordsyrien durchlaufenden Störungssystems  | 430   |
| SYRBE, R.-U.; PILARSKI, J.: Spreewald - Untersuchungen zur Landschaftsstruktur und Neotektonik   | 432   |

|  | Seite      |
|--|------------|
| TRUMBICH, G.: Beiträge der Fernerkundung zur Klärung von Problemen der Bergbausicherheit im Sangerhäuser Bergbaurevier   | 433        |
| VASILJEV, L. N.: Fraktale in den räumlichen Strukturen von Geosystemen   | 434        |
| WEGNER, T. u. a.: Fernerkundungseinsatz für akute Gefährdungsabschätzung im Umfeld einer Deponie   | 435        |
| WEISSFLOG, G.: Digitale Auswertung von Fernerkundungsdaten von SPOT 1X und Flugzeugmultispektralkamera MSK 4 zur Informationsgewinnung über Waldzustandsmerkmale im Thüringer Holzland | 436        |
| WIRTH, H.; SCHILBACH, G.; OPPITZ, K.: Satellitengestützte Überwachung des Zustandes von Oberflächengewässern   | 437        |
| <b>Verzeichnis der Konferenzteilnehmer</b>   | <b>438</b> |
| <b>Veröffentlichungen über die Veranstaltungsreihe</b>   | <b>449</b> |

Contents

## Part 1

|   | page |
|---|------|
| Foreword by J. HÖPFNER  | 3    |
| Introduction by K.-H. MAREK   | 17   |
| ZIEMANN, H.: Activities of DARA in Earth observation  | 19   |
| BARTSCH, B.: Remote sensing as a factor of East-West economic co-operation  | 29   |
| MAREK; K.-H.; FURRER, R.: Remote sensing for environmental monitoring in the area of Berlin-Brandenburg                           | 36   |
| <br><u>New remote sensing systems for environmental monitoring</u>  |      |
| BÄHR, H.-P.: Photographic or digital recording systems for environmental monitoring?  | 46   |
| BACH, E.: PRIRODA - a multisensor system of remote sensing of the Earth for the Soviet orbital station MIR                        | 51   |
| <br><u>Sensing of contaminated areas and for industrial environmental danger</u>  |      |
| BORRIES, H.-W.: Opportunities of using modern remote sensing carriers for recording and danger interpreting of contaminated areas | 65   |
| SEIFF, F.: Remote sensing methods for identifying contaminated areas  | 75   |
| WELZER, W.: Method for registration and danger interpretation of contaminated areas and ammunition stocks                         | 86   |
| KÜHN, F.; KRULL, P.: Remote sensing and environmental geology   | 94   |
| AIBLINGER, S.; SIEBERT, A.: Satellite-assisted environmental monitoring of mining areas   | 104  |
| HÖRIG, B.; KÜHN, F.: A remote sensing system for monitoring pipelines   | 112  |

**Landscape and regional sensing**

|   |     |
|---|-----|
| STRATHMANN, F.-H.: Studies in landscape out-of-focus<br>as component of the detailed image interpretation   | 119 |
| MÜNZER, U.; ERNST, H.: Photogrammetric measurements in<br>Metric Camera photographs for a tectonic<br>analysis of the Eastern area of Zagros (Iran)       | 128 |
| MÜNZER, U.: Statistical registration of lineaments for<br>the analysis of features of Iceland - research<br>using remote sensing data                     | 132 |
| KOLEJKA, J.; GRAF, H.: Multitemporal remote sensing in-<br>vestigations of the reservoirs of Nové Mlýny<br>for an ecologic stabilization of the territory | 139 |
| PILARSKI, M.; MAREK, K.-H.; SCHMIDT, K.: Recultivation<br>in Lusatian lignite areas - an analysis by<br>satellite images                                  | 152 |
| STARK, U.: Application of satellite data for urban and<br>regional planning   | 154 |
| SCHMIDT, K.; MAREK, K.-H.: On deriving a thermal stress<br>scale of Berlin city districts based on satel-<br>lite imagery                                 | 157 |
| FROTSCHER, W.: Methods and problems of aerial photo-<br>graph interpretation for urban-ecological<br>research in the region of Halle                      | 160 |
| LUONG, Ph. T.; CUONG, T. D.: Application of remote<br>sensing and of a Geo-expert system for soil<br>evaluation in soil erosion hazard mapping            | 176 |
| <br><b><u>Vegetation and forest state sensing</u></b>   |     |
| KRÖNERT, R.: Results obtained at the Institute for<br>geography and geo-ecology of Leipzig for remote<br>sensing of land use                              | 189 |
| STADLER, R.: Steps for utilization of satellite remote<br>sensing in the official statistics  | 206 |
| CUONG, P. V.; WIRTH, H.: Technologies of remote sensing<br>and GIS for monitoring land use of a tropi-<br>cal region in Vietnam                           | 219 |
| JUNG, E.: Determination of damage classes at pine woods<br>in the low country of the former GDR   | 229 |

|   | page |
|---|------|
| BARSCH, H.; WEICHEL, H.; HOFFMANN, K.; HERR, W.:<br>Detection of forest damages by satellite data -<br>case study in the territory of Brandenburg | 232  |
| KUNTZ, St.; RÄHLMANN, H.: Investigation on the applica-<br>tion of satellite data to recording and mapping<br>storm damages                       | 237  |
| HERING, A.: Determining forest resources by means of<br>remote sensing data   | 246  |

## Part 2

### Hydrologic and coastal sensing

|  |     |
|--|-----|
| IJJAS, G.; RAO, Y. S.; HÖRCHER, F.; VARGAI, Z.;<br>AUJESZKY, L.: Soil moisture estimation using<br>truck mounted L, S microwaves and thermal-infra<br>band radiometers and different theoretical<br>models | 251 |
| BONAU, U.: Airphotos realized from trikes for control-<br>ling water application   | 260 |
| BARANOWSKA, T.: Mapping of the lake water quality using<br>multitemporal digital Landsat-MSS and -TM<br>images   | 270 |
| GOHS, L.: Spatial and temporal variabilities of yellow<br>substances in the Baltic sea   | 275 |
| SIEGEL, H.; SCHMIDT, Th.; SEIFERT, T.: Evidence of<br>coastal outflow in combination of shipborne<br>measurements and remote sensing data  | 289 |
| SCHMIDT, T.; SEIFERT, T.; STURM, M.: Temporal evolution<br>of an "upwelling" situation on the shore of<br>Mecklenburg-Vorpommern in NOAA-AVHRR tempera-<br>ture data                                       | 302 |

### The use of multisensor data and new methods for inter- preting remote sensing data

|   |     |
|---|-----|
| WEBER, J.: Research for suitability of the satellite<br>images of Kosmos KFA-1000 on recording vege-<br>tation and sealed areas in an urban landscape | 311 |
|---|-----|

|   | page |
|---|------|
| KLIMEŠOVÁ, D.: The use of the videotape and aerial data for identification of vegetation variables  | 324  |
| LYALKO, V. I.: Improvement of the information content of multispectral MOZ-OBZOR data in the project of PRIRODA for recognizing toxicant influences | 329  |
| SZÁSZ, G.: Application of the spectrophotometry in remote sensing   | 339  |
| PROSS, E.: The role of the functional analysis when geosciences are used for environmental tasks  | 353  |
| SCHULZ, J.: Aspects of integration of remote sensing data in GIS  | 363  |
| ALBERTZ, J.; TAUCH, R.: Experiences in producing Satellite Image Maps   | 373  |

#### Additional contributions

|  |     |
|--|-----|
| PRANTZ, U., PELZ, E.: Investigations of the geometric resolution by means of airplane scanner simulation   | 384 |
| MASŁOWSKA, A.: Backscattering of electromagnetic waves by big and soft particles in the atmosphere   | 392 |
| KOLLEWE, M.; CORDES, W.; FISCHER, J.: Measurement and interpretation of the backscattered sunlight from clouds within the oxygen A-absorption band | 397 |
| WIRTH, H.; OPPITZ, K.: Formal representation of cartographic-geometric structures for subprocesses of the cartographic generalization              | 406 |

#### Abstracts

|  |     |
|--|-----|
| BARSCH, H.; ITZEROTT, S.; SCHWARZKOPF, U.; LOEPER, H.: Characteristics of spectral signature of steppe landscapes and its stability by changing view levels - results of the Interkosmos experiment GEOMON-89/90 | 417 |
|--|-----|

|  | page |
|--|------|
| FLUSSER, J.: Preprocessing of multitemporal and multi-source digital images in remote sensing  | 418  |
| HEISS, M.: Connection of satellite data with digital geoinformation for hydrologic planning  | 419  |
| KENNEWEG, K.: Forest monitoring and forest damage monitoring by means of remote sensing: approach and problems   | 420  |
| KLAEDTKE, H.-G. ; KLEYER, M.: Classification and area results of the main fruit sorts in the rural district of Ludwigsburg for 1990                          | 421  |
| KLAEDTKE, H.-G.; ZIEMANN, H.: Use of digitized KFA-1000 photographs in combining Landsat-TM and SPOT-HRV images  | 422  |
| KRAWCZYK, H.: Investigations on natural dimensionality and information content of multispectral remote sensing data by means of principal component analysis | 423  |
| LISCHTVAN, I. I. et al.: Application of remote sensing methods for radiation and ecological monitoring in Belorussia   | 424  |
| MAUSER, W.: The role of remote sensing in estimating plant parameters and crops  | 425  |
| OPRESCU N.; MANDESCU, E.: Developing a specific LIS in moist areas by means of remote sensing data - case study for the Danube delta                         | 426  |
| PILARSKI, J. et al.: Dump of Schöneiche and surroundings. I. Remote sensing research - geology   | 427  |
| PILARSKI, J.; WEICHEL, H.: Dump of Schöneiche and surroundings. II. Spectral signatures - geology  | 428  |
| RÖSSNER, S.: Automatic land use mapping of the region of the "Central Upper Rhine" on the basis of Landsat-TM image data                                     | 429  |
| SEBESTA, J.: The exodynamic analysis of tectonic relief along the levant fault system in Northern Syria  | 430  |
| SYRBE, R.-U.; PILARSKI, J.: Spreewald - Investigations to landscape structure and neotectonics   | 432  |

|  | page |
|--|------|
| TREMBICH, G.: Contributions of remote sensing for recognizing problems of mining safety in the mining district of Sangerhausen   | 433  |
| VASILJEV, L. N.: Fractals in spatial structures of geo-systems   | 434  |
| WEGNER, T. et al.: Application of remote sensing for assessing the urgent hazard in the surroundings of a dump   | 435  |
| WEISSFLOG, G.: Digital interpretation of remote sensing data of SPOT 1X and aircraft multispectral camera MSK 4 for information on forest state features in the territory of Thuringia | 436  |
| WIRTH, H.; SCHILBACH, G.; OPPITZ, K.: Satellite-assisted monitoring of the surface waters state  | 437  |
| <br>   |      |
| List of participants of the conference   | 438  |
| <br>   |      |
| Publications concerning the series of conferences  | 449  |

## Einführung

Die Veranstaltungsreihe "Stand und Entwicklungstendenzen der Fernerkundung", die seit 1981 in etwa zweijährigem Abstand jeweils zu unterschiedlichen inhaltlichen Schwerpunkten der Fernerkundungsforschung und -technologie stattfindet, hat sich im letzten Jahrzehnt zum bedeutendsten wissenschaftlichen Diskussionsforum in der ehem. DDR auf dem Gebiet der Fernerkundung entwickelt.

Die 6. Konferenz dieser Reihe vom 28. bis 31. Mai 1991 in Potsdam war mit dem Thema "Fernerkundung für die Umweltüberwachung" erneut einer hoch aktuellen Problematik gewidmet. Die Absicht der Veranstaltungsreihe, Stätte der Begegnung und Diskussion zwischen den Fernerkundungs-Spezialisten aus Ost und West zu sein, erhielt diesmal auf Grund der seit der letzten Konferenz in den osteuropäischen Ländern eingetretenen politischen und ökonomischen Veränderungen eine neue Dimension.

Zur weiteren Förderung dieser Idee einer Ost-West-Diskussionsstätte auf dem Gebiet der Fernerkundung war die 6. Fernerkundungskonferenz zeitlich und räumlich mit der XVI. Jahrestagung der Ständigen Arbeitsgruppe Fernerkundung des INTERKOSMOS-Programms sowie mit einigen Spezialmeetings, darunter der ISPRS-Kommission II und zum PRIRODA-Projekt, gekoppelt. Darüber hinaus fand in einer Abendveranstaltung am 31. Mai 1991 ein öffentliches Ost-West-Diskussionsforum statt, wo sich als Repräsentanten beider Seiten die Professoren Armand (Moskau), Bähr (Karlsruhe), Joachim (Berlin), Mischew (Sofia), Nej (Warschau), Szász (Debrecen) und Ziemann (Bonn) unter der Moderation von Prof. Marek (Potsdam) den Fragen zum Thema "Fernerkundung in Gegenwart und Zukunft-Chancen und Möglichkeiten" stellten.

Auf der 6. Fernerkundungskonferenz wurden in 12 Sitzungen insgesamt 77 Beiträge, darunter 29 als Poster, präsentiert. Sie waren den beiden Schwerpunkten

- neue Fernerkundungssysteme und -methoden für die Umweltüberwachung und
- Ergebnisse der Nutzung von Fernerkundungsdaten in der Landschafts- und Regionalerkundung, der Vegetationserkundung sowie bei der Erkundung von Altlasten und industrieller Umweltgefährdungen, des Waldzustandes und von Hydrologie und Küstendynamik gewidmet.

Die schriftlich eingereichten Beiträge werden in den vorliegenden zwei Bänden aus der Reihe "Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde" Potsdam publiziert. Daneben bleiben als Ergebnis der Veranstaltung die Aufnahme vielfältiger neuer fachlicher und persönlicher Kontakte zwischen den Teilnehmern sowie die Vorschläge zur Bildung eines territorialen Verbundes von öffentlichen und privatwirtschaftlichen Fernerkundungseinrichtungen im Raum Berlin-Brandenburg, zur Durchführung eines Arbeitstreffens über fraktale Eigenschaften von Fernerkundungsobjekten und - nicht zuletzt - zur Fortführung dieser Veranstaltungsreihe auch unter den neuen organisatorischen und ökonomischen Bedingungen.

Insgesamt nahmen an der 6. Fernerkundungskonferenz mehr als 130 Wissenschaftler aus Bulgarien, ČSFR, Kuba, Mongolei, Polen, Rumänien, UdSSR, Ungarn, Vietnam und der Bundesrepublik Deutschland teil. Offizielle Begrüßungen an die Teilnehmer richteten Dr. D. Fischer vom Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg und der Bürgermeister der Stadt Potsdam, Herr Motzkus.

Die Deutsche Agentur für Raumfahrtangelegenheiten (DARA) hat mit ihrer Förderung die Durchführung dieser Veranstaltung ermöglicht. Ihr gilt dafür der große Dank aller Teilnehmer.

Dank gilt auch dem Organisationskomitee unter der bewährten Leitung von Dr. K.-H. John, wie auch allen anderen, die diese Veranstaltungsreihe seit 1981 mitgestaltet haben.

Prof. Dr. K.-H. Marek  
Tagungsleiter

## Die Aktivitäten der DARA in der Erderkundung

H. Ziemann<sup>o</sup>

## ZUSAMMENFASSUNG

Nach einer allgemeinen Einleitung in die Problematik der Erderkundung aus dem Weltraum wird die DARA als neue deutsche Behörde für das Management von Raumfahrtangelegenheiten eingeführt. Es folgt eine Kurzdarstellung der Aufgaben und der Organisation der DARA. Der Hauptteil des Berichtes gibt zunächst eine Übersicht über den organisatorischen DARA-Bereich Erderkundung und dann eine zusammenfassende Beschreibung der Aufgaben dieses Bereiches, wie sie unter Heranziehung von Gutachterausschüssen und Beratern aus der Industrie erarbeitet wurden.

## ABSTRACT

A general introduction into problems of spaceborne earth observation is followed by the introduction of the German Space Agency DARA as the new German space programme management agency. A short description of organization and tasks of DARA follows. The main part of the report first gives a short overview over the DARA branch Earth Observation and then summarizes the tasks of the branch based on input provided by DARA staff, advisory committees and industrial consultants.

## EINLEITUNG

Der Blick aus dem Weltraum auf unseren Globus eröffnet eine einzigartige Möglichkeit, das Land, das Meer, die Atmosphäre und insbesondere die vielfältigen Austauschvorgänge und komplexen Wechselwirkungen großräumig zu erfassen und zu studieren. Ereignisse wie die Ozonlöcher über den Polargebieten, drohende Klimaänderungen durch globale Erwärmung, bekannt als "Treibhauseffekt", und der damit verbundene Anstieg der Meere, Algenplagen und Verschmutzung der Küstengewässer, Ausbreitung der Wüsten und Verknappung der Ernährungsgrundlagen sowie Waldschäden haben die Menschen sensibilisiert und das Umweltbewußtsein verstärkt. Die Kenntnis dieser Kreisläufe, ihrer Veränderung und Verletzlichkeit durch die wachsende Menschheit ist lückenhaft. Bisher sind nur Teilzusammenhänge bekannt und vorhersagbar. Was fehlt, ist ein vollständiger Einblick in das Gesamtsystem Erde.

Dies ist eine Herausforderung für die Anwendung neuer technischer Systeme, die nur durch die Zusammenarbeit vieler wissenschaftlicher Disziplinen und der öffentlichen Verwaltung auf allen politischen Ebenen zum Erfolg führen kann. Die Erderkun-

<sup>o</sup> Hauptabteilung Atmosphären-, Land- und Ozeanerkundung, DARA GmbH, Königswinterer Str. 550-554, 5300 Bonn 3

dung aus dem Weltraum, bereits jetzt die Klammer vieler multidisziplinärer Forschungsvorhaben, wird dabei zu einem immer wichtiger werdenden Werkzeug, auch mit dem Ziel der permanenten Überwachung der Auswirkung von Umweltschutzabkommen oder zur Unterstützung der Umweltgesetzgebung.

Aber nicht nur bei den Bemühungen um die Erhaltung des ökologischen Gleichgewichts und die bessere Ausnutzung der natürlichen Ressourcen auf unserem Planeten, sondern auch im alltäglichen Leben werden von der eleganten und schnellen Möglichkeit der Informationsgewinnung aus dem Weltraum Vorteile erwartet.

Was bei der Wetterkarte bereits heute praktiziert wird, könnte in Zukunft auch für viele andere, den Alltag eines jeden berührende Daten geschehen, zum Beispiel im Hinblick auf Freizeitgestaltung (wie Wassertemperaturen, Schneehöhen und Windstärken), Verkehrslenkung (Navigationssysteme, aktuelle Karten und Informationen), Raumplanung, Erfassung von Bodennutzungen (alternativ zu Feldbegehung oder Volksbefragung), Erntebeurteilungen und Unterstützung der infrastrukturellen Aufbauarbeit in den neu- en Bundesländern und den Ländern Osteuropas. Es gibt also eine Vielfalt von durch die Erderkundung betroffenen Lebensbereichen, und tatsächlich besteht in Deutschland bereits eine größere Nutzergemeinde, die auf erdbezogene Informationen aus dem Weltraum zurückgreift.

Ziele der DARA-Aktivitäten im Bereich der Erderkundung sind es

- einen angemessenen Beitrag zu den weltweit stattfindenden großen Anstrengungen zur Erforschung der globalen ökologischen Zusammenhänge zu leisten,
- den Datenbedarf über die Erde von Nutzern in Wissenschaft und Anwendung zu erfüllen bzw. im Vergleich mit herkömmlichen Methoden Alternativen aufzuzeigen,
- Wissenschaft und Industrie unseres Landes Impulse durch zukunftsweisende Technologie zu geben,
- die internationale Zusammenarbeit zu intensivieren,
- durch Beiträge zur Umweltvorsorge, zur besseren Ressourcennutzung, zum Nord-Süd-Ausgleich und zur rechtzeitigen Erkennung von Gefahren das friedvolle Zusammenleben der Menschen unter besseren Lebensbedingungen zu fördern.

Gerade weil die aus dem Weltraum gewonnenen Daten über die Erde große Flächen grenzüberschreitend, zugangsfrei und regelmäßig erfassen, überall empfangbar und verarbeitbar sind und daher den heutigen globalen Problemen und der sich wandelnden Menschheit im Dienstleistungs- und Informationszeitalter gut angepaßt sind, soll die Erderkundung im Rahmen der deutschen Weltraumaktivitäten in Zukunft eine höhere Priorität erhalten.

Das Spektrum der Anwendung raumgestützter Erderkundungssysteme ist breit und stützt sich sowohl auf Anforderungen aus der

Forschung als auch von operationellen Nutzern. Obwohl aus dem Weltraum gewonnene Daten heute schon intensiv genutzt werden, ist das Anwendungspotential noch nicht annähernd erschlossen. Zum einen stehen für das Verständnis des "Systems Erde" noch zu wenig geeignete Daten zur Verfügung, und zum anderen sind die verfügbaren Daten für operationelle Anwendungen entweder noch nicht genau genug oder nicht für spezielle Problemstellungen hinreichend genau zugeschnitten. Die Programmplanung muß sich folglich sowohl auf den Einsatz besserer Aufnahmege-  
rättechnologien im Orbit als auch auf breit gefächerte Maßnahmen zur Datennutzung auf der Erde konzentrieren. Eine weitere wesentliche Forderung ist Datenkontinuität; die Programmplanung muß daher sicherstellen, daß operationell einsetzbare Sensortypen über längere Zeiträume eingesetzt werden. Nur unter den genannten Voraussetzungen werden viele potentielle Anwender bereit sein, sich mit satellitengestützten Informationen für ihre Aufgaben auseinanderzusetzen.

#### DIE DEUTSCHE AGENTUR FÜR RAUMFAHRTANGELEGENHEITEN (DARA) GMBH UND IHRE AUFGABEN

Weltraumforschung und Raumfahrttechnik werden seit 1962 in Deutschland gefördert. Die westeuropäischen Länder haben schon früh erkannt, daß sie Raumfahrt nur gemeinsam und im Rahmen internationaler Zusammenarbeit durchführen können. Daher haben sie sich 1964 zur Wissenschaftsorganisation ESRO und zur Träger-  
raketenentwicklungsorganisation ELDO zusammengeschlossen. Diese beiden Organisationen wurden 1975 zur europäischen Weltraumorganisation ESA vereinigt. Die ESA hat einen auf rein friedliche Zwecke gerichteten Auftrag und zählt 13 Mitgliedstaaten (Belgien, Dänemark, Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Irland, Italien, die Niederlande, Norwegen, Österreich, Schweden, Schweiz und Spanien), ihr jährliches Budget beträgt zur Zeit etwa 4 Milliarden DM. Deutschland leistet den größten obligatorischen Beitrag wegen seines hohen Bruttosozialproduktes.

Deutschland strebt ein eingeständiges Profil im Rahmen enger internationaler Zusammenarbeit an, wobei neben der ESA als bi- und multilaterale Kooperationspartner insbesondere die USA, aber auch Japan, China und künftig verstärkt die UdSSR zu nennen sind.

Der wachsende Stellenwert der Raumfahrt in Deutschland führte zu einer Neuordnung des Raumfahrtmanagements. Als zentrale Organisation für die Vorbereitung, Durchführung und Vertretung aller Raumfahrtangelegenheiten wurde im Sommer 1989 die **DARA GmbH** gegründet. Sie ist auf Leistungsfähigkeit hin orientiert; die Rechtsform einer GmbH gewährleistet die notwendige Flexibilität und Mobilität sowie die gewünschte Nähe zur Wirtschaft und Wissenschaft.

Im Juni 1990 wurde das Gesetz zur Übertragung von Verwaltungsaufgaben auf dem Gebiet der Raumfahrt (Raumfahrtaufgabenübertragungsgesetz - RAÜG) beschlossen und verkündet. Die für Raumfahrtangelegenheiten zuständigen obersten Bundesbehörden verleihen der DARA die Befugnis, Verwaltungsaufgaben auf dem

Gebiet der Raumfahrt im eigenen Namen und in der Handlungsform des öffentlichen Rechts wahrzunehmen. Es handelt sich um die Erstellung der deutschen Raumfahrtprogramme und deren Durchführung sowie die Wahrnehmung der deutschen Raumfahrtinteressen im internationalen Bereich.

Die Erstellung der deutschen Raumfahrtplanung ist ein Kernthema. Hierzu gehören insbesondere

- die Konkretisierung der von der Bundesregierung vorgegebenen Raumfahrtziele, Ausarbeitung der deutschen Raumfahrtplanung einschließlich der internationalen Programm- und Projektbeteiligungen, Entwurf der integrierten deutschen Raumfahrtplanung unter Berücksichtigung der Programme der ESA sowie bilateraler und multilateraler Programme,
- die Ausarbeitung von Empfehlungen für eine deutsche Beteiligung an internationalen Raumfahrtprogrammen und -projekten sowie von Analysen und Bewertungen zur Realisierbarkeit neuer Vorschläge insbesondere aus technologischer, ökonomischer und finanzieller Sicht.

Zur Durchführung der Raumfahrtprogramme gehören

- die Koordinierung der Raumfahrtaktivitäten in Abstimmung mit Industrie und Wissenschaft,
- die Durchführung der Projektförderung im Raumfahrtbereich durch Vergabe von Zuwendungen und Aufträgen, Initiativen für Förderschwerpunkte, Projektsteuerung, Projektkontrolle, Bewertung und Ergebnisumsetzung,
- die Planung und Koordinierung von Betriebseinrichtungen,
- Initiativen zur Nutzung der Raumfahrtinfrastruktur mit dem Ziel der Förderung der Kommerzialisierung,
- der Abschluß der zur Durchführung der Aufgaben erforderlichen Verträge,
- die Aufstellung des jährlichen Finanzbedarfs, Vorschläge für die Haushaltsaufstellung und die mittelfristige Finanzplanung des Bundes im Raumfahrtbereich,
- die Vergabe der zur Bewirtschaftung zugewiesenen Raumfahrthaushaltsmittel,
- Beratung und Unterstützung der Bundesressorts und beteiligter öffentlicher Institutionen.

Zur Wahrnehmung deutscher Raumfahrtinteressen im nationalen und internationalen Bereich gehören insbesondere folgende Einzelaufgaben:

- die Mitgestaltung und Kontrolle bei ESA-Programmen, Vertretung Deutschlands in den Gremien der ESA,

- die Wahrnehmung deutscher Raumfahrtinteressen beim Aufbau und der Durchführung multilateraler und bilateraler Vereinbarungen,
- die Koordinierung der Raumfahrtaktivitäten in Abstimmung mit Industrie und Wissenschaft,
- Beratung und Unterstützung der in der Raumfahrt engagierten Bundesressorts und anderer öffentlicher Institutionen.

Die DARA hat zur Zeit etwa 250 Mitarbeiter, die sich auf den Stabsbereich des Generaldirektors (Prof. Dr. W. Wild) und drei Geschäftsbereiche Raumfahrtinfrastruktur, Raumfahrtnutzung und Administration verteilen. Im Geschäftsbereich Raumfahrtnutzung (GN, Geschäftsführer Prof. H. Stoewer) sind zur Zeit etwa 120 Mitarbeiter tätig, die sich auf die drei Bereiche Erderkundung, Wissenschaftsorientierte Nutzung, Anwendungsorientierte Nutzung und den Stabsbereich des Geschäftsführers verteilen.

#### DER BEREICH ERDERKUNDUNG UND SEINE AUFGABEN

Der Bereich Erderkundung (GN-E) mit zur Zeit 27 Mitarbeitern zerfällt in zwei Hauptabteilungen, Planung und Missionsvorbereitung (GN-EP, Leiter A. Langner) und Atmosphären-, Land- und Ozeanerkundung (GN-EE, Leiter Dr. H. Ziemann). GN-EP mit zur Zeit 14 Mitarbeitern führt einmal Erderkundungs-"Großprojekte" durch, nämlich (1) Umweltsatelliten- und (2) SAR-Projekte, und ist andererseits mit der (3) Erschließung und Vorbereitung neuer Satellitenanwendungen tätig, während GN-EE mit zur Zeit 12 Mitarbeitern sich der verbleibenden Aufgaben annimmt, die in (1) Globale und (2) Regionale Anwendungen sowie (3) Datennutzung und -politik unterschieden werden.

Deutsche Aktivitäten in der Erderkundung werden von verschiedenen Bundesministerien [zum Beispiel Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT), Bundesministerium für Verkehr (BMV), Bundesministerium des Inneren (BMI), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit (BMZ)], der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und verschiedenen Ministerien in den Bundesländern unterstützt. Das BMFT unterstützt die Forschung und Technologieentwicklung für Weltraum und Luftfahrt. Das BMV finanziert die operationelle Meteorologie und damit auch zum Teil das von der dafür gegründeten EUMETSAT-Organisation durchgeführte METEOSAT-Programm. Das BMI fördert auch für Weltraumaufgaben wichtige geodätische und gravimetrische Tätigkeiten. Das BMZ unterstützt Entwicklungshilfsprojekte, die zum Beispiel die Ausbildung für den oder Beratung beim Einsatz von Erderkundungstechniken einschließen können. Die DFG unterstützt Forschungsaktivitäten von Universitätsinstituten.

Die vorstehende Aufzählung kann leicht einen falschen Eindruck bezüglich der Aufgaben der DARA erwecken: bisher hat nur das BMFT das Management von Raumfahrtprojekten und -studien gemäß RAÜG an die DARA übertragen. Diese Aufgaben werden, soweit sie die Erderkundung betreffen, im folgenden detaillierter darge-

stellt. Die Schwesterorganisation der DARA, die Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) mit etwa 1500 Mitarbeitern, ist nicht nur für Luftfahrtforschung und -technologieentwicklung, sondern in ihrem Raumfahrtbereich auch für Forschungsaufgaben im ingenieurtechnischen und wissenschaftlichen Bereich und für den operationellen Teil von Raumfahrtprojekten wie Labors, Prüfstände, Windkanäle und Bodenbetriebseinrichtungen zuständig.

Das Erderkundungsprogramm der Bundesrepublik Deutschland soll das breite Aufgabenspektrum, das in Bild 1 dargestellt ist, und darüberhinaus möglicherweise andere Bereiche wie Sozioökonomie und Technologiefolgeabschätzung abdecken. Es umfaßt zwei grundlegende Programminhalte:

- Forschungsvorhaben zum System Erde mit den Bereichen Feste Erde, Biosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre und Atmosphäre und deren Wechselwirkungen; hier kommt es vor allem darauf an, die Wirkungszusammenhänge des Gesamtsystems Erde besser zu verstehen und solche Beiträge zu liefern, die am besten mit den "globalen" Mitteln der Raumfahrt erarbeitet werden können,

und

- Vorhaben zur Wahrnehmung staatspolitischer, hoheitlicher und wirtschaftlicher Aufgaben; hier besteht die wichtigste Aufgabe darin, einem breiten Spektrum von potentiellen Nutzern, zum Beispiel in Landwirtschaft, Umweltschutz, Kartographie, Regional- und Verkehrsplanung oder auch Verifikation, Daten zur Verfügung zu stellen. Bei Bedarf sollten operationelle Aufgaben durch bestehende oder neu zu schaffende Betreiberorganisationen (wie zum Beispiel EUMETSAT) übernommen werden.

Die Erfüllung dieser Anforderungen verlangt eine größere Anzahl verschiedener Meßinstrumente und Satellitensysteme. Daher wird eine Aufgabenteilung mit europäischen und internationalen Partnern und Institutionen angestrebt.

Das Erderkundungsprogramm besteht aus fünf Komponenten (siehe Bild 2), nämlich

- die Beteiligung am ESA-Programm mit dem Schwerpunkt auf wissenschaftlichen und präoperationellen Missionen; hierher gehören:
  - der europäische Erderkundungssatellit ERS-1 und die Entwicklung seines im Instrumentarium erweiterten Nachfolgers ERS-2,
  - das Erderkundungsprogramm basierend auf der im Rahmen des COLUMBUS-Programms in Entwicklung befindlichen Polaren Plattform POEM mit zwei Missionsreihen ("M" für Meteorologie, Klima-, Ozean- und Eisforschung und "N" für Landbeobachtung mit höher auflösenden optischen und Mikrowellensensoren),

- das Forschungsprogramm "Feste Erde" zur hochgenauen Messung des Schwere- und Magnetfeldes unter dem Namen ARISTOTELES.
- die Beteiligung am EUMETSAT-Programm für die operationelle Meteorologie; hierher gehören:
  - der operationelle Betrieb geostationärer Wettersatelliten (MOP = METEOSAT Operationelles Programm),
  - der operationelle Betrieb von Wettersatelliten auf polarer Umlaufbahn (EPS),
  - die Entwicklung des METEOSAT der zweiten Generation (MSG),
- die Entwicklung eines zukünftigen europäischen Weltraumsystems zur Friedenssicherung (zum Beispiel für Verifikation von Abrüstungsmaßnahmen) im Rahmen der West-Europäischen Union,
- die Entwicklung eines operationellen abbildenden Satellitensystems für die Umweltüberwachung und andere Aufgaben im Rahmen der EG oder der kürzlich gegründeten Europäischen Umweltbehörde (EEA),
- die Durchführung nationaler und multilateraler Projekte, die sich schwerpunktmäßig auf Instrumentenentwicklung, die Umweltforschung und die operationelle Land- und Gewässerbeobachtung konzentrieren; hierher gehören als wichtigste Projekte:
  - die Entwicklung des Atmosphären- und Umweltforschungssatelliten ATMOS und dessen späterer Betrieb,
  - die Entwicklung eines optoelektronischen Multispektralgerätes mit panchromatischer Stereobildaufnahmemöglichkeit (MOMS-02) zum Einsatz auf der amerikanischen Raumfähre Space Shuttle und der sowjetischen multisensoralen Aufnahmeplattform MIR/PRIRODA,
  - die Entwicklung eines optoelektronischen Multispektralgerätes (MOS-OBZOR), bestehend aus zwei Komponenten (einer für biosphärische Messungen, ein zweiter zur Messung von Daten für die Ableitung von Korrekturen für unerwünschte atmosphärische Einflüsse) für den Einsatz auf der sowjetischen multisensoralen Aufnahmeplattform MIR/PRIRODA,
  - die Entwicklung eines abbildenden X-Band-Radars mit synthetischer Apertur (X-SAR), der zusammen mit zwei in den USA entwickelten SAR, die im L-Band bzw. im C-Band arbeiten, ebenfalls auf der Space Shuttle fliegen sollen, als Vorarbeit zur Entwicklung eines Mehrfrequenz-SAR,

- die Entwicklung eines hochgenauen Mikrowellen-Entfernungsmessgerätes (PRARE und Nachfolger PRAREE) zum Einsatz bei der Bestimmung von Umlaufbahnen.

Die Datennutzung hat für die DARA große Bedeutung. Darunter fallen die in Bild 2 als Bodensegment bezeichneten Aufgaben wie Mithilfe beim Bau und beim Betreiben von Bodenstationen zur Kontrolle von Satelliten und zum Empfang von Satellitendaten, die Vorverarbeitung von Satellitenrohdaten (zum Beispiel zur Korrektur von Systemfehlern) und die Archivierung.

Die vorstehend erläuterten Programmvorstellungen wurden von der DARA unter Heranziehung verschiedener Gutachterausschüsse und Berater entwickelt. Ihre Durchsetzung hängt weitgehend von der Finanzierung des deutschen Weltraumprogramms ab.

Die DARA sieht sich auch als Ansprechpartner, Förderer und Berater im Zusammenhang mit der Verwendung von Erderkundungsdaten. Sie arbeitet dabei eng mit interessierten Stellen in Deutschland, und mit den europäischen und internationalen Partnern, in Bemühungen zur Einführung von Weltraumdaten für operationelle Aufgaben zusammen.

#### DANKSAGUNG

Der Autor möchte sich bei jenen Gutachterausschußmitgliedern bedanken, die durch ihre Kommentare zur Weiterentwicklung der Kurzfassung des Weltraumprogramms, die zur Erarbeitung des vorliegenden Manuskriptes herangezogen wurde, beigetragen haben.

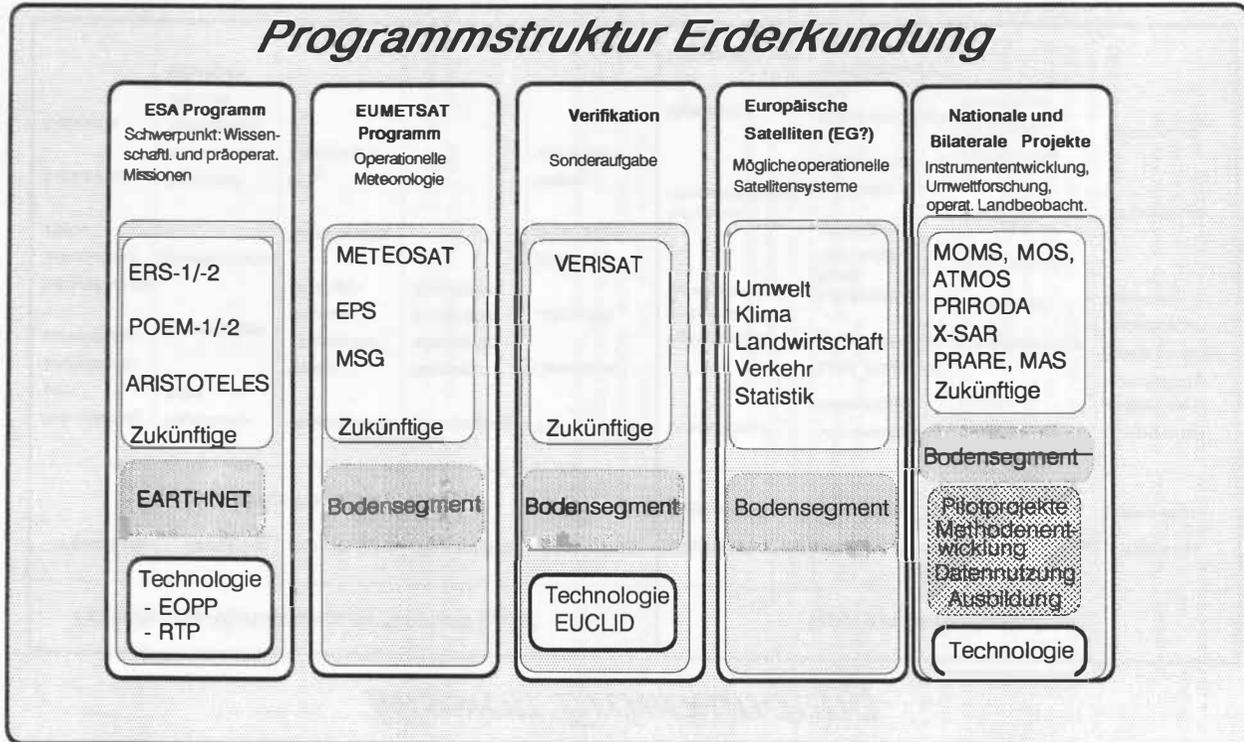
#### LITERATURVERZEICHNIS

DARA GmbH, Juni 1991: Raumfahrt - für die Erde ins All (DARA-Information 1991)

## *Mission Erderkundung*

| Forschungs-Vorhaben zum "System Erde"    |  |                                    |  |                   | Operationelle Aufgaben                   |  |  |  |
|--|--|------------------------------------|--|-------------------|--|--|--|--|
| Feste Erde                               | Biosphäre  | Hydrosphäre                        | Kryosphäre                               | Atmosphäre        | Staatspolitische Aufgaben                | Hoheitliche Aufgaben                             | Wirtschaftliche Aufgaben               | Öffentliche Information  |
| und deren Wechselwirkungen               |  |                                    |  |                   |  |  |  |  |
| Polwanderung und Erdrotations-schwankung | Vegetations-Index                                    | Wasserkreislauf                    | Eisverbreitung                           | Treibhauseffekt   | Umweltschutz                             | Vermessung und Kartographie                      | Transport und Verkehr                  | Internationale Politische und wirtschaftliche Basisinformation und aktuelle Ereignisse |
| Deformation der tektonischen Platten     | Entwaldungen   | Ozean-Atmosphäre Wechsel-wirkungen | Wechsel-wirkung mit Ozean und Atmosphäre | Ozonabbau         | Internationale Politische Zusammenarbeit | Land-, Forst- und Wasserwirtschaft               | Rohstoffe/Energie                      |  |
| Schwerfeld                               | Desertifikationen                                    | Wasserqualität                     |  | Luftqualität      | Schutz von Handelsinteressen             | Landschafts-, Stadt-, und Verkehrs-planung       | Waldschäden                            | Umweltfragen   |
| Erdinneres                               | Biosphäre/ Atmosphäre/ Hydrosphäre Wechsel-wirkungen | CO <sub>2</sub> Speicherung        |  | Klima-änderungen  |  | Regionaler Umweltschutz                          | Emteprognosen                          |  |
|  |  |                                    |  | Wetter-vorhersage | Verifikation                             | Wettervorhersage und hydrographische Information | Tourismus                              | Wetter, Klima  |
|  |  |                                    |  |                   | Krisenbewältigung                        |  | Internationale Wirtschafts-beziehungen |  |

# Programmstruktur Erderkundung



28



## **Die Fernerkundung als Faktor der wirtschaftlichen Zusammenarbeit**

**zwischen Ost und West**

**Dipl.-Geol. B. Bartsch**

**WIB WELTRAUM-INSTITUT BERLIN GMBH**

**Lassenstraße 11-15**

**1000 Berlin 33**

In den zurückliegenden Jahrzehnten gehörten Ost-West-Kontakte, speziell auf den Gebieten der Hightech-Forschung, aus vielfältigen Gründen zur seltenen Ausnahme. Handelsbeschränkungen, Sprachbarrieren, nicht konvertierbare Währungen sowie Sicherheitsaspekte waren hauptsächlich dafür verantwortlich. Diese Grenzen sind heute durch die veränderten politischen Bedingungen im Schwinden begriffen. Dabei wird der Weg der Sowjetunion von der Planwirtschaft zur Marktwirtschaft schwieriger als es in den ersten Jahren den Anschein hatte. Das bisher so vitale Raumfahrtprogramm der UdSSR kommt dabei unter steigenden Rechtfertigungsdruck und sucht heute nach wissenschaftlichen und kommerziellen Nutzern.

Die sich aus dieser Entwicklung ergebenden Chancen aus privatwirtschaftlicher Sicht sollen im folgenden näher behandelt werden.

Unter den wirtschaftlichen Anwendungsbereichen der Raumfahrt haben sich bisher Mikrogravitation, Telekommunikation und Fernerkundung hervor getan.

Innerhalb der deutschen und europäischen Nutzungsaktivitäten erscheint heute der Bereich der Mikrogravitationsforschung überbewertet, das kommerzielle Potential der Telekommunikation und das Problemlösungspotential der Fernerkundung dagegen unterbewertet zu sein.

Unter den Anwendungsmöglichkeiten der Raumfahrt hat die Satelliten-Telekommunikation bereits die größte Marktnähe. Sowohl die einschlägigen

Satelliten als auch die Raketen, die diese in ihre Umlaufbahn befördern, können aus dem Ertrag der angebotenen Dienstleistungen finanziert werden.

Insgesamt läßt sich jedoch feststellen: Wohl in keinem anderen Nutzungsbereich ist der wirtschaftliche Nutzeffekt der Raumfahrt so unmittelbar und schlagend beweisbar wie in der Telekommunikation.

Die weltraumgestützte Fernerkundung hat eine rasch steigende Bedeutung für die Meteorologie, für die Umweltbeobachtung und -kontrolle, für die Erkundung natürlicher Ressourcen wie Lagerstätten, Wasservorkommen etc., für die Ozeanographie, die Kartographie, die Landesplanung, für geologische und sogar archäologische Untersuchungen. In der Zukunft wird die Ermittlung klimatologisch relevanter Daten, wie etwa der Zusammensetzung der Atmosphäre, die Vegetationsbeobachtung und die Feststellung menschlicher Eingriffe in die Natur von größter Bedeutung sein.

Zusammenfassend läßt sich zur weltraumgestützten Fernerkundung sagen, daß sie für die Umwelt- und Klimaüberwachung unentbehrlich ist, daß sie ein wirksames Mittel der Friedenssicherung darstellt, weil sie die Einhaltung von Abrüstungsverhandlungen verifizieren kann, daß sie in der Meteorologie große Fortschritte gebracht und unter anderem dort schon zu einem ökonomisch nachweisbaren Effekt geführt hat. Es ist mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß die Fernerkundung einen rasch wachsenden Anteil an den wirtschaftlich sich tragenden Weltraumaktivitäten haben wird.

Obwohl der kommerziellen Nutzung der Fernerkundung Grenzen gesetzt sind, weil viele Aufgaben in den Bereich der staatlichen Vorsorge- und Überwachungspflicht gehören, bringt die Fernerkundung - insbesondere im Bereich der Meteorologie - schon heute einen volkswirtschaftlichen, ökonomisch nachweisbaren, Nutzen. Eine verbesserte Wettervorhersage verhilft zur Verhütung von Schäden in der Landwirtschaft, in der Schifffahrt, im Luftverkehr usw.

Die Sowjetunion verfolgt das aktivste und intensivste Weltraumprogramm der Welt. Alle vier Tage wird eine Rakete gestartet, das ist dreimal soviel wie in allen anderen Ländern zusammen. Die Starts erfolgen mit einer Erfolgsquote von 92 bis 98 Prozent, ein Wert, der weder von der ESA, der NASA noch von einer anderen Raumfahrtbehörde erreicht wird.

In diesem Land, in dem 1,5 Millionen Experten in mehr als 5 000 wissenschaftlichen Instituten beschäftigt sind, wo über 300 Großforschungseinrichtungen beachtliche Spitzenleistungen hervorbringen, wo 20 Millionen Akademiker, darunter 14 Millionen Forscher, Entwickler und Ingenieure - erheblich mehr als in ganz Westeuropa - auf neue Aufgaben warten, liegen enorme technologische Reserven.

Während das gesamte Know-how dieser von der schiereren Kopffzahl her gigantischen F&E-Divisionen bisher ausschließlich staatlich finanziert wurde, ist heutzutage der große Schwenk in den kommerziellen Markt angesagt. Dieser Weg ist für die Reformer steinig und birgt auch für die westlichen Investoren nicht ganz unerhebliche Gefahren.

Die UdSSR verfügt im Bereich Fernerkundung über eine Menge hochinteressanter Entwicklungsergebnisse. Westliches Management, Marketing und Kapital können helfen, daß diese Ergebnisse in die Kommerzialisierung überführt werden.

Nach Einschätzung der sowjetischen Raumfahrtagentur Glawkosmos übersteigt schon heute der Nutzen die Aufwendungen, die 1989 insgesamt 6,9 Milliarden Rubel (1,7 für Forschung und volkswirtschaftliche Projekte; 3,9 Milliarden für militärische Missionen, 1,3 für Projekt Buran - Energija) betragen, für die Raumfahrt um 50 %:

- \* Wetterprognosen durch das System "Meteor" erbringen jährlich einen Nutzen von 500 bis 700 Millionen Rubel.

- \* die Fernerkundung von Naturressourcen durch Satelliten wird mit 350 Millionen Rubel beziffert.

Die Investitionen in der Raumfahrt halten in der UdSSR auch weiterhin an: Die UdSSR will nach Angaben des amerikanischen Fachmagazins "Aviation Week and Space Technology" bis 1995 für ihr Raumfahrtprogramm umgerechnet 21 Milliarden Dollar aufwenden.

Nach Betrachtung der volkswirtschaftlichen Seite soll nun ein Blick auf den privatwirtschaftlichen Bereich folgen.

Der internationale Markt für Fernerkundung beginnt sich schnell zu entwickeln. Die französische Firma SPOT IMAGE und die amerikanische EOSAT konnten ihren Umsatz im Jahre 1990 fast verdoppeln und erwarten für 1991 ebenfalls hohe Steigerungsraten.

SPOT IMAGE rechnet mit 30 % Wachstum, verglichen mit 1990, EOSAT mit 20%. Bemerkenswert dabei ist, daß die Wachstumsraten in 1990 bei EOSAT größtenteils dem GIS-Markt zuzuschreiben sind.

Eben dieser Markt, die Verarbeitung und Auswertung von Remote-Sensing-Aufnahmen, wächst ebenfalls. Am besten läßt sich dieses Beispiel an der ständig wachsenden Anzahl national entstehender Unternehmen ablesen.

Nach wie vor liegt jedoch der Schwerpunkt der Abnehmer für Fernerkundungsdaten bei der öffentlichen Seite.

Darauf aufbauend sollen im folgenden die positiven und die negativen Indikatoren des nationalen Marktwachstums dargestellt werden:

**Positive Indikatoren:**

- Die Ausgaben des Bundes für die Raumfahrt stiegen in den letzten 5 Jahren um durchschnittlich 12,6 % pro Jahr (BMFT). In diesen Ausgaben ist auch ein beträchtlicher Anteil an direkten und indirekten Ausgaben für Satelliten-Fernerkundung enthalten.
- Allgemein wird ein Ansteigen des Fernerkundungsanteils an den nationalen Raumfahrttausgaben erwartet.
- Die Vertriebsgesellschaft des französischen Fernerkundungssatelliten SPOT-Image rechnet aus dem Verkauf von Satellitenbilddaten mit einem jährlichen Umsatzplus von 25 % für die nächsten drei Jahre (SPACE NEWS 90). Bereits 1989 erreichte die Gesellschaft die Gewinnschwelle.
- Bei gleich intensiver Nutzung von satellitengestützten Fernerkundungsdaten im Bereich der ehemaligen DDR wie in der Bundesrepublik Deutschland ergibt sich ein Markt-Wachstum von 20 % - 30 %.
- Infolge des Eindringens von Geographischen-Informationen-Systemen in den Bereich der kommunalen Planung gewinnen Fernerkundungsdaten aufgrund ihres digitalen Charakters und ihrer Aktualität größere Bedeutung (z.B. Landnutzungs-Klassifizierungen).
- Stärkere Nutzung von Fernerkundungsdaten im Bereich der Atmosphären- und Klimaforschung (GLOBAL-CHANGE-PROBLEMATIK).
- Stärkere Nutzung von Fernerkundungsdaten im Bereich der Forstwirtschaft (Waldschäden) und der Landwirtschaft.

- Intensiverer Einsatz von Fernerkundungsdaten im Umweltbereich (Altlasten usw.).
- Eindringen der Fernerkundung in neue Bereiche (z.B. topographische Datenbank der DBP).

#### **Negative Indikatoren und Unsicherheitsfaktoren:**

- Die für die Fernerkundung relevanten Bundesetats der Bereiche Land- und Forstwirtschaft, Umweltschutz, Raumordnung und Städtebau, Meerestechnik und Polarforschung stagnieren weitgehend oder sind rückläufig.
- Abschreckung der Nutzer durch die extrem steigende Datenmenge neuerer Satellitenscanner.
- Unsicherheit bei den Anwendern in der Planung von Fernerkundungsmaßnahmen infolge der häufig auftretenden Startverzögerungen der Systeme. (Daher häufiger Systemwechsel, kein kontinuierliches Monitoring).

#### **Schlußfolgerung:**

Die positiven Potentiale und Indikatoren erscheinen eindeutig dominant. Ein jährliches Marktwachstum des Satelliten-Fernerkundungsbereichs zwischen 10% und 20% für die nächsten Jahre ist wahrscheinlich.

Inwieweit können nun die Fernerkundungsprodukte der UdSSR in diesen Markt integriert werden ?

Aus einer Abteilung der Defizitbereiche und unter Einbeziehung des Kostenfaktors lassen sich eindeutige Produkte definieren, die marktfähig sind: photographische

Verfahren wie KFA-1000, MK-4 und andere, eingeschränkt die digitalen Daten der Systeme MSU-E und MSU-SK sowie die in Konkurrenz zum ERS-1 stehenden Daten des Satelliten ALMAZ-1.

Den sowjetischen Unternehmen wird inzwischen die Möglichkeit gegeben, ihre Produkte selbst zu vermarkten und die potentiellen Nutzer zu finden. Marktwirtschaftliche Hilfe kann nach den Erfahrungen unseres Unternehmens hier sehr nützlich sein.

Die Fernerkundung kann hier ein wesentlicher Faktor zur engeren wirtschaftlichen Verflechtung werden. Weltweit wird, wie oben erläutert, mit einem jährlichen Marktwachstum des Satelliten-Fernerkundungsbereiches zwischen 10 % und 20 % gerechnet. Unter Einbeziehung der Sowjetunion wird sich dieses Wachstum noch steigern können. Wirtschaftliche Kooperationen, wenn sie partnerschaftlich orientiert sind, können beiden Seiten nicht nur unmittelbaren geistigen Nutzen, sondern auf lange Sicht auch materiellen Gewinn bringen.

Diesen Weg ist die WIB Weltraum-Institut Berlin GmbH gegangen und kann inzwischen die Palette der sowjetischen Fernerkundungsdaten von den photographischen bis zu den digitalen Systemen anbieten. Insoweit verkörpert das vorhergesagte auch ein Stück Unternehmensphilosophie.

#### **Nachtrag des Autors**

Die vom Autor in dem Vortrag genannten Einschätzungen und Zahlen bezüglich Ausgaben der Bundesrepublik Deutschland für die Raumfahrt sind nach Vorlage der neuen Zahlen der DARA für die nächsten Jahre korrekturbedürftig. Es zeigt sich, daß entgegen früherer politischer Aussagen die Nutzung von Fernerkundungsdaten nicht mehr zu den Prioritäten des BMFT zählt, da allein der Fernerkundungsetat der DARA um 30 Mio. DM gekürzt wurde.

Auch wenn diese Entwicklung negative Auswirkungen auf die im Bereich Fernerkundung tätigen kleinen und mittleren Unternehmen haben wird, hält der Autor dennoch an der positiven Grundeinschätzung fest, daß dem Markt für Fernerkundungsdaten in Zukunft ein rasches Wachstum beschieden sein wird. Insbesondere die Nutzung sowjetischer Daten wird sich zu einer Wachstumsbranche entwickeln.

## Fernerkundung zur Umweltüberwachung im Raum Berlin-Brandenburg

---

K.-H. MAREK, Zentralinstitut für Physik der Erde Potsdam  
und  
R. FURRER, WIB Weltraum-Institut Berlin GmbH

### Zusammenfassung

Im Raum Berlin-Brandenburg sind in den letzten Jahrzehnten Umweltveränderungen in größeren Dimensionen erfolgt, die insbesondere in den Bergbaulandschaften der Lausitz, auf den zahlreichen Altlastenflächen (Militärstandorte, Deponien) und im Ballungsraum der Hauptstadt Berlin sichtbar werden. Zur Erfassung und Bewertung des Umweltzustandes in diesen Schwerpunktsgebieten sind hochauflösende Weltraum-Fernerkundungsdaten einsetzbar.

Die Umwelt-Fernerkundung wird dabei als Technologie zur raumbezogenen integrierten Erfassung umweltrelevanter Aussagen, die auf der Messung und Interpretation der spektralen Eigenschaften von Objekten der Erdoberfläche, der Ozeane bzw. der Atmosphäre beruhen, in einem großen raumzeitlichen Maßstabsbereich wirksam.

Auf Grund der im Berlin-Brandenburger Raum vorhandenen Infrastruktur, der naturwissenschaftlich-technischen Potentiale und der langjährigen vielfältigen Aktivitäten, Erfahrungen und Ergebnisse bei der Entwicklung und Nutzenanwendung der Fernerkundung wird die Bildung eines Verbundes der Fernerkundungseinrichtungen vorgeschlagen, der zu einer vorteilhaften Arbeitsteilung und Kooperation führen kann.

### Summary

Environmental monitoring in the Berlin-Brandenburg region by means of the remote sensing technology

---

Significant changes within the environment in the Berlin-Brandenburg region have taken place for the last 50 years. The large dimension of the anthropogenic ecological impact is visible especially in the lignite mining landscapes of the Lusitia, the numerous waste deposits and contaminated sites and in the mass-populated urban area of the capital Berlin. The high resolution remote sensing data from space is useful for the inventory of the environment in this region.

Because of the available infrastructure in the Berlin-Brandenburg region, the scientific and technical potential and the various activities, experiences and results in the field of the remote sensing development and application, the creation of a joint panel of the remote sensing institutes and companies is suggested which can lead to an advantageous cooperation and partition of work.

### 1. Zu Gegenstand und Begriff der Umweltfernerkundung

Für die quantitative Beschreibung, Modellierung und Prognose der Umweltprozesse, die in einem großen Raum-Zeit-Maßstabsbereich ablaufen, besitzen gegenwärtig der beobachtungsseitige Nachweis und die Erfassung der tatsächlich ablaufenden Umweltveränderungen eine besondere Priorität. Die große Bedeutung der Informationsgewinnung in der gesamten technologischen Kette der Umweltmaßnahmen kommt auch darin zum Ausdruck, daß gegen Ende der 80er Jahre weltweit eine Verstärkung der Aktivitäten sichtbar wurde, zur Umweltüberwachung und -inventarisierung in allen Raum-Zeit-Skalen (lokal bis global, kurzzeitig bis permanent über lange Zeiträume) sowohl große internationale Forschungsprogramme (WCRP, IGBP-GC, ISLSCP, CORINE mit Land Cover Project u.a.) durchzuführen als auch die potentiellen Möglichkeiten der Fernerkundung mit höherer Effektivität einzubeziehen.

Tatsächlich stellt die Fernerkundung aus dem Weltraum die einzige Möglichkeit dar, die Erde als Ganzes in einem Meßvorgang zu erfassen und diesen flächendeckenden synoptischen Überblick über den Umweltzustand über größere Zeiträume permanent ("multitemporal") zu wiederholen, um damit homogene Langzeit-Datensätze zur Bewertung der auf der Erde ablaufenden Prozesse und Grundlagen für diagnostische Prognosemodelle und Planungen zu erhalten.

Tab. 1. Globale Änderung der Landnutzung (nach [1])

| Prozeß                                   | Nutzungsänderung               | Akkumulierte veränderte Fläche |     | Flächenänderungsrate/Jahr |                    |
|--|--------------------------------|--------------------------------|-----|---------------------------|--------------------|
|  |                                | km <sup>2</sup>                | %   | km <sup>2</sup>           | %                  |
| Wüstenausbreitung                        | Savanne ----><br>Wüste         | 9x10 <sup>6</sup>              | 1,8 | 6x10 <sup>4</sup>         | 1x10 <sup>-2</sup> |
| Bodenversalzung                          | Feldfläche ----><br>Salzfläche | 6x10 <sup>5</sup>              | 0,1 | 1,5x10 <sup>4</sup>       | 3x10 <sup>-3</sup> |
| Entwaldung in gemäßigten Zonen in Tropen | Wald ---><br>Grasland, Feld    | 8x10 <sup>6</sup>              | 1,6 | gering                    |                    |
|  | Wald ---><br>Savanne, Feld     | 7x10 <sup>6</sup>              | 1,4 | 1x10 <sup>5</sup>         | 2x10 <sup>-2</sup> |
| Urbanisierung                            | Feld, Wald ----><br>Stadt      | 1x10 <sup>6</sup>              | 0,2 | 2x10 <sup>4</sup>         | 4x10 <sup>-3</sup> |
| Gesamt                                   |                                | 26 x 10 <sup>6</sup>           | 5,1 | ≙ 17% der Landfläche      |                    |

Die Fernerkundungsdaten aus dem Weltraum finden bekanntlich neben ihrer Nutzung bei der Erforschung globaler Umweltprozesse (z.B. globale Änderungen der Landnutzung, s. Tab. 1) auch in zunehmendem Maße bei der routinemäßigen regionalen bzw. lokalen Umwelterkundung eine breite Akzeptanz, weil die Informationsbedürfnisse auch dort nicht mehr durch Karten, die in mehrjährigem Abstand auf den neuesten Stand gebracht werden, bzw. durch statistische Angaben, die als Nebenprodukte z.B. bei land- und forstwirtschaftlichen Erhebungen anfallen, gedeckt werden können.

Mit dem Wachsen ihrer Aussagemöglichkeiten (Informationsgehalt) und der nutzeradäquaten Verfügbarkeit der Daten hat die Fernerkundung als effektives Mittel der Umweltbeobachtung und als Bestandteil von Umwelt-Informationssystemen sowie der Entwicklung moderner Umweltstrategien in letzter Zeit erheblich an Bedeutung gewonnen.

Mit dem Begriff **Umweltfernerkundung** soll die Technologie zur integrierten, raumbezogenen Erfassung von umweltrelevanten Aussagen und Daten in einem großen raum-zeitlichen Maßstabsbereich bezeichnet werden, die auf der Messung und Interpretation der spektralen Eigenschaften von Objekten der Erdoberfläche basieren. Die Umweltfernerkundung liefert Informationen über großräumige und flächenhafte Aussagen zu räumlichen und zeitlichen Veränderungen und über qualitative Zusammenhänge bzw. Wechselwirkungen von Umweltparametern ("integrierte Umweltbeobachtung"), die Ausgangsdaten für die Erstellung von thematischen Karten und Umwelt-Datenbanken bzw. raumbezogenen digitalen Informationssystemen darstellen.

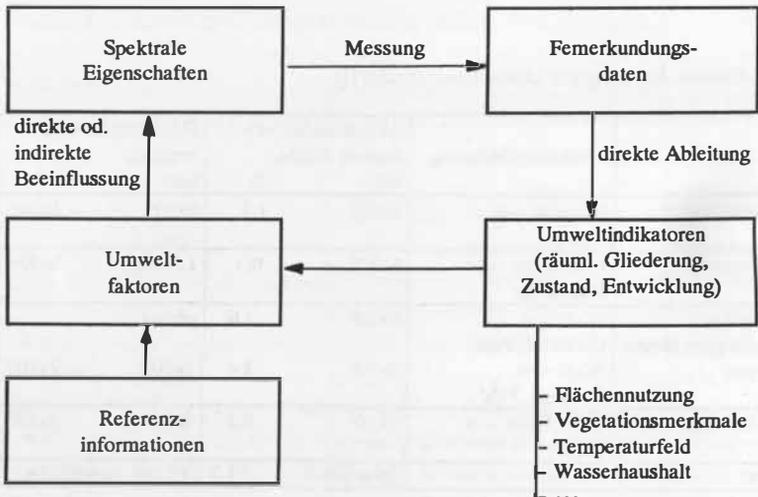
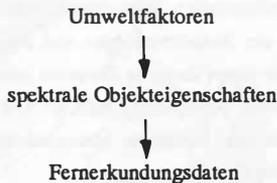


Bild 1: Grundprinzip der Umweltfernerkundung

Das Grundprinzip der Umweltfernerkundung (Bild 1) als Widerspiegelung des Systems



läßt zugleich deren Möglichkeiten und Grenzen erkennen:

- Wegen der hohen Sensibilität bei der Messung von Remissionsveränderungen sind Umweltveränderungen bereits in einem solchen Stadium erkennbar, wo die Schadsymptome visuell noch nicht sichtbar sind. Damit sind Möglichkeiten zur Früherkennung gegeben.
- Es ist nicht die gesamte Vielfalt der Umwelterscheinungen mit Fernerkundungsmethoden nachweisbar. Besondere Defizite sind bezüglich quantitativer und stofflicher Aussagen zu erwarten.
- Dreidimensional ablaufende Prozesse und räumliche Strukturen sind nicht unmittelbar, sondern erst nach Modellierung (Extrapolation) aus den an der Oberfläche gemessenen Parametern ableitbar.

## 2. Nutzung der Umweltfernerkundung bei Erkundungsaufgaben im Raum Berlin-Brandenburg

---

Im folgenden soll an einigen Beispielen gezeigt werden, wie hochauflösende Fernerkundungsdaten aus weltraumgestützten Systemen zur Erkundung der im Raum Berlin-Brandenburg besonders in den letzten 5 Jahrzehnten erfolgten Umweltveränderungen beitragen können. Die großen Dimensionen dieser Umweltveränderungen, die mit flächenhaften Prozessen an der Erdoberfläche verbunden sind, werden hier besonders an drei Beispielen deutlich:

- a) in den Bergbaulandschaften der Lausitz
- b) in den Flächen mit Altablagerungen und Altlasten, wie Deponien, ehem. Militärstandorte, Industriegelände u.ä.
- c) im städtischen und industriellen Ballungsraum der Hauptstadt Berlin.

2.1. Die Bergbaulandschaften in der Niederlausitz, die vom großflächigen Braunkohlen-Tagebau und seiner Folgeindustrie zur Kohleveredlung und Energieerzeugung geprägt sind und auf einer Fläche von etwa 85 km (Ost-West-Richtung) x 50 km (Nord-Süd-Richtung) zu gravierenden Zerstörungen von Landschaft, Boden und geologischem Untergrund geführt haben, gehören zu den im Osten Deutschlands am meisten belasteten Gebieten. Die große Dimension der anthropogenen Schäden der Natur wird aus Welt-raumaufnahmen (Bild 2) besonders deutlich. Solche Aufnahmen vermitteln qualitative und quantitative Aussagen zu Flächeninanspruchnahme, Nutzungsintensität und Zustand

einzelner Umweltmedien. Neben der operationellen Inventur des Umweltzustandes im Zusammenhang mit den industriellen Aktivitäten sind Fernerkundungsdaten zur flächenhaften Überwachung der Rekultivierungs- und Renaturierungsprozesse in den Bergbaufolgelandschaften über einen längeren Zeitraum inhaltlich zweckmäßig, technologisch effektiv und ökonomisch preisgünstig nutzbar. Die dabei ableitbaren thematischen Kartierungen bilden für eine komplexe Überwachung des Wiederaufbaus einer intakten Geobiosphäre eine gute Grundlage.

So wurden in [2] aus der Multispektralklassifizierung von Landsat-TM-Aufnahmen Aussagen über die räumliche Verteilung von rekultivierten Kippenflächen von Tagebauen und zu den unterschiedlichen Stadien ihrer Entwicklung abgeleitet. Aus der Zusammenfassung der abgeleiteten Flächennutzungsklassen der Tagebaulandschaften konnten schließlich 4 Rekultivierungsetappen definiert und in ihrer Flächenausdehnung kartiert werden.

2.2. Ein relativ großer Anteil der Gesamtfläche des Berlin-Brandenburger Raumes ist durch industrielle und militärische bzw. rüstungsbedingte Altanlagen und Altablagerungen beeinträchtigt. Die Entsorgung dieser "Altlasten", insbesondere auf militärisch genutzten Flächen und auf Deponien, ist gegenwärtig ein Schwerpunkt der auf vielen Ebenen geführten öffentlichen Umweltdiskussion.

Zur Erfassung, Erstbewertung und Dokumentation umweltrelevanter Zustände und Prozesse, die vorhandene Altlastenverdachtsflächen oder geplante Standorte einschl. ihres Einflusses auf das Umfeld betreffen, sind Fernerkundungsdaten in unterschiedlicher Weise nutzbar. Zur systematischen, flächendeckenden und vollständigen Erfassung und Erstbewertung der Altlastenverdachtsflächen werden multitemporale Analysen von Luftbildern, Karten und Aktenmaterialien durchgeführt, die den gesamten Nutzungszeitraum dieser Flächen (meist seit dem 1. Weltkrieg) umfassen.

Diese Vorgehensweise wird als beprobungsloses Erkundungsverfahren bezeichnet und bezieht die Ableitung von Aussagen zu Lokalisierung, Flächenabgrenzung, Nutzungszeitraum, Funktionsbestimmung und Produktionsverfahren, Ablagerungsvorgänge, Schadstoffpotential u.ä. sowie Empfehlungen zum Handlungsbedarf (Einordnung der Verdachtsflächen in Prioritätenklassen) mit ein [3].

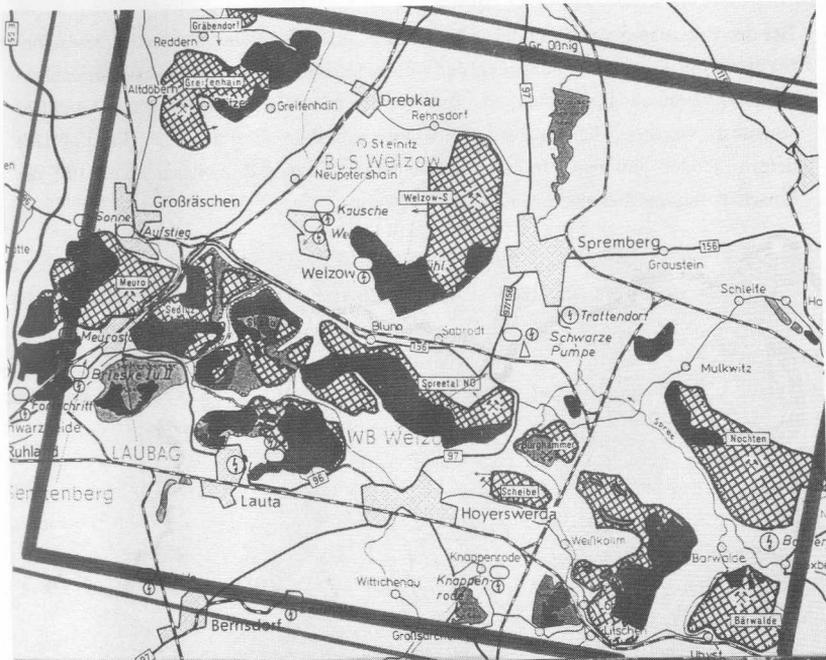
Bildunterschrift zu folgender Seite:

Bild 2: Lausitzer Braunkohlenrevier (südöstlicher Teil)

oben: Kartenskizze (nach LAUBAG) mit Stand vom 1.1.1991

|   |                          |   |                    |   |                       |
|---|--------------------------|---|--------------------|---|-----------------------|
|  | abgebaute Fläche         |  | Kraftwerk          |  | Kokerei, Druckgaswerk |
|  | wiederbergemachte Fläche |  | Industriekraftwerk |  | Kohleverbindungsbahn  |
|  | Gewässer                 |  | Brikettfabrik      |  | Landergrenze          |

unten: KFA-1000-Weltraumphoto (Ausschnitt, S-W-Auszug) vom 3.6.1985  
Originalmaßstab 1:280.000



Bei der Erkundung von Deponien einschl. der Gefährdungsabschätzung für deren Umfeld sind die Einsatzmöglichkeiten der weltraumgestützten Fernerkundung im optisch-visuellen Bereich beschränkt, so daß für Detailerkundungen ebenfalls Luftbilder eingesetzt werden. Thermische Sondierungen aus dem Weltraum (u.a. Landsat TM) liefern jedoch interessante und brauchbare Zusatzinformationen, u.a. für die Einschätzung stofflicher Prozesse (Bild 3).

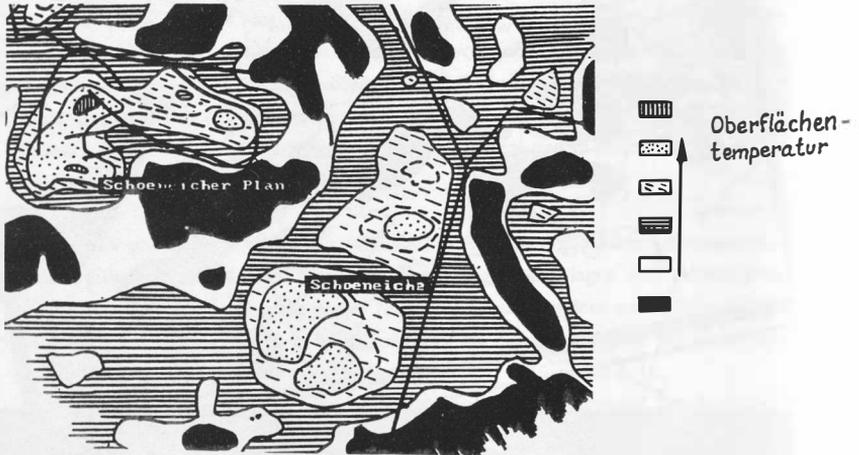


Bild 3: Wärmestrahlung im Umfeld der Deponien Schönheiche am 7.7.1989 aus Landsat TM (TIR)-Daten

Bis zum Zeitpunkt der Freigabe der von den sowjetischen Streitkräften genutzten Militärflächen (Truppenübungsplätze u.ä.) stellen für diesen Typ der militärischen Alllastenverdachtsflächen die hochauflösenden Fernerkundungsaufnahmen aus dem Weltraum nahezu das einzige Mittel der Erkundung der Flächeninanspruchnahme und der großräumigen Zustandskontrolle dar. Bild 4 zeigt eine KFA-1000-Aufnahme des Truppenübungsplatzes Dallgow-Döberitz bei Potsdam.

- 2.3. Fernerkundungsaufnahmen von städtischen Ballungsgebieten liefern mit ihren Aussagen zur Vegetations- und Bebauungsstruktur (Flächennutzung, Versiegelung, Stadtgrün), zum Zustand von Vegetation und Gewässer, zur Wärmebelastung u.a. relevante Aussagen sowohl zur Bewertung von großräumigen anthropogenen Naturbelastungen und Umweltschädigungen als auch für stadtökologische und -klimatologische Untersuchungen und Planungen.



Bild 4: KFA-Weltraumphoto (Schwarz-Weiß-Auszug) vom 3.6.1985 des Truppen-übungs-geländes Dallgow-Döberitz bei Potsdam (Originalmaßstab 1:270.000)

Thermalaufnahmen aus dem Weltraum sind u.a. zur Bewertung des Stadtklimas, insbesondere der in urbanen Gebieten erheblichen raumzeitlichen thermischen Variationen, vorteilhaft nutzbar. In [4] wurde u.a. eine Karte der Wärmebelastung der Stadt Berlin einschl. seines näheren Umlandes im Maßstab von etwa 1:150.000 abgeleitet, die eine relativ hohe Differenzierung der thermischen Belastung für unterschiedliche Standorte erkennen läßt. Die Quantifizierung der Strahlungswerte gestattet, für die einzelnen Stadtbezirke Relativzahlen der durchschnittlichen Wärmebelastung abzuleiten (Bild 5).

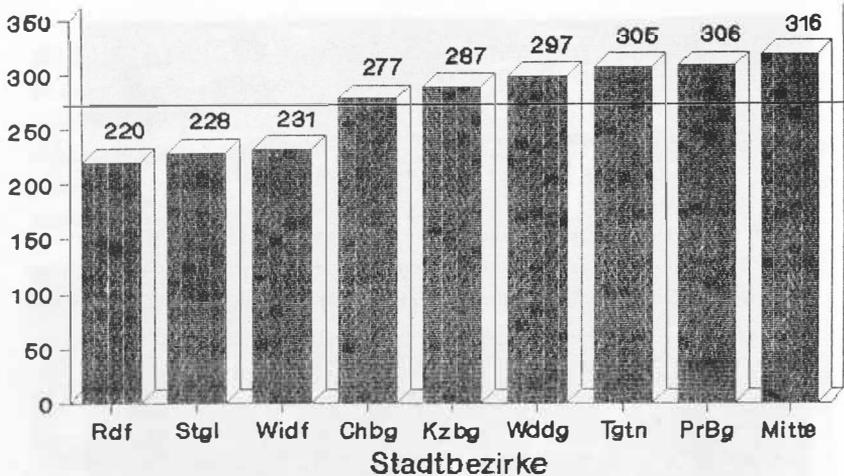


Bild 5: Mittlere thermische Belastung von Berliner Stadtbezirken (aus Landsat TM) für den 9. Mai 1990 9.35 Uhr

### 3. Verbund der Fernerkundungseinrichtungen im Raum Berlin-Brandenburg

Im Großraum Berlin-Brandenburg existiert eines der größten wissenschaftlich-technischen Potentiale auf dem Gebiet der Fernerkundung in Deutschland. Dazu gehören

- universitäre Institute (Freie Universität Berlin, Technische Universität Berlin, Universität Potsdam und Technische Fachhochschule Berlin),
- Bereiche in Forschungsinstituten (Bereiche Geodäsie/Fernerkundung und Geologie im Zentralinstitut für Physik der Erde Potsdam, Bereich Planetare Fernerkundung im Institut für Kosmosforschung/Außenstelle DLR in Berlin),
- Bundesanstalten (Umweltbundesamt, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe/Außenstelle Berlin),
- unabhängige Forschungs- und Dienstleistungsunternehmen (WIB Weltraum-Institut Berlin GmbH, Berliner Spezialflug GmbH, Gesellschaft für Ver- und Entsorgung (uve) mbH) u.a.

Diese Einrichtungen besitzen vielfältige und langjährige Erfahrungen - in mehreren Fällen bereits seit nahezu zwei Jahrzehnten - bei der Entwicklung der Fernerkundungstechnologie in Deutschland und bei ihrer Nutzenanwendung in den Geo- und Biowissenschaften sowie in verschiedenen Wirtschaftszweigen. Von diesen Einrichtungen wurde in der Vergangenheit eine Vielzahl von Forschungs- und Anwendungsprojekten bearbeitet.

Das vorhandene interdisziplinäre Potential deckt nahezu alle Teilbereiche der gesamten Fernerkundungstechnologie und ihres Anwendungsspektrums ab. Damit sowie mit der verfügbaren technischen Ausstattung, die von der Datengewinnung bis zur Erstellung thematischer Karten und raumbezogener digitaler Informationssysteme reicht, sind gute Voraussetzungen zur Bildung eines Verbundes dieser Fernerkundungs-Einrichtungen im Berlin-Brandenburger Raum gegeben.

Mit einem solchen Verbund könnte eine wissenschaftliche und wirtschaftliche Technologiekoooperation an einer wichtigen Verbindungsstelle zwischen Ost und West entwickelt werden, mit der die vorhandene Leistungsfähigkeit der Wissenschafts- und Wirtschaftslandschaft erhalten, eine gemeinsame Akquisition und Bearbeitung von Großprojekten sowie eine sinnvolle Arbeitsteilung zwischen öffentlichen und privatwirtschaftlichen Einrichtungen ermöglicht und die Ost-West-Kooperation weiter ausgebaut werden kann.

Erste gemeinsame Schritte innerhalb eines solchen Verbundes könnten mit der Realisierung von Gemeinschaftsprojekten, wie z.B. dem vom Land Brandenburg geförderten "Pilotprojekt Brandenburg", gegangen werden.

#### Literatur

1. Segan C. u.a.: Anthropogenic albedo changes and the Earth's climate. Science, 206 (1979). S. 1363-1367. Washington
2. Pilarski M., Marek K.-H., Schmidt K.: Rekultivierung im Lausitzer Braunkohlenrevier - eine Analyse mittels Satellitenbildern. 6. Fernerkundungskonferenz, Potsdam 1991 (in diesem Heft)
3. Borries H.-W., Dodt T.: Die Erfassung altlastenverdächtiger Flächen durch multitemporale Karten- und Luftbildauswertung. In: Thome-Kozmiensky K. (Hg.). Altlasten Bd. 2, S. 415-438
4. Schmidt K., Marek K.-H.: Zur Ableitung von Wärmebelastungsstufen der Berliner Stadtbezirke aus Satellitenbilddaten. 6. Fernerkundungskonferenz, Potsdam 1991 (in diesem Heft)

# Photographische oder digitale Aufnahmesysteme für die Umweltüberwachung?

H.-P. Bähr

Universität Karlsruhe

Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung

## 1. Anforderungen an Aufnahmesystem für die Umweltüberwachung

- 1.1 Verfügbarkeit: langfristig  
frei, schnell  
operationell  
flexibel
- 1.2 Technologie, Qualität: Bewertung nach Auflösung  
(zeitlich, geometrisch, spektral)  
digital oder analog?  
Standardisierung  
zuverlässige Vorverarbeitung
- 1.3 Kosten gestaffelte Preisgestaltung  
Regelungen Datenweitergabe

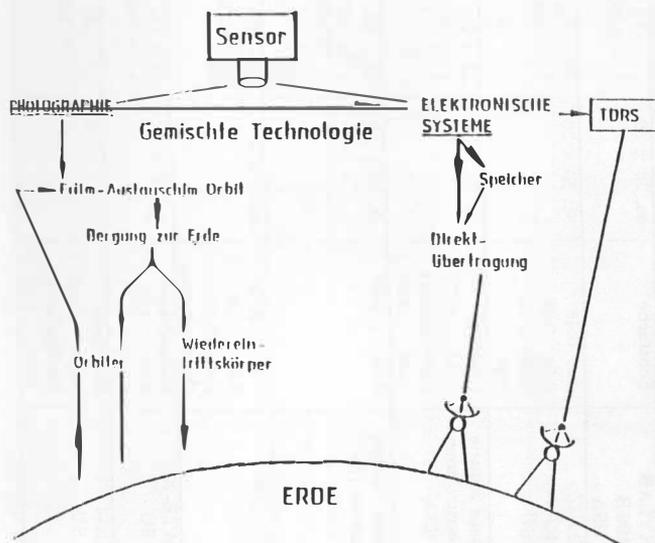
## 2. Plattformen für die Umweltüberwachung

### 2.1 Vergleich Flugzeug - Satellit

|                              | Flugzeug  | Satellit   |
|------------------------------|---|--|
| Typische Aufnahmetechnologie | Photogrammetrische Bildflüge                          | Multispektrales Sensor-System auf Polarbahn          |
| Leistungsdaten               | Analogsystem<br>Flexibler Einsatz<br>Standardisierung | Digitalsystem<br>Starrer Einsatz<br>Standardisierung |

### 2.2 Alternativen bei Satellitenplattformen

#### Aufnahmesysteme im Weltraum



## 3. Verfügbare Aufnahmesysteme auf Satellitenplattformen

## 3.1 Photographische Systeme

| Bezeichnung                               | Spektralbereich [ $\mu\text{m}$ ]                                | Auflösungselemente am Boden [m]          | Bildformat [cm], Maßstab                   | Kammerkonstante [cm] | Bahndaten   | Wiederholung | Bemerkungen   |
|---|--|--|--|----------------------|---|--------------|---|
| SKYLAB<br>S190 B<br>- USA -               | Echtfarbe  | ca. $38 \times 38$                       | $11,5 \times 11,5$ ,<br>1:950000           | 45,7                 | $h = 435 \text{ km}$<br>$i = 57^\circ$                          | —            | 1973  |
| SOJUZ<br>MKF-6<br>- SU -                  | ca.: 0,48,<br>0,54, 0,60,<br>0,66, 0,74,<br>0,84                 | ca. $20 \times 20$                       | $5,5 \times 3,1$ ,<br>1:2,7 Mill.          | 12,5                 | $h = 300 \text{ km}$<br>... 400 km                              | mehrfach     | seit 1976<br>Bildbewegungs-<br>kompensation<br>Multispektral          |
| Space Shuttle<br>Metric Camera<br>- ESA - | Panfilm:<br>0,53 ... 0,70<br>Farbinfrarot:<br>0,53 ... 0,90      | ca. $30 \times 20$                       | $23 \times 23$ ,<br>1:820000               | 30,5                 | $h = 250 \text{ km}$<br>$i = 57^\circ$<br>Spacelab<br>STS 9     | —            | Nov. 1983<br>Zeiss-RMK<br>Stereoskopie                                |
| Large Format<br>Camera (LFC)<br>- USA -   | 0,40 ... 0,90  | ca. $10 \times 10$<br>... $20 \times 20$ | $23 \times 46$ ,<br>1:210000<br>... 780000 | 30,5                 | $h = 240$<br>... 370 km<br>$i = 57^\circ$<br>Spacelab<br>STS 14 | —            | Okt. 1984<br>Stereoskopie<br>Bildbewegungs-<br>kompensation<br>Reseau |
| KFA-1000<br>- SU -                        | 0,57 ... 0,69<br>0,68 ... 0,81<br>Zwischichten<br>(Spektrazonal) | ca. $5 \times 5$                         | $30 \times 30$ ,<br>1:280000               | 100                  | $h = 280 \text{ km}$<br>KOSMOS-<br>Programm                     | mehrfach     | 1983<br>Stereoskopie<br>Bildbewegungs-<br>kompensation                |
| KATE-200<br>- SU -                        | Farbinfrarot<br>0,50 ... 0,90                                    | ca. $30 \times 30$                       | $18 \times 18$ ,<br>1:1,4 Mill.            | 20                   | $h = 280 \text{ km}$<br>KOSMOS-<br>Programm                     | mehrfach     | Stereoskopie  |
| MK-4<br>- SU -                            | Echtfarbe<br>0,46 ... 0,69<br>Farbinfrarot<br>0,40 ... 0,90      | ca. $10 \times 10$                       | $18 \times 18$ ,<br>1:750000               | 30                   | $h = 280 \text{ km}$<br>KOSMOS-<br>Programm                     | mehrfach     | 1989<br>Stereoskopie<br>Bildbewegungs-<br>kompensation                |

## 3.2 Multispektrale Abtastersysteme

| Bezeichnung                     | Spektralbereich [µm]<br>pan   | Spektralbereich [µm]<br>multispektral   | Auflösungs-<br>elemente am<br>Boden [m]                             | Bildgröße  | Bahndaten  | Wieder-<br>holung   | Bemerkungen   |
|---------------------------------|---|---|---|--|--|---------------------|---|
| LANDSAT<br>1,2,3 MSS<br>- USA - | 0.50 ... 0.60<br>0.60 ... 0.70<br>0.70 ... 0.80<br>0.80 ... 1.10  | 0.50 ... 0.60<br>0.60 ... 0.70<br>0.70 ... 0.80<br>0.80 ... 1.10  | 79 x 56   | 3200 x 2300<br>Elemente<br>185 x 185 km <sup>2</sup>                                       | h = 920 km<br>i = 99°                              | Starr<br>18 Tage    | Start 23.7.72   |
| LANDSAT<br>4,5 TM<br>- USA -    | 0.45 ... 0.52<br>0.52 ... 0.60<br>0.63 ... 0.69<br>0.76 ... 0.90<br>1.55 ... 1.75<br>2.08 ... 2.35<br>10.4 ... 12.5 | 0.45 ... 0.52<br>0.52 ... 0.60<br>0.63 ... 0.69<br>0.76 ... 0.90<br>1.55 ... 1.75<br>2.08 ... 2.35<br>10.4 ... 12.5 | 30 x 30<br>120 x 120<br>(thermal)                                   | 7020 x 5760<br>Elemente<br>185 x 185 km <sup>2</sup>                                       | h = 705 km<br>i = 98°                              | Starr<br>16 Tage    | Start 16.7.82   |
| LANDSAT<br>6 ETM<br>- USA -     | 0.50 ... 0.90   | 0.45 ... 0.52<br>0.52 ... 0.60<br>0.63 ... 0.69<br>0.78 ... 0.90<br>1.55 ... 1.75<br>2.08 ... 2.35<br>10.4 ... 12.5 | 15 x 15<br>(pan)<br>30 x 30<br>(multisp.)<br>120 x 120<br>(thermal) | 7020 x 5760<br>Elemente<br>185 x 185 km <sup>2</sup>                                       | h = 705 km<br>i = 98°                              | Starr<br>16 Tage    | Start Dez. 91<br>geplant<br>Stereooption<br>Fernaufklärung<br>5 m x 5 m                   |
| MOMS 01<br>- ESA -              | 0.57 ... 0.76<br>0.82 ... 0.98  |   | 20 x 20   | 6912 Elemente<br>pro Zeile<br>140 km   | h ≈ 300 km<br>i = 28.5°<br>Spacelab<br>(SPAS - 01) | —                   | 1. Flug Juni 83<br>Wiederflug<br>Febr. 84<br>Zeilerdetekt.                                |
| MOMS 02<br>- ESA -              | 0.52 ... 0.76   | 0.44 ... 0.51<br>0.53 ... 0.58<br>0.65 ... 0.69<br>0.77 ... 0.81  | 4.5 x 4.5<br>13.5 x 13.5  | Streifenbreite<br>37.6 ... 78.1 km   | h = 308 km<br>i = 28.5°                            | —                   | Flug 1992<br>geplant auf<br>NASA Shuttle<br>Mission D2<br>7 Betriebsarten<br>Stereoskopie |
| SPOT 1,2<br>- F -               | 0.51 ... 0.73   | 0.50 ... 0.59<br>0.61 ... 0.68<br>0.79 ... 0.89   | 10 x 10<br>(pan)<br>20 x 20<br>(multisp.)                           | 6000 x 6000<br>Elemente (pan)<br>3000 x 3000<br>(multispektral)<br>60 x 60 km <sup>2</sup> | h = 832 km<br>i = 99°                              | flexibel<br>26 Tage | Start 22.2.86<br>Zeilerdetekt.<br>Stereoskopie  |

#### 4. Vergleich analog - digital

##### 4.1 Es existieren 2 Schnittstellen:

|            |                |                   |                        |                    |              |
|------------|----------------|-------------------|------------------------|--------------------|--------------|
| Reale Welt | Datenerfassung | Datenverarbeitung | Ergebnisvisualisierung | Analyse (Operator) | Entscheidung |
|------------|----------------|-------------------|------------------------|--------------------|--------------|

##### 4.2 Begriff „digital“

Im weiteren Sinne (umgangssprachlich): „rechnergestützt“,  
im engeren Sinne (Bildverarbeitung): „Rasterdatenverarbeitung“

##### 4.3 Argumente für digitale Auswertung

- Quantitatives Verfahren: Einzelschritte und Ergebnisse kontrollierbar, Modellbildung auf hoher Stufe
- Möglichkeit der Integration in GIS
- Fortschritt durch Automation
- Dramatisch fallende Hardware-Kosten bei gleichzeitiger Leistungssteigerung

#### 5. Beispiele

5.1 Verbesserung der Visualisierung durch digitale Bildverarbeitung zur Leistungssteigerung der Bildinterpretation

5.2 Vergleich photographischer und digitaler Aufnahmesysteme

5.3 Kombination von Bildern photographischer und digitaler Aufnahmesysteme

5.4 Anwendungsbeispiele digitaler Bildverarbeitung für die Umweltüberwachung

#### 6. Schlußfolgerungen

Aufnahmesysteme: Alternative analog-digital noch langfristig vorhanden

Auswertesysteme: Klare Tendenz zu digitalen Systemen

Die beiden Schnittstellen A/D und D/A charakterisieren das Gesamtsystem

-PRIRODA-

-----  
Ein Multisensorsystem zur Erderkundung für  
die sowjetische Raumstation MIR  
-----

E. Bach

Institut für Kosmosforschung  
Berlin

Zusammenfassung  
-----

Im Programm Interkosmos wurde seit 1975 in der Arbeitsgruppe Fernerkundung der Erde (AGFE) Grundlagenforschung zur Entwicklung von Methoden und Mitteln zur Erderkundung aus dem Weltraum betrieben. Dank der Vereinigung der beiden deutschen Staaten 1990 ist die Bundesrepublik an laufenden Projekten beteiligt.

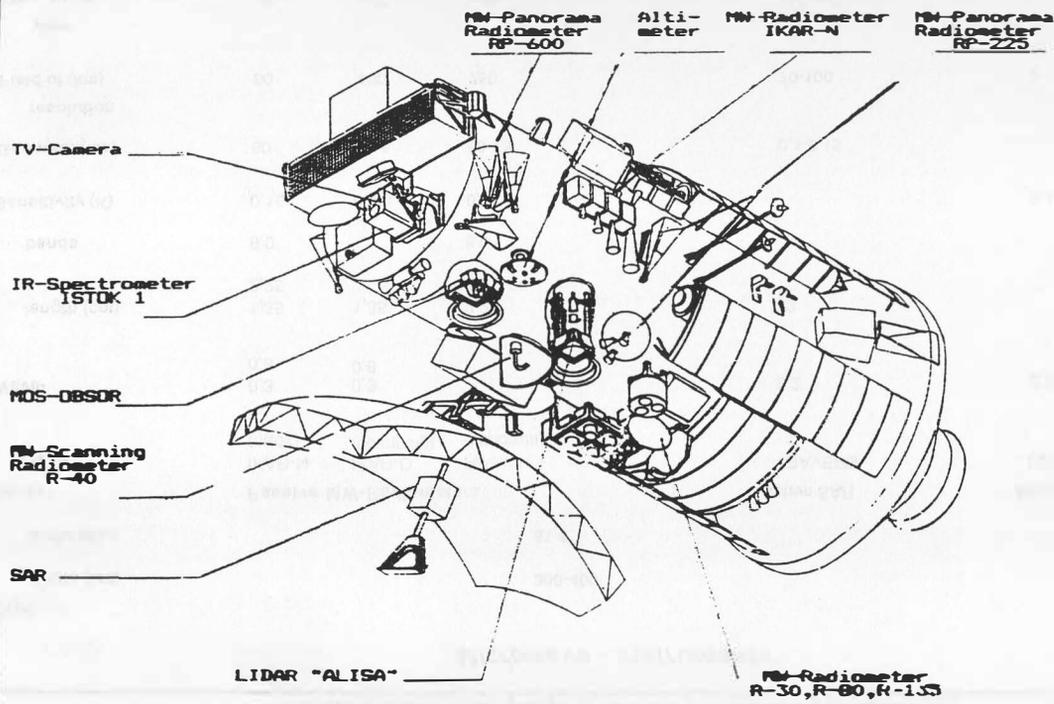
Das im Rahmen der Thematik der Konferenz wohl interessanteste Projekt im Interkosmos-Programm ist das Projekt PRIRODA (zu Deutsch "Natur"): In der Sowjetunion wird gegenwärtig ein neuer Forschungsmodul für die MIR-Station als wissenschaftliche Mission zur Erderkundung vorbereitet. Der Start ist für März 1992 (als Beitrag zum Internationalen Weltraumjahr - ISY) geplant. Die wissenschaftliche Nutzlast, bestehend aus passiven Mikrowellen- und Infrarot-Radiometern, Fotokameras, optischen Scannern und einem abbildenden Spektrometer sowie aktiven Mikrowellensensoren (SAR und Altimeter) und einem LIDAR, stellt ein unikales Multisensorsystem dar. Der deutsche Beitrag zu dieser Langzeitmission ist mit der Beistellung des Modularen Optoelektronischen Scannerspektrometers (MOS), evtl. der Metric Camera (MC) sowie möglicherweise ab 1994 auch des Modularen Optoelektronischen Multispektral-Scanners (MOMS-02) verhältnismäßig groß.

Das wissenschaftliche Programm der PRIRODA-Mission ist auf die Erzielung von Beiträgen zu globalen und regionalen Ökologieforschungsprogrammen sowie die Entwicklung neuer Methoden der Fernerkundung ausgerichtet. Es hat in der deutschen Nutzergemeinschaft einen breiten Interessentenkreis gefunden. Im Rahmen der Vorbereitung zum ISY wird ein umfangreiches PRIRODA-Nutzerprogramm deutscher Institute konzipiert.

## Soviet Remote Sensing Systems in Operation (1991)

|                               | METEOR-3                            | RESSOURCE-0   | RESSOURCE-F   | ALMAZ               |
|-------------------------------|-------------------------------------|---|---|---------------------|
| <b>Orbit</b>                  |                                     |   |   |                     |
| -Height (km)                  | 1230                                | 690   | 170-400   | 250-280             |
| -Inclination                  | 82,5                                | 98  | 62,2  | 71,9                |
| <b>Sensor type</b>            | TV-Scan./IR-Scan.<br>MR 2000/Klimat | opt. Scanners<br>MSU-SK/MSU-E   | Photocameras<br>KFA-1000/MK-4   | SAR<br>ALMAZ        |
| <b>Wave-length bands (μm)</b> | 0,5-0,7/10,5-12,5                   | 0,5-0,6/ 0,5-0,6<br>0,6-0,7/ 0,6-0,7<br>0,7-0,8/ 0,8-0,9<br>0,8-1,1/<br><u>10,4-12,6/</u> | 0,5-0,6/ 0,63-0,69<br>0,6-0,7/ 0,81-0,90<br>0,7-0,9/ 0,51-0,56<br>0,46-0,50<br><br>0,58-0,80<br>0,40-0,70 | 10 cm (HH)          |
| <b>IFOV (m)</b>               | 1000/3000                           | 170<br>600  | 30  | 5 / 8               |
| <b>(expect in 1995)</b>       |                                     |   | (10-15)   | (3) (5) (15)        |
| <b>TFOV (km)</b>              | 2000/3100                           | 200   | 2x45  | 180 / 180           |
| <b>(expect in 1995)</b>       |                                     |   | (2x60)  | (2x200)             |
| <b>Rad.resol.</b>             | 0,5 °K                              |   |   | 3...5 dB            |
| <b>Film type</b>              |                                     |   |   | panchromat.,<br>CIR |
| <b>Telemetry</b>              |                                     | 8,192 GHz   |   |                     |
| <b>Data rate</b>              |                                     | 30 Mbit/s   |   |                     |

**REMOTE SENSING MODULE "PRIRODA"**  
**Main measuring device for MIR-STATION**



# **PRIRODA Equipment Characteristics**

## **Microwave - Instruments**

|                           |                               |                      |                  |                   |                  |
|---------------------------|-------------------------------|----------------------|------------------|-------------------|------------------|
| <b>Orbit</b>              |                               |                      |                  |                   |                  |
| - height (km)             | 300-400                       |                      |                  |                   |                  |
| -inclination              | 51,6°                         |                      |                  |                   |                  |
| <b>Sensor</b>             | <b>Passive MW-Radiometers</b> |                      |                  | <b>Active SAR</b> | <b>Altimeter</b> |
| -type                     | IKAR-N<br>(nadir)             | IKAR-D<br>(scanning) | RP<br>(panorama) | TRIVERS           | GREBEN           |
| <b>Wave-</b>              | 0,3<br>0,8                    | 0,3<br>0,8           |                  | 9,2               | 2,25             |
| <b>length (cm)</b>        | 1,35<br>2,25                  | 1,35                 | 2,25<br>4,0      | 23                |                  |
| <b>bands</b>              | 6,0                           |                      | 6,0              |                   |                  |
| <b>Sensitivity (K)</b>    | 0,15                          | 0,4-1,5              | 0,15             |                   | 0,1 m            |
| <b>Geometr. (km)</b>      | 60                            | 5-15                 | 50-75            | 0,1-0,15          |                  |
| <b>resolution</b>         |                               |                      |                  |                   |                  |
| <b>Field of (km)</b>      | 60                            | 400                  | 750              | 70-100            | 2                |
| <b>view</b>               |                               |                      |                  |                   |                  |
| <b>Obs. angle</b>         | 0°                            | 40°                  | 40°              | 30°-40°           |                  |
| <b>Datarate (K bit/s)</b> | 0,4                           | 8                    | 0,1-0,3          |                   | 8,0              |

DOI: <https://doi.org/10.2312/zipe.1991.118.01>

# PRIRODA Equipment Characteristics

## Optical Instruments

|                      |                        |                          |            |                            |            |              |
|----------------------|------------------------|--------------------------|------------|----------------------------|------------|--------------|
| <b>Orbit</b>         |                        |                          |            |                            |            |              |
| -height (km)         |                        | 300-400                  |            |                            |            |              |
| -inclination         |                        | 51,6°                    |            |                            |            |              |
| <b>Sensor</b>        | <b>IR-Spectrometer</b> | <b>Imaging Spectrom.</b> |            | <b>VIS-Scanners</b>        | <b>TV-</b> | <b>LIDAR</b> |
| -type                | ISTOK-1                | MOS-A,                   | MOS-B      | MSU-SK, MSU-E              | Camera     | Alisa        |
| <b>Wave-</b>         | 4-16 μm                | 755-                     | 408-       | 0,5-1,1μm 0,5-1,1          | 0,4-       | 527 nm       |
| <b>length-</b>       |                        | 768 nm                   | 1010 nm    | <u>(4 chan.)</u> (3 chan.) | 0,75 μm    |              |
| <b>bands</b>         | (64 chan.)             | (4 chan.)                | (13 chna.) | 8-14 μm                    |            |              |
| <b>Sensitivity</b>   | 0.2 k                  |                          |            |                            |            |              |
| <b>Geometr.</b>      |                        | 2,87x                    | 0,7x       | <u>120 m</u> 25 m          | 300 m      | 150 m        |
| <b>resolution</b>    | 0,6-2,0 km             | 2,87 km                  | 0,65 km    | 300 m                      |            |              |
| <b>Field of view</b> |                        | 80,5 km                  | 82 km      | 350 km 27+27 km            | 90 km      | 3'           |
| <b>Spectral-</b>     | 0,15(4-8 m)            | 1,4 nm                   | 10 nm      | <u>0,1 μm</u> 0,1μm        |            |              |
| <b>resolution</b>    | 0,3 (4-12μm)           |                          |            |                            |            |              |
| <b>Obs. angle</b>    |                        | 13,4                     | 13,4       | 39                         |            |              |
| <b>Data rate</b>     |                        | 4 kbit/s                 | 210 kbit/s | 11,5 MB/s 11,5 MB/s        | 6,5 kbit/s | 33 kbit/s    |

# *Hauptzielstellungen des Programmes* **" PRIRODA "**

## **Methodische Aufgaben**

### **1. Entwicklung optimaler Methoden der Fernerkundung**

### **2. Bestimmung der optimalen Zusammensetzung von Fernerkundungsapparaturen**

### **3. Vervollkommnung strahlungsphysikalischer Modelle für**

- das System Ozean-Atmosphäre
- Schnee- und Eisbedeckung
- Boden-Vegetationsbedeckung

### **4. Methodische Fragen zur Auswertung, Interpretation und Sammlung der Daten**

- parameterfreie Ableitung allgemeingültiger Informationsparameter
  - Faktoranalyse
  - Spektralanalyse
  - Clusteranalyse
- Erarbeitung statistischer Auswertemethoden/Modellierung
- Analyse der Umkehraufgaben (Regularisierung, Modellierung)
- Vergleich von Fernerkundungsdaten und direkten Messungen

# Hauptzielstellungen des Programmes " PRIRODA "

## Untersuchung von Naturressourcen

### 1. Lokale Bestimmung geophysikalischer Parameter

- der unteren und oberen Atmosphäre
- der Meeresoberfläche
- des Meeres-, Schelf- und Festlandeises
- der Bodenbedeckung
- der Schnee- und Pflanzenbedeckung
- der Klimazonen und Flußmündungen
- von Binnengewässern

### 2. Untersuchung globaler Prozesse der Atmosphäre

- Wasserdampf und Wassergehalt der Wolken
- globale Bewölkungskarten
- Dynamik von Zyklonen und Niederschlag
- Verteilung des Ozons und anderer Spurenelemente

### 3. Globale und großmaßstäbliche Untersuchungen der Weltmeere

- Zusammenstellung von Temperaturkarten
- Dynamik im Ozean und an dessen Oberfläche
- globale Strömungen (Golfstrom, Kuroshio)
- Upwelling-Gebiete/Dynamik biologischer Felder
- Wechselwirkungsprozesse Ozean/Atmosphäre

### 4. Großmaßstäbliche Erscheinungen des Festlandes

- Radar-, Wärme- und optische Bilder für geografische Zwecke
- Inventarisierung großer Waldmassive  
(sibirische Talga, tropische Wälder Afrikas und Südamerikas)
- Dynamik der Schneedecke

# Hauptzielstellungen des Programmes "PRIRODA"

## Ökologische Untersuchungen

### 1. der Atmosphäre

- Grad der Verschmutzung der Atmosphäre über Städten
- Verteilung der Aerosolkonzentration
- Gehalt an Spurenelementen und Gaskomponenten
- atmosphärische Verschmutzungen, ihre Dynamik und Prognostik

### 2. der Weltmeere

- Verschmutzung durch Erdöl  
(Ufergebiete, Buchten, Häfen)
- Verteilung des Phytoplanktons
- Verschmutzung der Klüften und des offenen Meeres
- Strahlungsbilanz über den Meeren/Klimatendenzen

### 3. des Festlandes

- Kontrolle des Vegetationszustandes
  - bei grossen Bergbaukomplexen
  - Atomkraftwerken
- Kontrolle der Waldschädigung
- Untersuchung ökologischer Katastrophengebiete  
(Aralsee, Tschernobyl)
- Verschmutzung/Versalzung von Binnengewässern
- ökologische Einflüsse von Melioration
- Bodenfeuchte (Desertifikation, Vernässung)



## German Participation on PRIRODA-Experiments (1)

**DABA**

Data Calibration and Validation Experiments  
Ground truth Station Oberpfaffenhofen

| Goals   | Areas of Observations                          | Required PRIRODA-Data                                  | Ground truth  | Institutions  | International Research Progr. |
|---|--|--|---|---|-------------------------------|
| Extern radiometric calibration of SAR-System. Comparison with ERS-1               | Oberpfaffenhofen                               | SAR-data of the TRAVERS system                         | Passive and active reflectors<br>Airborne comparison measurements | DLR<br>Oberpfaffenhofen<br>Inst.High Freq. Techn.<br>Uni Stuttgart<br>Inst.Navigation | ERS-1<br>ISY                  |
| Cloud and cloud transports Experiments<br>CLEOPATRA                               | Test area Oberpf./Munich (Germany)<br>R=200 km | MOS-OBSOR<br>MSU-E<br>MSU-SK<br>ISTOK<br>IKAR<br>ALISA | ground based Radar measure and airborne campaigns                 | DLR Oberpfaffenh.<br>Inst.Phys.Atmosph.   | ERS-1<br>NOAA<br>ISY          |
| Study of the usability of SAR/TRAVERS data in comparison to hydrological Problems | Test area Oberpf./Munich (Germany)             | SAR/TRAVERS data multitemporal                         | ground based MW sounding<br>Hydro and biological observations     | Uni Freiburg<br>Inst.Geography  | ERS-1<br>ISY                  |



German Participation on PRIRODA Experiments (2)

*DABA*

Research and Evaluation of the Geoscientific information  
Content of PRIRODA Data

| Goals   | Areas of Observations                                       | Required PRIRODA-Data   | Ground truth   | Institutions   | International Research Progr.   |
|---|---|---|--|--|---------------------------------|
| Evaluation of PRIRODA data studying tasks of forestry and ecology | International test area<br>Freiburg (Germany)               | MOS-OBZOR<br>MSU-E<br>MSU-SK<br>ISTOK, IKAR<br>SAR data               | airborne measurements with Imaging Spectrometer, MSS and SAR | Uni Freiburg<br>Inst. Geography<br>Inst. Forestry<br>DLR Oberpf.<br>IRC Ispra        | EISAC<br>EARSEC<br>ERS-1<br>ISY |
| Identification of Radar-backscatter of agricultural plants        | Cologne-Aachen test area (Germany)                          | SAR-data of the TRAVERS system  | ground based scatterometer measurements                      | Uni Bonn<br>Inst. Agricult.<br>Inst. Photogram.<br>Uni Karlsruhe<br>Inst. High Freq. | ERS-1<br>ISY                    |
| Investigation of ecosystem characteristics                        | test area Unterhavel (Germany)                              | MOS-OBZOR<br>MSU-SK<br>IKAR-D   | ground based and airborne measurements of albedo and wetness | IKF Berlin   | IGBP<br>ISY                     |
| Identification of spectral signatures of soil and vegetation      | Italy/<br>Sardinia<br>Germany/<br>Munich<br>Kenia/<br>Sahel | MOS-OBSOR<br>MSU-E<br>MSU-SK<br>MC(Photos)<br>IKAR-1, PRV<br>SAR-data | ground based measurements with High Resolution Spectrometer  | Uni Munich<br>Inst. Geology<br>IKF Berlin<br>ZIPE Potsdam                            | IGBP<br>EISAC<br>ISY            |



German Participation on PRIRODA-Experiment (3)  
**Atmosphere/Earth surface Experiments (global change)**

**DABA**

| Goals   | Areas of observation  | Required PRIRODA data  | Ground truth   | Institutions   | International Research Program |
|---|---|--|--|--|--------------------------------|
| Research of mainland hydrophysical problems of semiarid areas | Espania<br>Europe<br>Niger/Sahel/<br>Africa                                   | MOS-OBSOR<br>IKAR-1<br>IKAR-D                                | ground based measurements of radiometric parameters meteorological and hydrological observations | FU Berlin<br>Inst. Meteorology<br>IKF Berlin   | IGBP<br>BAHC<br>ISY            |
| Investigation of rainforest and desertification with MOS-data | rainforest area<br>Amazon basin<br>Central Africa<br>Indonesia<br>Sahel-zone  | MOS-OBSOR<br>MSU-SK<br>MSU-E<br>ISTOK                        | to be determined   | IKF Berlin<br>Inst. Optoelektronik DLR<br>ZIPE Potsdam                                   | IGBP<br>ISY                    |
| Research of river pollution and ocean bioproduktivität        | Atlantic coastal zone (Amazones, Orinoco, Mississippi)<br>NW Africa upwelling | MOS-OBSOR<br>MSU-SK<br>MC (Photos)                           | ship- and airborne measurements  | IfM Warnemünde<br>IKF Berlin<br>MGI Sevastopol   | NOAA<br>ISY                    |
| Investigation of the Atmosphere/Ocean System with MOS-Data    | NE-Atlantic and coastal areas<br>Mediterranean Sea<br>Adria<br>Japan Sea      | MOS-OBSOR<br>IKAR<br>PRW*Greiben'<br>ALISA<br>MSU-E<br>ISTOK | Ground based, ship- and airborne measurements -high resolution spectrometer HiRES                | IKF Berlin<br>IfM Warnemünde<br>Inst. Optoelektronik DLR<br>MGI Sevastopol<br>IKF Moskau | INTER-COSMOS<br>WOCE<br>ISY    |



German Participation on PRIRODA-Experiments (4)

**Landuse/Ecology Experiments (regional and local problems)**



| Goals  | Areas of Observation                        | Required PRIRODA data                                       | Ground truth  | Institutions  | Internationale Research Progr. |
|--|---|---|---|---|--------------------------------|
| Research of ecological problems of urban areas         | Test area Halle/Leipzig (Germany)           | MOS-OBZOR<br>MSU-SK<br>MSU-E<br>ISTOK<br>ALISA<br>MC/PHOTOS | ground based and airborne measurements of VIS/NIR and thermal radiation | IGG Leipzig<br>Uni Leipzig<br>Uni Halle<br>ZIPE Potsdam<br>IKF Berlin         | IGBP<br>ISY                    |
| Evaluation of processes of re-cultivation              | Special test areas of Brandenburg (Germany) | MOS-OBZOR<br>MSU-E<br>SAR/TRAVERS<br>ISTOK<br>MC/PHOTOS     | ground based and airborne measurements of VIS/NIR and thermal radiation | ZIPE Potsdam<br>IKF Berlin<br>WB Berlin<br><i>Uni München</i>                 | IGBP<br>ERS-1<br>ISY           |
| Research of ecological problems of soil and vegetation | Test area Goslar/Harz (Germany)             | MOS-OBZOR<br>ISTOK<br>IKAR<br>SAR/TRAVERS                   | airborne SAR campagne;<br>Bio-pedo- and meteorological observations     | TU Berlin<br>Inst.Ecology<br>DLR Oberpf.<br>FZB Eberswalde<br>TU Braunschweig | IGBP<br>ERS-1<br>ISY           |
| Research of forest damages using GIS-tech.             | Erzgebirge (south Saxonia)                  | MSU-E<br>MC/PHOTOS<br>MOMS-02                               | ground based and airborne measurements VIS/NIR,IR                       | TU Dresden<br>Uni Freiburg<br>DLR Oberpf.                                     | IGBP<br>ISY                    |

# **PRIRODA-Experimente**

**U d S S R u n d O s t e u r o p a**

## **Testgebiete an der Festlandoberfläche und Aufgaben**

---

- |  |   |
|--|---|
| 1. Kaspische See/Kara Bogaz Gol<br>/Hasan Kuli | - Kalibrierung von MW-Rad.- und SAR-Daten<br>- ökologische Untersuchungen/Versalzung              |
| 2. Aral See                                    | - Kalibrierung von opt., IR- und MW-Daten<br>- ökologische Untersuchungen/Wasserspiegel           |
| 3. Altai-Region                                | - Flächennutzung und Bodenzustand<br>- Hydrometeorologische Untersuchungen                        |
| 4. Weißrussische Testgebiete                   | - Flächennutzung und Bodenzustand<br>- ökologische Folgen der Tschernobyl-Katastrophe             |
| 5. Balchasch See                               | - Komplexuntersuchung des Wassereinzugsgebietes<br>- Methodenentwicklung für Ökosystem-Monitoring |
| 6. Region Gjunesh/Aserbaidshan                 | - Flächennutzung und Bodenzustand<br>- Hydrometeorologische Untersuchungen                        |
| 7. Issik-Kul/Kirgisien                         | - Atmosphärenoptische Untersuchungen<br>- Kalibrierung opt., IR- und MW-Daten                     |
| 8. Karpaten Region                             | - Flächennutzung und Bodenzustand<br>- Hydrometeorologische Untersuchungen                        |
| 9. Karschinsker Polygon/Mittelasien            | - Flächennutzung und Bodenzustand in<br>semiariden Gebieten                                       |
| 10. Krasnojarsker Polygon/Mittelasien          | - Waldschadeninventur nach Bränden<br>- Prognose von Waldbrandherden                              |

# *PRIRODA-Experimente*

U d S S R u n d O s t e u r o p a

## Testgebiete an der Festlandoberfläche und Aufgaben

---

- |   |  |
|---|--|
| 11. Hagelschlag-Vorhersagegebiete/Moldavien,<br>Krim, Grusinien, Armenien, Tadshikistan | - Beobachtung der Wolkenstruktur u. -dynamik<br>- Temperaturprofile, Niederschlagsintensität |
| 12. Charkower Polygon/Ukraine   | - Flächennutzung und Bodenzustand<br>- Hydrometeorologische Beobachtungen                    |
| 13. Chersonsker Polygon/Schwarzmeerniederung  | - Flächennutzung und Bioproduktivität<br>- Einführung der GIS-Technologie                    |
| 14. Zelinograder Polygon/Kasachstan   | - Flächennutzung und Bodenzustand<br>- agrohydrometeorologische Erkundung                    |
| 15. Testgebiet "NAREW"/Polen  | - Flächennutzung und Bodenzustand<br>- optische Spektrometrie                                |
| 16. "JEZIORA SZACKIE"/Polen   | - Wasserqualität von Binnenseen<br>- Erkundung von Wassereinzugsgebieten                     |
| 17. "SRODA SLASK"/Polen   | - Flächennutzung und Bodenzustand<br>- Atmosphärenzustand und -korrektur (opt. Daten)        |
| 18. "HEMUS"/Bulgarien   | - Flächennutzung und Bodenzustand<br>- Hydrologische Untersuchungen                          |
| 19. "SUMAVY"/ČSFR   | - Flächennutzung und Landschaftsökologie<br>- KKW-Vorsorge                                   |
| 20. Donaubecken/ČSFR  | - Flächennutzung und Bodenzustand<br>- Bioproduktivität landwirtschaftl. Kulturen            |

DOI: <https://doi.org/10.2312/zipe.1991.118.01>

## **Einsatzmöglichkeiten moderner Fernerkundungsträger zur Erfassung und Gefährdungsabschätzung von Altlasten**

Dr.rer.nat. Hans-Walter Borries

Uwe Gesellschaft für Ver- und Entsorgung in der Umwelttechnik mbH, Herne

### Zusammenfassung

Neben den klassischen Luftbildern (panchromatischen und farbigen Reihenmeßbildern und Bildplänen) werden seit einiger Zeit verstärkt moderne Fernerkundungsträger als Mittel zur Erfassung von Altlastverdachtsflächen eingesetzt. Über den Einsatz und Nutzen dabei verwendeter Informationsquellen Thermal-, Infrarot-, und Radarluftbilder existieren mit Ausnahme von Vortragsversionen bisher keine wissenschaftlich belegten Erkenntnisse. Analysiert man die oben genannten Quellen nach den Anforderungskriterien, die im Rahmen der beprobungsfreien Erfassung und Erstbewertung an einen Informationsträger zu richten sind, so wird deutlich, daß nur in den wenigsten Fällen Altlastverdachtsflächen aller Kategorien vollständig und differenziert ermittelt werden können. So beschränkt sich der Einsatz dieser Datenträger bisher nur auf die Erfassung von (noch) brennenden Deponien oder Teilen von diesen durch Thermal-Scanner-Aufnahmen. Letztendlich führt z. Zt. noch kein Weg an der bisher kostengünstigeren Auswertung von historischen Luftbildern, Karten und Akten-/Betriebsplänen vorbei.

### 1. Einleitung

Seit einigen Jahren werden zunehmend neben Karten und Akten/Betriebsplänen moderne Fernerkundungsmittel und "klassische Luftbilder" mit großem Erfolg zur Altlastenerkundung herangezogen. Hierbei zeichnen sich diese beprobungslosen bzw. -freien Informationsquellen dahingehend aus, daß sie in relativ kurzer Zeit und bei geringem Kostenaufwand wichtige Aussagen zu Art von Altlastverdachtsflächen und deren Kontaminationspotential ermöglichen.

Dies trifft sowohl bei kleinflächigen Standorterkundungen (Standortanalysen, z. B. einer Deponie oder eines ehemaligen Fabrikgeländes) als auch bei großflächigen Gebietsinventuren (Raumanalysen, z. B. flächendeckend für ein Stadt-/Kreisgebiet) zu.

Beprobte Untersuchungsverfahren wie Bohrungen und Schürfe, deren Einsatz in der Phase der Altlastenerfassung und Erstbewertung aufgrund der Vielzahl bereits erfaßter Verdachtsflächen ökonomisch nicht vertretbar erscheint, können so in der zweiten Phase der Altlastenerkundung (Gefährdungsabschätzung) durch vorangegangene beprobungslose Untersuchungsmethoden gezielter (und nach Leitparametern eingegrenzt) eingesetzt werden.

Welche Eignung moderne Fernerkundungsträger und Luftbilder im Vergleich mit historischen Reihenmeßbildern und Bildpläne für die Erfassung und Gefährdungsabschätzung von Altlasten aufweisen und wie sie arbeitsökonomisch sinnvoll mit anderen beprobungslosen Informationsquellen und beprobten Verfahren eingesetzt werden können, soll im folgenden aufgezeigt werden.

## **2. Methodische Grundlagen der beprobungsfreien Erfassung und Erstbewertung**

Vom methodischen Untersuchungsansatz basiert die beprobungsfreie Erfassungs- und Bewertungsmethode als Verfahren auf dem Tatbestand, daß lediglich Altlastverdachtsflächen ausgewiesen werden, deren potentielle Kontaminationen aufgrund von Erfahrungswerten bekannter Schadensfälle oder vertiefender Branchenrecherchen zu Produktionsverfahren und -prozessen zu definieren sind. Letztendlich soll damit der Einsatz von beprobten Analyseverfahren optimiert (d.h. minimiert) werden. Methodisch gesehen bedeutet dies, daß alle Flächennutzungen analysiert werden, die altlastrelevante Bedeutung haben könnten, d.h. als Altlastverursacher in Frage kommen. Zur Analyse von altlastrelevanten Flächennutzungen bieten sich, wie in der Literatur hinreichend erläutert [1 - 6, 8 - 9], Karten, Akten, Betriebspläne und Luftbilder an. Über den Nutzen von modernen Fernerkundungsträgern im Sinne von satelliten- oder flugzeuggestützten Thermal-, Multispektral- und Radaraufnahmen finden sich derzeit, mit Ausnahme einiger englischsprachiger Vortragsfassungen, keine verlässlichen Aussagen. Letztgenannte Informationsquellen zeichnen sich ebenso wie konventionelle Luftbilder dadurch aus, daß sie wichtige Hinweise zur Topographie bzw. zu Geländeformen und zu industriegewerblichen Produktionsstätten geben. Hierbei kommt der Flächennutzung die zentrale Rolle eines Indikators [7], eines Zeigerwertes zu, der auf der Grundlage eines methodischen Rückschlusses Aussagen zu potentiellen Bodenverunreinigungen und umweltgefährdenden Stoffen ermöglicht. Voraussetzung dafür, daß dieser Umkehrschluß machbar ist, stellt die vertiefende Kenntnis über Produktionsanlagen und -prozesse sowie die dort anfallenden Produktions-, Rest- und Abfallstoffe und deren Entsorgungspraxis dar [5, 11, 12].

Von zentraler Bedeutung für die Qualität der beprobungsfreien Altlastenerfassung ist das zeitlich weite Zurückreichen einer Informationsquelle. Eine hohe Altlastenerfassungsrates (= objektive und vollständige Wiedergabe aller Verdachtsflächen) ist nur dann möglich, wenn die betreffenden Flächennutzungen nicht nur zur einer Zeit monotonal, also (z.B. der Gegenwart) betrachtet werden. Vielmehr muß der gesamte Zeitraum, der für das Entstehen von Kontaminationen verantwortlich ist, seit Beginn der Industrialisierung in die Untersuchung einbezogen werden.

Daraus resultiert für die Informationsträger die primäre Anforderung, daß sie zu allen Aufnahmezeiten chronologisch lückenlos ausgewertet werden müssen.

Die Fachbegriffe für die gängigen Methoden sind in der Karten- und Luftbildauswertung das "multitemporal-sequentielle Verfahren" [3, 5, 8, 13] bzw. bei der Akten-/Betriebsplananalyse die "historisch-deskriptive" Methode.

### 3. Anforderungen an die beprobungsfreien Fernerkundungsträger und historischen Luftbilder zur Altlastenerfassung und -erstbewertung

Die Leistungsfähigkeit der beprobungslosen Untersuchungsmethode und der dabei eingesetzten Informationsquellen hängt im entscheidenden Maße davon ab, inwieweit eine Informationsquelle raum-, zeit- und sachbezogene Hinweise zur Altlastenerfassung und Erstbewertung liefert (vgl. Abb. 1). Die Genauigkeit, mit der eine altlastrelevante Flächennutzung in den jeweiligen Informationsträgern angesprochen wird, bestimmt letztendlich den Wert des beprobungslosen Erkundungsverfahrens. Mit anderen Worten: je genauer eine altlastrelevante Flächennutzung verortet, abgegrenzt und bestimmt, d.h. differenziert und funktionsmäßig angesprochen werden kann, desto eindeutiger lassen sich bei Kenntnis der Verfahrenstechnik Ablagerungen und Produktionsanlagen, Produktions-/Rest- und Abfallstoffe zuordnen.

Von der Vielzahl beprobungsfreier Informationsquellen sind neben den klassischen, historischen Luftbildern/Bildplänen (panchromatische Reihenmeßbilder und Farbaufnahmen) Color-Infrarot (CIR)-Aufnahmen, Thermal-Scanner-Aufnahmen, Multispektral- und Radaraufnahmen von zivilen und militärischen Aufnahmeträgern (i. d. R. Satelliten) untersucht worden.

### 4. Bewertung der Effizienz und Wirtschaftlichkeit der eingesetzten Informationsquellen

Die beprobungsfreie Untersuchungsmethode ermöglicht für eine Altlastenerkundung, unabhängig, ob es sich um eine Standorterkundung oder um eine großflächige Gebietsinventur aller Altlastverdachtsflächen eines Stadt/Kreisgebietes handelt, daß wichtige Informationen zur Erfassung und Erstbewertung von Altanlagen und betrieblichen und außerbetrieblichen Ablagerungen ermittelt werden können.

Hierbei zeichnen sich bei den Informationsquellen in besonderem Maße die photographischen Aufnahmen aus, speziell die historischen konventionellen Luftbilder, die weitgehend alle Anforderungskriterien vollständig erfüllen (vgl. Abb. 2). Sie stellen die einzige, sachlich und geometrisch objektiv wiedergebende Informationsquelle dar, die es erlaubt, einen Blick auf die altlastrelevanten Flächennutzungen in der Vergangenheit zu werfen. Ergänzt man diese Informationsmittel mit historischen Topographischen Karten und Akten/Betriebsplänen, die bis hin zur Früh- bzw. Hochphase der Industrialisierung reichen, so wird man weitgehend eine vollständige Altlastenerfassung und Erstbewertung durchführen können. Alle weiteren Informationsquellen (wie die modernen Fernerkundungsträger) können demgegenüber nur für spezielle Fragestellungen bzw. zur Erfüllung einzelner Anforderungskriterien herangezogen werden. Dabei läßt sich deren Nutzen wie folgt skizzieren:

**Color-infrarot (CIR)-Aufnahmen:** Sie eignen sich besonders für die Erfassung von Alt-ablagerungen, insbesondere wenn es darum geht, noch vernähte Bereiche oder junge

Abb. 1 Anforderungskriterien an Informationsquellen zur Erfassung und Erstbewertung Zeit-/raumbezogene Informationen

| Eignungskriterien                                  | Hinweise zur Erfassung  | Hinweise zur beprobungslosen Erfassungsbewertung  |
|--|---|---|
| Lokalisation                                       | - Lage (Adresse, Flur, Straße)<br>- Lagetreue Wiedergabe  | - Herkunft/Lage von Kontaminationen   |
| Flächenabgrenzung                                  | - Grundstücksausdehnung (Flächengröße, Volumina)<br>- Nachbarschaft<br>- grundrißtreue u. differenzierte Wiedergabe aller Baulichkeiten | - Schadstoffverbreitung<br>- Kontaminationsunterschiede<br>- ggf. Mengenangaben                                     |
| Nutzungszeitraum (Betriebs-, Ablagereungszeitraum) | - Beginn u. Ende der Nutzung (Nutzungs-dauer)<br>- Vollständige Dokumentation von Nutzungsveränderungen                                 | - Zeitdauer von kontaminationsverursachenden Nutzungen<br>- Langzeitverhalten zu Schadstoffen<br>- Schadstoffmengen |

### Sachbezogene Informationen

| Eignungskriterien   | Hinweise zur Erfassung   | Hinweise zur beprobungslosen Erfassungsbewertung  |
|---|--|---|
| Grundstückseigentümer   | - Name u. Sitz des Eigentümers, ggf. des Folgenutzers  | - Verursacherebenennung<br>- Rückschlüsse auf herstellerepezifische Schadstoffe   |
| Branchenbestimmung  | - Wirtschaftszweig<br>- Produktionsverfahren<br>- Anlagentypen   | - Branchenspezifische Produktions-, Rest-/Zwischen- u. Abfallstoffe<br>- typische Leckagen, Verlustquellen<br>- Produktionsmengen/Schadstoffmengen<br>- Kontaminationstypen |
| Identifikation/Funktionsbestimmung von Anlagen/Gebäuden               | - Objektive u. vollständige Wiedergabe aller Baulichkeiten<br>- Wiedergabe von Tank- u. Gasbehältern sowie Rohrleitungen   |   |
| Produktionshinweise   | - Produktionsverfahren<br>- technischer Wandel<br>- produktionspezifische Stoffe<br>- Produktionsmengenangaben   |   |
| Betriebliche u. außerbetriebliche Entsorgungspraxis (Altablagerungen) | - Aufschüttungen (Halden, ungeordnete Ablagerungen, Deponien)<br>- Lagerplätze<br>- Verfüllungsbereiche (natürliche u. anthropogene Hohlformen)<br>- Ablagerungsvorgänge | - Herkunft u. Materialzusammensetzung (herstellerepezif., Rest- u. Abfallstoffe)<br>- Schadstoffpotential<br>- Mengenangaben  |
| Dokumentation des Abbrisses o. der Abtragung                          | - Oberflächennaher Abriß<br>- verbleibende Anlagenreste  | - Verschleppungszonen/Abrißsäume<br>- unterirdische Rohr- u. Tankleckagen<br>- zurückgebliebene Schadstoffe<br>- Mengenangaben  |
| Kriegsschäden   | - Bombenschäden, Blindgänger<br>- Anlagenträger  | - Stoffzusammensetzung des Verfüllungsmaterials<br>- Art u. Menge der freigesetzten Produktions-/Reststoffe   |
| Betriebsunfälle   | - Leckagen/Unfälle<br>- Schadensausmaß   |   |

Zusammenstellung/Entwurf: Borries

Borries 1989 Disputationsvortrag

Abb. 2 Informationsquellen und ihre Eignung für die Altlastenerkundung

| Quellen<br>Eignungs-<br>kriterien   | Schräg- /<br>Geneigt-<br>Aufnahmen | Photographische Aufnahmeverfahren |       |                          |                   |                                  |                                 |                                  | Nicht photographische Aufnahmeverfahren |             |                                 |             |       |             |   |
|---|------------------------------------|-----------------------------------|-------|--------------------------|-------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---|-------------|---------------------------------|-------------|-------|-------------|---|
|   |                                    | Reihenmaßbilder                   |       |                          |                   |                                  |                                 |                                  | Thermal<br>Infrarot                     |             | Multi-<br>spektral-<br>scanning |             | Radar |             |   |
|   |                                    | Senkrecht<br>SW                   | Farbe | Bildplanwk.<br>Dt. Reich | Kriegs-<br>bilder | Kriegs-<br>schadens-<br>berichte | Color<br>Infrarot-<br>Aufnahmen | Multi-<br>spektral-<br>Aufnahmen | zivil                                   | militärisch | zivil                           | militärisch | zivil | militärisch |   |
| Zugänglichkeit  | +                                  | o                                 | o     | ++                       | o                 | o                                | o                               | -                                | o                                       | -           | -                               | -           | -     | -           | - |
| Auswertbarkeit  | +                                  | -                                 | -o    | o                        | -                 | +                                | -                               | -                                | -                                       | -           | -                               | -           | -     | -           | - |
| Lokalisation  | -                                  | +                                 | +     | o                        | +                 | o                                | +                               | +                                | o                                       | +           | +                               | +           | +     | +           | + |
| Flächenabgrenzung<br>- innerhalb des<br>Betriebsgeländes                        | +                                  | ++                                | ++    | o                        | ++                | +                                | ++                              | ++                               | -o                                      | +           | -                               | +           | -     | -           | + |
| - in direkter Nachbar-<br>schaft zum Betrieb                                    | +                                  | ++                                | ++    | o                        | ++                | o                                | ++                              | ++                               | -o                                      | +           | -                               | +           | -     | -           | + |
| Nutzungs- /<br>Betriebszeitraum   | o                                  | +                                 | o     | o                        | o                 | o                                | o                               | o                                | -                                       | -           | -                               | -           | -     | -           | - |
| Verursacher   | -                                  | -                                 | -     | o                        | -                 | ++                               | -                               | -                                | -                                       | -           | +                               | +           | +     | +           | + |
| Branchenbestimmg.   | o                                  | o                                 | o     | o                        | o                 | ++                               | o                               | o                                | -                                       | o           | -                               | o           | -     | -           | o |
| Anlagenfunktions-<br>bestimmung   | o                                  | o                                 | o     | -o                       | o                 | ++                               | o                               | -                                | -                                       | o           | -                               | o           | o     | -           | o |
| Produktionsdaten  | -                                  | -                                 | -     | -                        | -                 | o+                               | -                               | -                                | -                                       | -           | -                               | -           | -     | -           | - |
| Betriebliche und<br>außerbetriebliche<br>Entsorgungspraxis<br>(Altablagerungen) | +                                  | ++                                | ++    | +                        | ++                | o                                | ++                              | ++                               | +                                       | ++          | -                               | ++          | -     | ++          | + |
| Dokumentation des<br>Abrisses / Abtragung                                       | +                                  | +                                 | +     | +                        | +                 | +                                | +                               | +                                | -                                       | +           | -                               | +           | -     | +           | + |
| Kriegsschäden   | -+                                 | +                                 | -     | -o                       | ++                | ++                               | -                               | -                                | -                                       | -           | -                               | +           | +     | +           | + |
| Betriebsunfälle   | -                                  | -                                 | -     | +                        | -                 | o                                | -                               | -                                | -                                       | o           | -                               | +           | +     | +           | - |
| Untergrundbeschft.  | -                                  | -                                 | -     | -                        | -                 | -                                | -                               | -                                | -                                       | -           | -                               | -           | -     | -           | o |
| Grundwasserausbrtg.   | -                                  | -                                 | -     | -                        | -                 | -                                | -                               | -                                | -                                       | -           | -                               | -           | -     | -           | - |

Bewertung der Eignung: ++ sehr gut geeignet  
 + gut geeignet  
 o mäßig geeignet  
 - wenig geeignet

Entwurf: H.- W. Bornes  
 Zeichnung: A. Wunderlich  
 uve GmbH Heme 1991

Aufschüttungsareale von schon etwas älteren, mit erster Vegetation versehenen Zonen zu unterscheiden. Ansonsten können bei Altanlagen lediglich Schrottplätze bzw. Autofriedhöfe relativ schneller erfaßt werden, da diese sich farbtypisch besser von der Umgebung abheben. Der große Nachteil dieser Informationsquellen ist darin zu sehen, daß sie nur bis in die 1970er und vielfach nur für die 1980er Jahre zurückreichen. Neueste Untersuchungen des Verfassers an Truppenübungsplätzen und bei Standortanalysen belegen, daß es bei Neubefliegungen vorteilhaft ist, gleich CIR-Bilder anzufertigen, da auf diese Weise noch weitere Umweltthemen (z.B. Waldschäden, Baumvitalitätsbestimmungen) bearbeitet werden können. Die relativ höheren Herstellungskosten rechnen sich in diesem Falle auch durch Einsparung einer Neubefliegung sowie eines Reproganges.

**Multispektral-Aufnahmen (MSA):** Zur Zeit laufen Untersuchungen, die darauf hindeuten, daß bestimmte altlastrelevante Flächennutzungen, z. B. verfüllte Gruben, Halden, aber auch abgerissene Industrieanlagen und Truppenübungsplätze in bestimmten, sichtbaren Spektralbereichen eindeutiger bzw. klarer (schärfer) zu betrachten sind und sich Unterschiede im Grau-/Farbton deutlicher abgrenzen lassen. Allerdings erfüllt auch diese relativ junge Informationsquelle nicht die primäre Anforderung, daß dieses Medium weit in die Vergangenheit zurückreicht. Letztendlich bleibt nur zu folgern übrig, daß wenn diese Aufnahmen für die Gegenwart zur Verfügung stehen, sie unbedingt mit auszuwerten sind.

Aus der Reihe der nicht photographischen Aufnahmeverfahren wird in letzter Zeit wiederholt auf den hohen Wert von von Flugzeugen eingesetzten **Thermal-Scanner-Aufnahmen** hingewiesen. Vergleichende Untersuchungen zwischen konventionellen Luftbildern und Thermalaufnahmen(-abspielungen) belegen jedoch, daß die Thermalaufnahmen eher zur Erfassung von Altablagerungen, speziell von noch ausgasenden, brennenden Deponien geeignet sind. Sobald eine flächendeckende Versiegelung bzw. eine Folgenutzung (z. B. Wohnbebauung, Parkplatzfläche oder Waldfläche) auf einer ehemaligen Altablagerung liegt, wird nur das Wärmeverhalten dieser Folgenutzung aufgezeichnet. Ein Blick in die frühere Flächennutzung, d.h. in die Vergangenheit ist mit dieser Informationsquelle leider nicht möglich. Bei Altanlagen, und besonders wenn es um abgerissene/abgetragene Gebäude-/Anlagen(teile) geht, haben Thermalaufnahmen bisher keine positiven Ergebnisse gebracht. Anstelle des Temperaturverhaltens von alten, unterirdischen Fundamenten konnte nur die Oberflächentemperatur mit all ihren Zwischenschichteffekten wiedergegeben werden. Um statistisch belegbare Aussagen über den Nutzen bzw. Nichtnutzen dieser Informationsquelle gewinnen zu können, müßten die Daten aus großflächig angelegten multitemporalen Karten- und Luftbildauswertungen im Rahmen eines größeren Forschungsvorhabens analysiert und verglichen werden. Gezielt müßten hierbei einzelne Altlastkategorien, ggf. typische Ablagerungen und bei Altanlagen die Gebäudefundamente untersucht werden.

Inwieweit gegenüber den zivilen Verfahren militärische Systeme eine höhere (genauere) Auflösung und Eichspanne vorteilhaft dabei einsetzen könnten, bedarf ebenfalls einer eingehenden Überprüfung.

**Multispektral-Scanner-Aufnahmen (MSA):** Stärker noch als bei den photographischen

Aufnahmeverfahren gelten für **MSA** restriktive Zugangsbeschränkungen und ein relativ geringes zeitliches Zurückreichen sowohl auf zivile als auch militärische Aufzeichnungen. Interessant wären, was die geometrische Genauigkeit und das Auflösungsvermögen/Detailerkennbarkeit bei der Identifizierung und Klassifizierung von Anlagenteilen und Ablagerungsbereichen betrifft, die militärischen Abspielungen, die jedoch erheblichen Zugangsbeschränkungen unterliegen. An dieser Stelle wäre zu wünschen, daß die militärischen Aufnahmesysteme im Interesse einer gemeinsamen und raschen Bewältigung der Umweltprobleme zivilen Stellen frei zugänglich gemacht werden.

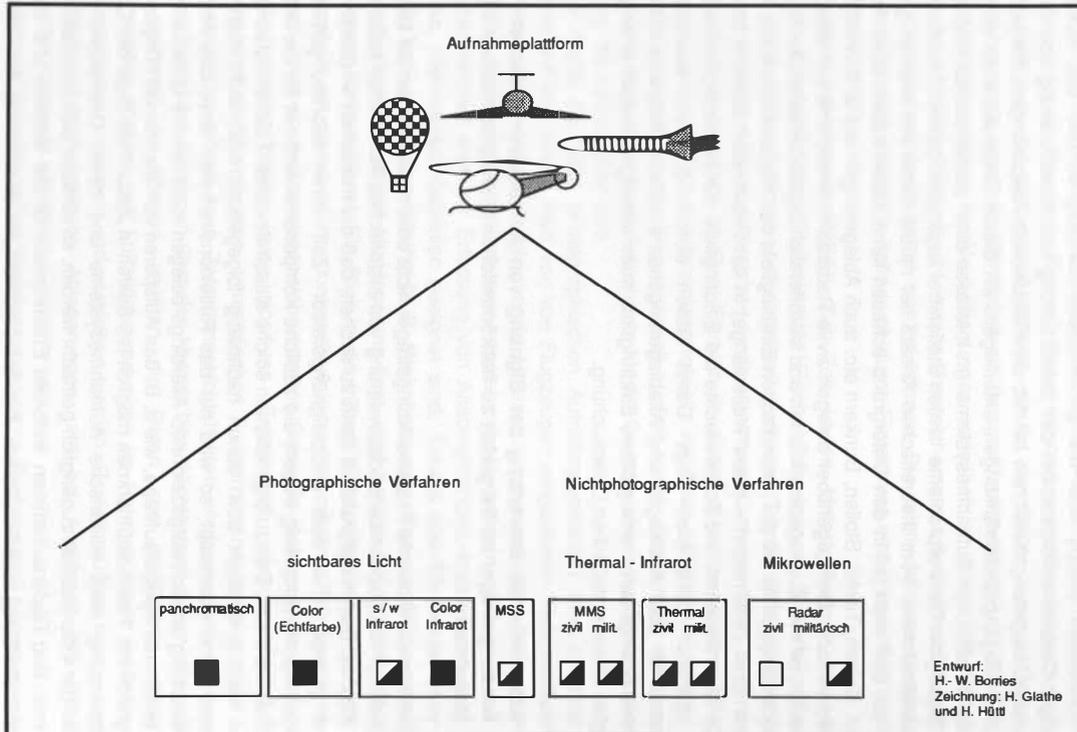
**Radaraufnahmen:** Vom theoretischen Ansatz her müßte damit ein Medium gegeben sein, mit dem man tief in den Untergrund schauen kann, dabei neben alten Anlagenresten, Kellern, Tanks, Stollen, Bunkern etc. auch Ablagerungen wie z. B. Verfüllungen entdecken kann. Demgegenüber belegen zivile Radaraufnahmen, und nur darauf kann sich aufgrund von Zugangsrestriktionen und Veröffentlichungsvorbehalten der Verfasser beschränken, daß es mit der theoretischen Eindringtiefe des Radarstrahlers (ca. Tiefe in Metern bzw. Zentimetern = halbe Wellenlänge) in der Praxis eher schlecht bestellt ist und je nach Bodenart und Bodenfeuchte die Eindringtiefe nur bei wenigen Dezimetern bzw. gar nur Zentimetern liegt. Damit lassen sich i. a. keine ausreichenden Informationen über Altanlagen und Altablagerungen ermitteln. Inwieweit militärische Systeme bedingt durch eine größere Eindringtiefe mehr erbringen, bedarf einer großangelegten wissenschaftlichen Untersuchung.

##### **5. Abschließende Bewertung der Eignung von Aufnahmen moderner Fernerkundungsträger im Vergleich zu herkömmlichen photographischen Luftbildaufnahmen**

Zur Zeit können moderne Fernerkundungsträger nicht oder noch nicht an die Leistungsfähigkeit der klassischen Luftbildauswertung von historischen Aufnahmen heranreichen (vgl. Abb. 3). Der Hauptgrund ist darin zu suchen, daß die modernen Verfahren nur zu einem geringen Teil dem Haupteignungsfaktor "Zeit" einer beprobungsfreien Altlastenerfassung Rechnung tragen; die zeitliche Komponente wird nur für die letzten 10 bis 20 Jahre erfüllt. Demzufolge könnten solche altlastrelevante Flächennutzungen, die heute noch unentdeckt bzw. schon nachhaltig folgegenutzt sind, nicht mehr erfaßt werden. Wenn überhaupt, so wird nur das Reflexionsverhalten bzw. das Abbild der Folgenutzung an sich aufgezeichnet. Allerdings belegen auch neuere Untersuchungen, daß bestimmte Spezialaufträge, wie z. B. das Aufspüren von brennenden Deponieteilen, erfolgreich mit Thermalaufnahmen möglich ist. Sollten in Zukunft im Zuge der Ost-West-Entspannung viele militärische Aufnahmesysteme und deren Datenspeicherungen stärker der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden, so könnten sich durchaus bei den Thermal- und Radaraufnahmen wertvolle Erkenntnisse für die Umwelt- und damit die Altlastenforschung ableiten lassen. Bis dahin scheint die Auswertung der klassischen Datenträger, der historischen Luftbilder, gekoppelt mit historischen Karten und Akten, ein effektiveres und kostengünstigeres Verfahren zu sein.

Unter Beachtung der sich neu ergebenden Rüstungsaltdaten- und militärischen

Abb. 3 Bedeutung und Eignung von Fernerkundungsmitteln für die Alllastenerkundung



Liegenschaftenthematik sieht der Verfasser allerdings einen zunehmend gestiegenen hohen Informationswert von Satellitenbildabspielungen. Während in manchen Reihenmeßbildern und Bildplänen die militärisch relevanten Anlagen aus Geheimhaltungsgründen ausgespart oder geschwärzt sind, können sie i.d.R. frei in Satellitenbildern betrachtet werden. So sind Abläufe und Entwicklungen (z. B. auf Truppenübungsplätzen) großflächig damit zu betrachten und je nach Auflösungsvermögen (z. B. bei Zugriff auf das sowjetische Kamerasystem KFA-1000 beträgt die Auflösung ca. 5 m) auch detailliert abzugrenzen und zu klassifizieren.

Alle Informationen über einen Einzelstandort (Standortanalyse/Teilraumanalyse) oder einen großflächigen Raum (Gebietsinventur/Raumanalyse) können, ungleich ob es sich um photographische oder nicht photographische Aufnahmeverfahren handelt, dazu beitragen, das Kontaminationspotential dem Gesamtspektrum der branchenspezifischen Schadstoffe gemäß einzugrenzen.

Für die Beprobungsplanung stellen diese Informationen damit eine wichtige Datengrundlage dar, die mehr als nur eine reine Basisinformation ist. Erst die detaillierten und exakt lokalisierbaren (kartographisch aufbereiteten) Hinweise ermöglichen den gezielten und arbeitsökonomisch vertretbaren Einsatz von beprobten Untersuchungsverfahren zur beweis-/nachweisbaren Quantifizierung und Qualifizierung des Gefährdungspotentials. Die Bohrpunkte können so lagemäßig exakt ausgewiesen werden, Bohrtiefen vorgegeben werden und mögliche Bohrhindernisse (Kabel-/Leitungsstrassen, Betonfundamente) umgangen werden.

Desweiteren können im Zuge der Probennahme und Analyse des tatsächlichen Schadstoffrepertoirs wichtige Vorgaben erfolgen, das zu erwartende (branchenspezifische Schadstoffpotential) benannt werden und Leitparameter ausgewählt werden.

Von entscheidener Bedeutung für die Kostenplanung ist, daß so die Zahl der Bohrungen reduziert werden kann und dabei zugleich die Probennahme vor Ort auf das notwendige Maß minimiert wird, bei gleichzeitiger Eingrenzung des Analytikumfangs durch vorherige Festlegung der Untersuchungsparameter.

Allein durch den Vorab-Einsatz der beprobungsfreien Erfassung und Erstbewertung wird es möglich, daß die Festlegung von Bohrpunkten viel stärker als bisher üblich nach der Lage/Arealausdehnung sowie dem spezifischen Kontaminationspotential und der Altlastgefährdung durch Altlastverdachtsflächen ausgerichtet wird. Vergleichende Untersuchungen belegen, daß die dadurch erzielten Einsparungen an Bohrungen/Schürfen im Rahmen von Standorterkundungen, je nach Standortgröße und Branche, zwischen 50 und 80 % betragen können. Demzufolge lassen sich die Beprobungskosten erheblich (z.T. auf ein Viertel bis ein Drittel der sonst üblichen Kosten) senken.

Bei großflächigen Gebietsinventuren kann ferner davon ausgegangen werden, daß erst die beprobungsfreie Erfassung zu einer vollständigen und differenzierten Aufnahme der Verdachtsflächensituation führt. Der Einsatz beprobter Verfahren ohne vorherige beprobungsfreie Erstbewertung kann also sogar ein Vielfaches an Kosten verursachen.

## Literaturauswahl:

- (1) Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes NRW (MELF), 1985:  
Hinweise zur Ermittlung von Altlasten-Erfassung, Erstbewertung, Untersuchung und Beurteilung von Altablagerungen und gefahrenverdächtigen Altstandorten, Düsseldorf.
- (2) ALBERTZ, J. u. W. ZÖLLNER, 1984:  
Einsatzmöglichkeiten der Luftbildinterpretation bei der Altlastensuche, Abschlußbericht zu dem im Auftrag des Senators für Bau- und Wohnungswesen durchgeführten Forschungsvorhaben "Untersuchung zur Interpretation von Farbinfrarot-Luftbildern im Rahmen des Altlast-Suchkonzepts", Berlin (als Ms vervielfältigt).
- (3) BORRIES, H.-W., 1986:  
Möglichkeiten zur Erfassung von Altlasten durch Karten- und Luftbildauswertung - aufgezeigt am Beispiel Bochum, Bochum (unveröffentl. Diplomarbeit der Fakultät für Geowissenschaften der Ruhr-Universität Bochum).
- (4) BORRIES, H.-W. und J. DODT, 1988:  
Die Erfassung altlastverdächtiger Flächen durch multitemporale Karten- und Luftbildauswertung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hg.), Altlasten Bd. 2 Seite 415 - 436.
- (5) BORRIES, H.-W., 1989:  
Einsatzmöglichkeiten der Karten- und Luftbildauswertung bei der Lokalisierung und Erstbewertung von Altlastverdachtsflächen, dargestellt am Beispiel aus Bochum (Veröffentlichung im Winter 1991). Vogel Verlag, Würzburg.
- (6) BORRIES, H.-W. u. H. HÜTTL, 1990:  
Altlasten - Unbedenklichkeitsprüfung, Umwelt-Informationen aus "höchster Sicht". In: Technologie Report Ausgabe November 1990, S. 7 - 8, Essen.
- (7) DODT, J., 1974:  
Luftbildauswertung durch "Indikatoren". Möglichkeiten und Grenzen der Datengewinnung für die Raumplanung. In: Vermessungswesen und Raumordnung, 36. Jahrgang, S. 433 - 444.
- (8) DODT, J., BORRIES, H.-W., ECHTERHOFF-FRIEBE, M u. M. REIMERS, 1987:  
Die Verwendung von Karten und Luftbildern bei der Ermittlung von Altlasten. Ein Leitfaden für die praktische Arbeit. Im Auftrag des Ministers für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW, Teil 1 u. 2, Düsseldorf.
- (9) HUBER, K. u. P., VOLK, 1986:  
Deponie- und Altlastenerkundung mit Hilfe von Fernerkundungsdaten. In: Wasser und Boden, H. 10 S. 509 - 515.
- (10) JÄGER, H., 1969:  
Historische Geographie, Braunschweig.
- (11) KINNER, U.H., KÖTTER, L., und NICLAUSS, M., 1986:  
Branchentypische Inventarisierung von Bodenkontaminationen - ein erster Schritt zur Gefährdungsabschätzung für ehemalige Betriebsgelände. Texte 31/86. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit-Bodenschutz-Forschungsbericht 10703001 IBA-FB 86 - 016, Hg. v. Umweltbundesamt Berlin.
- (12) Kommunalverband Ruhrgebiet (KVR), Hg., 1989:  
Erfassung möglicher Bodenverunreinigungen auf Altstandorten. Arbeitshefte Ruhrgebiet, A 039. Essen.
- (13) STRATHMANN, F.-W., 1985:  
Multitemporale Luftbildinterpretation in der Stadtforschung und Stadtentwicklungsplanung. Methodische Grundlagen und Fallstudie München-Obermenzing. In: Münchener Geographische Abhandlungen, hg. v. H.G. Gerloff-Ermden u. F. Wilhelm, Bd. 34, München.

Beprobungslose Verfahren zur Identifikation von  
Altlastenverdachtsflächen

F. Seiff

WIB Weltraum-Institut Berlin GmbH

Zusammenfassung / Summary

Von verlassenen oder stillgelegten Ablagerungsplätzen, Mülldeponien und aufgegebenen Industriestandorten mit Produktionsrückständen gehen Gefährdungen für Boden, Grundwasser und Luft aus. Sowohl die Standorte als auch die abgelagerten Stoffe sind weitgehend unbekannt. Dies gilt insbesondere für die neuen Bundesländer. Moderne Fernerkundungsmethoden können wesentlich zur Bearbeitung dieser Problematiken eingesetzt werden. Besonders hervorgehoben wird in diesem Zusammenhang der Einsatz eines Thermalscanners zur Erfassung von Wärmeanomalien der Erdoberfläche. Damit wird es möglich, durch Fernmessungen chemisch-biologische Prozesse nachzuweisen, die einen Hinweis auf Altlastenverdachtsflächen geben.

The abandoned or closed dumps, waste disposal sites, and given up industry areas with their residues are dangerous for the ground, groundwater, and air. In the most cases, the locations as well as the deposited materials are unknown, especially in the new countries of the F.R.G. For solving these problems it is possible to use modern remote sensing methods. In this connection the use of a Thermal Scanner which registrates the ground temperature anomalies should be mentioned. By means of this remote sensing method it will be possible to detect the chemical biological processes which give information, where the abandoned polluted areas are situated.

**1. Einleitung**

Die Identifizierung von Altlastenverdachtsflächen ist ein äußerst komplexes Aufgabengebiet, da die Anzahl von Gefahrenstoffen annähernd beliebig ist. Die "in-situ" Untersuchung der Standorte ist sehr kostenintensiv. Es ist deshalb erforderlich, Verfahren zu entwickeln und anzuwenden, die eine kostengünstige, schnelle und gleichzeitig möglichst sichere Identifizierung von Altlastenverdachtsflächen zulassen.

## 2. Methodische Vorgehensweise

Um der Vielfältigkeit der Altlastenproblematik gerecht zu werden, ist eine einzige Meßmethode nicht ausreichend. Vielmehr muß versucht werden, mit einer Reihe von sich ergänzenden Methoden eine möglichst eindeutige Aussage treffen zu können. Folgende Verfahren bieten in geeigneter Kombination eine gute Grundlage zur Altlastenerfassung:

- a) Auswertung von historischen und aktuellen Luftbildern
- b) Erfassung und Auswertung von digitalen Scannerdaten im sichtbaren Spektralbereich
- c) Thermalanalyse der Erdoberfläche mit IR-Scanner
- d) Luftgestützte Methankonzentrationsmessungen
- e) Luftgestützte Magnetometermessungen

### Auswertung von Luftbildern

Es gibt verschiedene Arten von Bildmaterial, die je nach Aufgabenstellung zur Identifizierung von Altlastenverdachtsflächen beitragen können. Für großflächige Anwendungen sind Satellitenbilder geeignet. Durch die Auswertung von verschiedenen Spektralbereichen lassen sich thematische Aussagen erzielen. Die multitemporale Auswertung gibt Hinweise auf Veränderungen, die wichtige Indizien für eine Umnutzung von Gebieten sein können.

In vielen Fällen sind kleinere Gebiete zu untersuchen. Hierfür bieten sich Luftbilder (historische und aktuelle) an. Sie gestatten eine merklich höhere Auflösung gegenüber Satellitenbildern. Damit wird es möglich, auch kleinste Details, die für eine Altlastenerfassung notwendig sein können, zu erfassen. Luftbilder können in verschiedenen Spektralbereichen aufgenommen werden und gestatten damit auch eine thematische Auswertung.

Eine einfache und damit kostengünstige Methode ist die Aufnahme eines Untersuchungsgebietes mit einem normalen Videosystem. Damit läßt sich mit relativ guter Auflösung ein Datenmaterial liefern, das für eine überblicksmäßige Bewertung von Testgebieten völlig ausreichend ist.

### Erfassung digitaler Daten im sichtbaren Spektralbereich

Durch den Einsatz von räumlich und spektral hochauflösenden Scannersystemen lassen sich wertvolle Informationen über den Zustand der Vegetation gewinnen. Man kann davon ausgehen, daß die Schadstoffe einer Altlast sich auch auf die umgebende Vegetation auswirken. Als Beispiel kann hier die spektrale Verschiebung der Chlorophyll-Absorptionskante angeführt werden. Damit bietet der Scannereinsatz eine weitere Möglichkeit zur Erfassung von Altlastenverdachtsflächen.

Ein geeignetes System für derartige Untersuchungen ist z.B. der CASI-Scanner der Firma ITRES. Er arbeitet im Spektralbereich von 400 - 900 nm mit einer Auflösung von 1,8 nm. Die räumliche Auflösung ist abhängig von der Flughöhe. Die beste Bodenauflösung beträgt 1 m. Damit ist dieses System hervorragend zur Vegetationsanalyse einsetzbar.

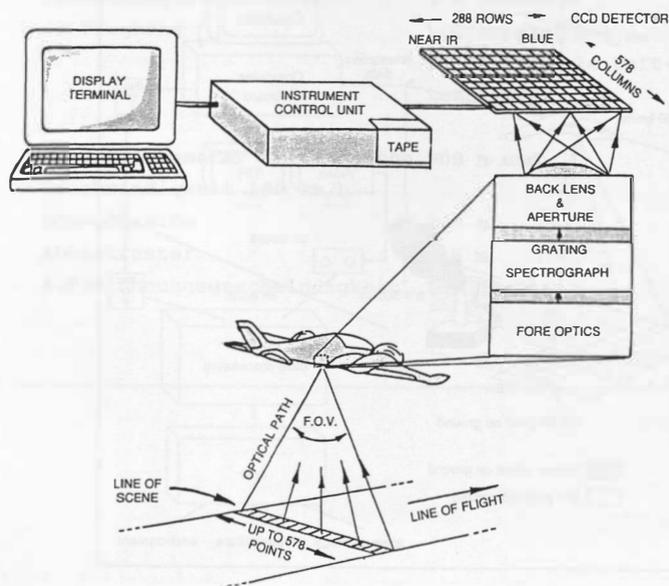


Abb. 1 CASI-Experiment schematisch

### Thermalanalysen der Erdoberfläche mit IR-Scanner

Exotherme Prozesse in Altlasten, wie z.B. biochemische Prozesse im Hausmüll, führen zu einer Erwärmung des Altlastengebietes. Da die Mehrheit aller Deponien und wilder Ablagerungen Hausmüll enthält, bietet der Nachweis dieser Wärmeanomalien ein weiteres Indiz für Altlastenverdachtsflächen. Bodenuntersuchungen an bekannten Deponien zeigen, daß die Temperaturen im Deponieinneren zwischen 30 und 70 °C liegen. Zur Untersuchung der Aussagefähigkeit der Methode wurden von der WIB GmbH, der Freien Universität Berlin und dem Institut für Kosmosforschung erste Experimente durchgeführt. Das IR-Scanner System befand sich an Bord einer Cessna C207. Neben dem IR-Scanner wurde ein Videokamerasystem eingesetzt, um die Zuordnung der IR-Daten zu erleichtern. In Abbildung 2 ist das Fernerkundungsexperiment schematisch dargestellt.

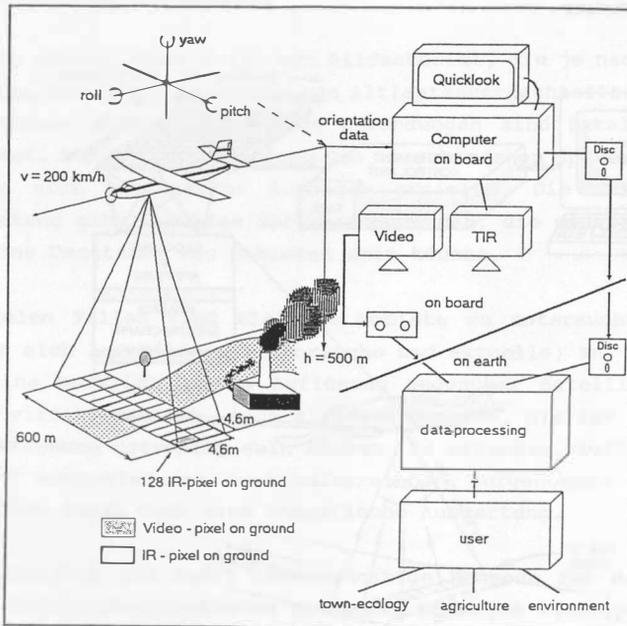


Abb. 2 Schematische Darstellung des Fernerkundungsexperimentes

Die technischen Daten des Scanners sind in Abbildung 3 dargestellt.

|   |   |
|---|---|
| Spektralbereich   | 8 ... 14 $\mu\text{m}$  |
| Temperaturauflösung   | 0,1 K (0-37 °C)   |
| Analog-Digital-Umsetzer   | 12 bit  |
| FOV   | 1 rad (57,29 °)   |
| IFOV  | 11 mrad (0,63 °)  |
| Scan-Frequenz   | 12 Hz   |
| Pixelzahl/Zeile   | 128   |
| Stromversorgung   | 220 V, 50 Hz, 1,1 A<br>oder<br>115 V, 400 Hz, 2,2 A                   |
| Grenzeinsatztemperaturen<br>in Flughöhe                                     | 8 °C minimale<br>Lufttemperatur<br>30 °C maximale Luft-<br>temperatur |
| <b>Einsatzparameter bei Flughöhe 500 m und<br/>Geschwindigkeit 180 km/h</b> |   |
| Schwadbreite  | 600 m   |
| Abtastraster  | 5 m   |
| Aufzeichnungsgeschwindigkeit  | 180 ha/min  |

Abb. 3 Technische Daten des IR-Scanners

Die Bodenauflösung des Thermalscanners ist abhängig von der Flughöhe und der Geschwindigkeit. In Tabelle 1 sind typische Werte dargestellt.

| Speed (kt) | Altitude (ft) | Pixelsize (m) | Swathwidth (m) | Speed (km/h) | Altitude (m) |
|------------|---------------|---------------|----------------|--------------|--------------|
| 90         | 1650          | 4.0           | 550            | 165          | 505          |
| 95         | 1750          | 4.2           | 580            | 175          | 530          |
| 100        | 1840          | 4.4           | 610            | 185          | 560          |
| 105        | 1930          | 4.7           | 645            | 195          | 590          |
| 110        | 2020          | 4.9           | 675            | 205          | 615          |
| 115        | 2110          | 5.1           | 705            | 215          | 645          |
| 120        | 2200          | 5.3           | 735            | 220          | 670          |

**Tabelle 1** Flugzeugbetriebsparameter für IR-Scanner-Messung

Neben der reinen IR-Datenerfassung ist die Information über die Lage des Flugzeugs von besonderer Wichtigkeit. Mit der Lageinformation müssen die IR-Rohdaten korrigiert werden, um alle Flugzeugbewegungen zu kompensieren. Dazu wurde ein 2-Kreis-Gyroskop im Flugzeug installiert.

Zur Überprüfung der Aussagefähigkeit von IR-Daten zur Altlastendetektion wurde folgendermaßen vorgegangen:

1. Es wurden Messungen zur Bestimmung der Gerätespezifikationen über einer homogenen Fläche durchgeführt (Müggelsee);
2. Eine aktive Mülldeponie (Schöneiche) wurde befliegen;

3. Eine bereits vor 15 Jahren stillgelegte Deponie (Marienfelde) wurde analysiert.

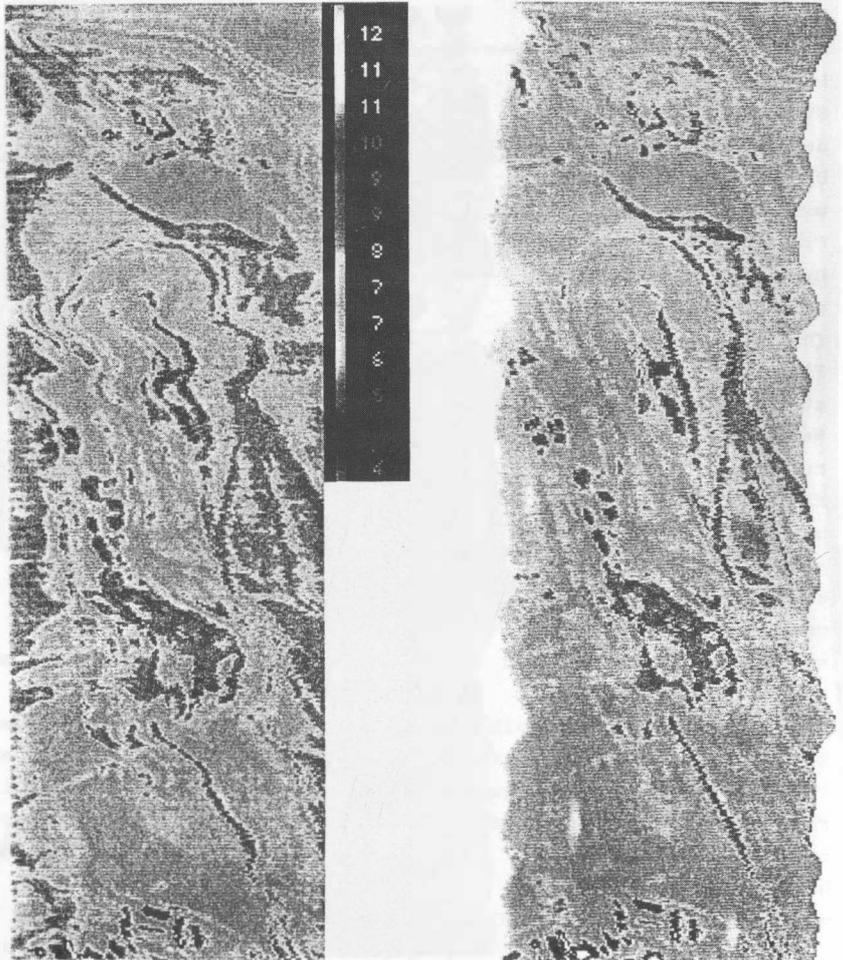
#### Meßergebnisse:

Der Eichflug über den Müggelsee zeigt die Funktionsfähigkeit des Systems entsprechend der Spezifikationen. Die IR-Aufnahme wurde mit den Lagedaten des Flugzeugs korrigiert. Dadurch entstehen die gezackten Bildränder. In Abbildung 4 ist ein Flugstreifen dargestellt. (Die Schwarz-Weiß-Darstellung gibt nur einen ungefähren Eindruck. Die Original-Daten in Farbe sind wesentlich aussagekräftiger.) Die gemessenen Temperaturen konnten durch parallele Bodenmessungen bestätigt werden. Der Einfluß der Atmosphäre führt zu einer Temperaturverschiebung um ca.  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  konstant über das gesamte Meßgebiet.



Abb. 4 Thermalbild Müggelsee

Als offene, in Betrieb befindliche Deponie wurde Schöneicher Plan befliegen. Die Meßergebnisse sind im folgenden Bild dargestellt.



**Abb. 5** Thermalbild Deponie Schöneicher Plan

In der Mitte des Bildes sind zahlreiche dunkle Strukturen zu erkennen. Diese sind lokale Erwärmungen, die ebenfalls durch Bodenmessungen bestätigt werden konnten. Ihre Ursache sind biochemische Prozesse. Im Rahmen dieser Messungen wurde der Einfluß der Witterung auf die Meßwerte untersucht. Es zeigte sich, daß die nach Regenfällen auftretende Verdunstung einen großen Teil der Anomalien ausmittelt. Ebenso führte starke Sonneneinstrahlung zur Verfälschung von Meßergebnissen. Beide Parameter sind jedoch durch die richtige Wahl des Meßzeitpunktes optimierbar.

Als ehemalige Deponie wurde die hauptsächlich mit Bauschutt und Hausmüll gefüllte Deponie Marienfelde ausgewählt. Dieses Gelände ist heute ein Freizeitpark. Die Deponie ist mit Erdreich abgedeckt und bepflanzt.

Das Thermalbild zeigt jedoch auch heute noch die im Innern ablaufenden exothermen Prozesse. In Abb. 6 ist in der Mitte das eigentliche ehemalige Deponiegelände zu erkennen. Parallel durchgeführte Bodenmessungen bestätigen das Fernmeßergebnis.



Abb. 6 Thermalbild Marienfelde

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß durch flugzeuggestützte IR-Fernerkundung deutliche Hinweise auf Altlastenverdachtsflächen gewonnen werden können. Störfaktoren, wie ungeeignete Wetterbedingungen, lassen sich ausschließen.

#### Luftgestützte Methankonzentrationsmessungen

Biochemische Prozesse in Altlasten führen zur Entstehung und zum Entweichen von Methan. Da Methan einen deutlichen Beitrag zum Treibhauseffekt liefert, ist die Kenntnis der Methanquellen wichtig. Mit einem sogenannten Photoakustischen Spektrometer zur Methangaskonzentrationsmessung sind in der WIB GmbH in Zusammenarbeit mit der FU Berlin erste Labormessungen durchgeführt worden. Das System hat z.Z. eine Nachweisempfindlichkeit von 200 ppb Methan. Die ersten Meßeinsätze im Flugzeug sind in Vorbereitung. Es ist geplant, im Berliner Raum Deponien zu befliegen, um das System zu testen.

#### Luftgestützte Magnetometermessungen

Die Detektion von im Erdreich vergrabene Schrott hat in letzter Zeit insbesondere im Hinblick auf militärische Altlasten an Bedeutung gewonnen. Hier werden Verfahren benötigt, die große Flächen in kurzer Zeit mit hinreichender Genauigkeit analysieren. Aus dem Bereich der Erzerkundung gibt es flugzeuggetragene Magnetometersysteme. Im Rahmen einer Vorstudie beschäftigt sich die WIB GmbH mit der Einsetzbarkeit solcher Systeme für die Schrottdetektion. Erste Simulationsrechnungen zeigen, daß die Nachweisempfindlichkeit von kommerziell erhältlichen Systemen ausreichen müßte, um Schrott von der Größe eines PKW nachweisen zu können. Nach der Analyse der Realisierbarkeit sollen erste Meßeinsätze durchgeführt werden.

#### **Schlußbetrachtung**

Wie im vorhergehenden gezeigt, eignen sich eine ganze Reihe von Fernmeßverfahren zur Detektion von Altlastenverdachtsflächen. Jede

Methode hat jedoch Vor- und Nachteile, so daß nur die Kombination mehrerer Methoden zu gesicherten Aussagen führen kann. Unabhängig davon werden "in-situ"-Untersuchungen zur quantitativen Bestimmung von Verunreinigungen nie vollständig zu ersetzen sein. Die Fernerkundung kann jedoch die Gebiete für "in-situ"-Analysen erheblich einschränken und damit kostensparend wirken.

**Verfahren zur Erfassung und Gefährdungsabschätzung  
von Altlastenverdachtsflächen  
und Rüstungsaltposten**

Winfried Welzer

**uve**

**Gesellschaft für Ver- und Entsorgung  
in der Umwelttechnik  
Savignyplatz 4, 1000 Berlin 12**

**Zusammenfassung**

Kriegsflufbilder 1939 - 1945 der Alliierten und der deutschen Wehrmacht spielen bei der Erfassung und Gefährdungsabschätzung von Altlastenverdachtsflächen und Rüstungsaltposten eine immer größere Rolle. Es kommt darauf an, die Kriegsflufbilder aus ökologischer Sicht neu zu interpretieren und die militärische Interpretation in die Gefährdungsabschätzung für Grundwasser und Boden einzubeziehen.

**Conclusion**

War aerial photographs from the years 1939-1945 of the allies and the German army become more and more important with the registration and the potential danger of contaminated area and ammunition stock.

It is essential to judge the war aerial photographs by an ecological point of view and furthermore to take into consideration the military point of view concerning the potential danger of ground and ground water.

Die Bewertung von Militäraltlastenverdachtsflächen und Rüstungsaltslasten bezog sich aus meiner Sicht in den letzten 2 Jahrzehnten in der Regel auf die Bergung und Entsorgung von Fundmunition sowie auf Untersuchungen und Sanierungsmaßnahmen nach Havariefällen im Grundwasser. Die Ursache sehe ich vor allem darin, daß einerseits unmittelbar nach Kriegsende in Deutschland die Kriegsschäden und Gefahrenherde, die infolge von Kampfhandlungen entstanden, zielstrebig mit Hilfe der Siegermächte beseitigt wurden und andererseits sich das ökologische Bewußtsein beim raschen Wiederaufbau und im Streben nach Wohlstand nicht voll entfalten konnte. Die Jahre des kalten Krieges und die unmittelbare Konfrontation zweier Militärböcke in Deutschland haben ebenfalls dazu beigetragen, daß die Aktualität von Militäraltlastenverdachtsflächen in vielen Fällen politisch nicht gefragt war. Meine Gedanken zur Bewältigung dieses Umweltproblem es beziehen sich in erster Linie auf das Territorium der neuen Bundesländer und des Großraumes Berlin, weil meinerseits mehrjährige Erfahrungen der Luftaufklärung, der Luftbildaufnahme und der Umweltkontrolle mit Methoden der Fernerkundung im ehemaligen Institut für Umweltschutz der DDR bezüglich des o. g. Territoriums vorliegen.

Kriegsluftbilder spielen bei der Erfassung und Gefährdungsabschätzung von Altlastenverdachtsflächen und Rüstungsaltslasten eine immer größere Rolle, weil sie aus ökologischer Sicht neu zu interpretieren sind und die militärische Interpretation während des Krieges in die Gefährdungsabschätzung für Grundwasser und Boden einbezogen werden muß.

Die ersten Kriegsluftbilder entstanden bereits 1862 im amerikanischen Bürgerkrieg, als nordamerikanische Ballonfahrer die Verteidigungsanlagen des belagerten Richmond fotografierten. Im Ersten Weltkrieg wurden aus Ballons, Luftschiffen und Flugzeugen heraus Luftbilder hergestellt. Im hartnäckigen Stellungskrieg kam es darauf an, von der beabsichtigten Durchbruchstelle detaillierte Angaben über Bunker, Batteriestellungen, Grabensystem, Straßen und Wege zur Front, zu Depots und Munitionslagern zu erhalten. Mit dem verstärkten Einsatz von Bombenflugzeugen, die im Hinterland Flottenstützpunkte, kriegswichtige Industrieanlagen, Verkehrsknotenpunkte und Truppentransporte bombardierten, machten sich spezielle Flugzeuge zur

Luftbildaufnahme erforderlich. Eine Reihe von Kriegsluftbildern haben ihre historische Rolle bis heute nicht verloren, insbesondere von Flächen, wo der Stellungskrieg tobte.

Im Zweiten Weltkrieg hatten alle kriegführenden Länder in ihren Luftstreitkräften die Waffengattung Aufklärungsflyerkräfte. Zur Vorbereitung und Kontrolle massiver Luftangriffe sowie operativer Handlungen in den Hauptangriffsrichtungen, einschließlich zur Bewertung des gegnerischen Rüstungspotentials, erfolgte die Luftbildaufnahme aus großen Höhen (etwa im Bereich 7 bis 10 km) und mit großformatigen Luftbildkameras (von 18x18 cm<sup>2</sup> bis 30x30 cm<sup>2</sup>), die über optische Brennweiten bis zu 100 cm verfügten. In diesen großen Höhen war die Wahrscheinlichkeit groß, die Luftabwehr (Flak. Höhenjäger) zu überwinden. Es entstanden Luftaufnahmen in den Luftbildmaßstäben von 1 : 7000 bis 1 : 20 000. Die Qualität derartiger Aufnahmen wird unterschiedlich sein, weil meteorologische Bedingungen (Dunst, Nebelbänke, Wolken) und Jahres- und Tageszeit die beeinflussenden Faktoren sind. Zu rechnen ist mit einer Geländeauflösung von 0,5 bis 1 m. Derartige Kriegsaufnahmen (siehe Abb. 1) wurden von 1939 bis 1944/45 vorwiegend von Aufklärungsflugzeugen der westlichen Alliierten erfolgen. In Vorbereitung und mit Beginn von Kampfhandlungen der Roten Armee 1944/45 auf deutschem Staatsgebiet erfolgte ebenfalls durch die sowjetische Luftaufklärung eine zielgerichtete Luftbildaufnahme, die, politisch bedingt durch die Beschlüsse von Teheran und Jalta, sich auf das Territorium der neuen Bundesländer konzentrierte.

Im Zusammenhang damit darf nicht vergessen werden, daß die Luftwaffe der deutschen Wehrmacht zahlreiche Luftaufnahmen für topographisch-kartographische Zwecke, zur Tarnungskontrolle und zur Bewertung der alliierten Luftangriffe hergestellt hatten (siehe Abb. 2).

Nach der Kapitulation des Dritten Reiches im Mai 1945 hatten sich die Siegermächte auch die Luftaufnahmen geteilt. Aus unterschiedlichen Quellen ist bekannt geworden, daß sich z. B. die USA-Militärs einen Teil für das Nationalarchiv Washington sicherten, während die sowjetischen Streitkräfte das erbeutete Material nach Moskau brachten und unter anderem für Lehrzwecke nutzten (siehe Abb. 3).

Vollständigereweise muß erwähnt werden, daß die unzähligen Luftbilder, die im unmittelbaren Bereich der Kampfhandlungen erfolgen wurden, in der Regel kleinformate Luftbilder, zur taktischen Bewertung

herangezogen wurden und im besten Falle zur Dokumentation von Gefechtsberichten genutzt bzw. archiviert wurden.

Schlußfolgernd aus den kurzen Darlegungen kann man einschätzen, daß von den industriellen Ballungsgebieten der neuen Bundesländer in der Regel nur Kriegsaufnahmen der USA und von Großbritannien, die für eine multitemporale Luftbildinterpretation geeignet sind, existieren werden, d.h. von 1939 bis 1945 bei einem Luftbildmaßstab von  $m_b = 1:7\ 000$  bis  $1 : 20\ 000$  und einer Geländeauflösung von  $R = 0,5$  bis  $1$  m. Die Höhenauswertung ist durch die große optische Brennweite (Kammerkonstante) der Luftbildkamern begrenzt.

Die Interpretation von Kriegsaufnahmen gewinnt aus ökologischer Sicht ein zweites Mal an Bedeutung. Kam es bei der ersten Interpretation darauf an, qualitative und quantitative Angaben über den Gegner zu gewinnen, kommt es gegenwärtig darauf an, rüstungsallastenverdächtige Standorte zu erkunden und über eine multitemporale Luftbildinterpretation unter Einbeziehung aller zugänglichen Akten und Informationen eine Erstbewertung vorzunehmen. Beispielgebend dafür ist die systematische Auswertung britischer Kriegsluftbilder durch die Abteilung Photogrammetrie der Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen zur Erkundung von munitionsverdächtigen Arealen in Berlin. In die Interpretation der Kriegsluftbilder werden vorhandene "Ereignismeldungen" der damaligen "Technischen Nothilfe" und der Berliner Polizei einbezogen, die einerseits die Luftbildinterpretation erleichtern, aber andererseits wichtige Hinweise zur Erkundung der Verdachtsflächen geben. Deshalb erscheint es mir wichtig, alle zugreifbaren Gefechtsberichte, insbesondere die das Jahr 1945 und die Schlacht um Berlin betreffen, in die Luftbildinterpretation einzubeziehen. Dazu gehören auch die Informationsberichte der westalliierten Luftaufklärung, die den Zustand der Rüstungsindustrie Deutschlands verhältnismäßig genau einschätzten.

Das Spektrum zu lösender Aufgaben mit Kriegsluftbildern ist vielseitig, wie:

- Erfassen von altlastenverdächtigen Flächen in Ballungsgebieten der Rüstungsindustrie, die nach 1945 liquidiert wurde,
- Erkunden von Kriegsallasten: Munitions- und Treibstofflager, Verteidigungsstellungen,

Feldflugplätze, territorial begrenzte Schlachtfelder (z. B. die Schlacht um die Seelower Höhen im April 1945)

- Aufarbeitung und Rekonstruktion von Umwelthavarien im Boden und Grundwasser
- Durchführung einer gezielten, kostengünstigen Beprobung auf Verdachtsflächen  
(Rüstungsbetriebe, Raum von Kampfhandlungen u. a.) und
- Bestandsaufnahme für die Durchführung Umweltverträglichkeitsprüfungen.

Am praktischen Beispiel einer "zweiten", aus ökologischer Sicht, erfolgten Luftbildinterpretation soll die Notwendigkeit der zielgerichteten Nutzung von Kriegsluftbildern kurz demonstriert werden.

Die in Abb. 1 abgebildete Industrie- und Bahnhofsanlage in Sachsen-Anhalt wurde durch die Bombardierung schwer beschädigt. Im chemischen Großbetrieb wurden neben der Treibstoffgewinnung auch sehr viele Produkte hergestellt, die für die Sprengstoffherstellung notwendig sind bzw. bei der Sprengstoffherstellung als Nebenprodukte abfallen. Der Anfall an Abprodukten wurde über Schluckbrunnen und lokale Vorfluter abgefangen. Der Transport erfolgte hauptsächlich mit Kesselwagen. Allein im Bereich des Verschiebebahnhofs (Gleisdreieck) sind durch die Bombardierung etwa 50 Kesselwagen direkt und weitere 100 mittelbar getroffen worden und ausgelaufen. Die Verfärbung des Bodens deutet darauf hin, daß die Chemikalien und die Treibstoffe in den Boden eingedrungen sind. Das gleiche trifft für die zerstörten Teile des Chemiebetriebes zu.

Bei vielen der Einsatz-/Abfallstoffe und Endprodukte ist es möglich, deren Verhalten im Untergrund zu prognostizieren (Dichte, Flüchtigkeit, Aggregatzustand, Wasserlöslichkeit u. a.). Dazu erscheint es möglich, die vermutliche Schadstoffausbreitung über die lokale Grundwasserflußrichtung zu ermitteln. Bekannt gewordene Havariefälle (Umweltbelastungen) im Grundwasser und im Boden sowie Vegetationsschäden, die man im Zusammenhang mit der schweren Bombardierung bewertet, werden die Analyse dieses altlastenverdächtigen Areals verdichten.



Abb. 1   Kriegsluftbild  
Verschiebebahnhof und chemischer Großbetrieb in Sachsen-Anhalt  
nach der Bombardierung Ende März 1945

Archiv: Luftbilddatenbank Würzburg, Postfach 126, 8700 Würzburg

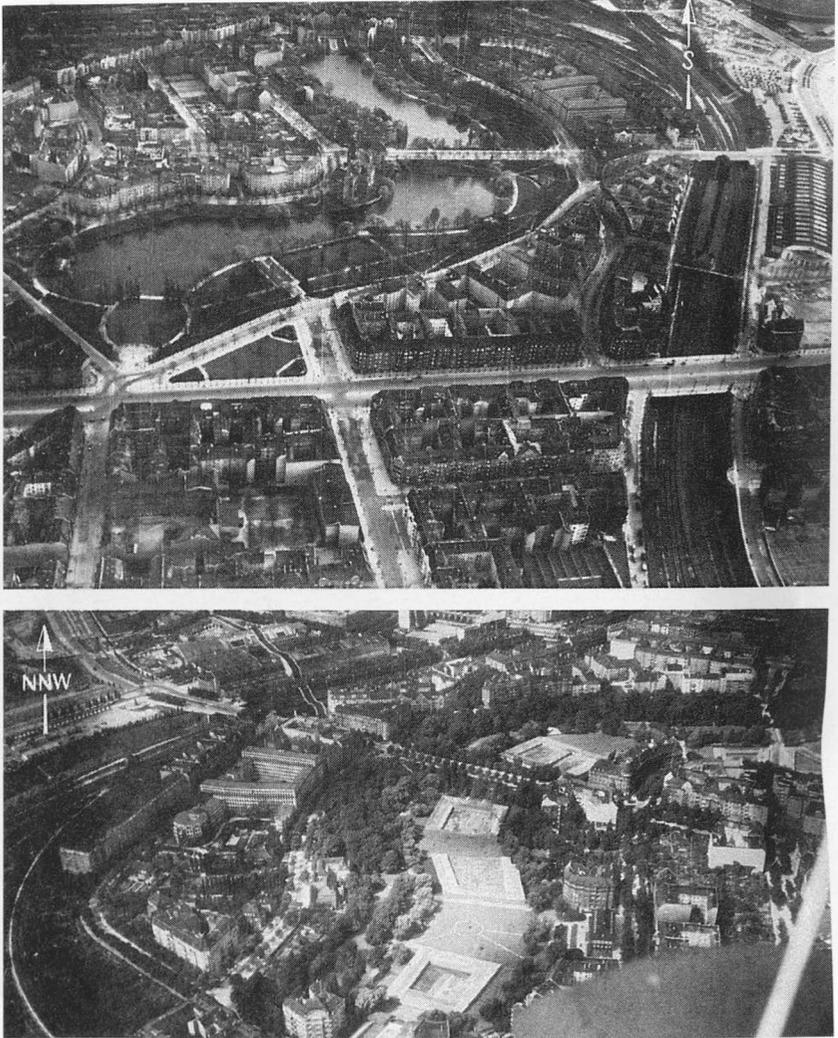


Abb. 2 Tarnungskontrolle

Die obere Abbildung zeigt den Lietzensee am 29. 4. 1941 aus nördlicher Richtung, während die untere Abbildung den getarnten Lietzensee am 25. 8. 1941 darstellt.

Die Tarnung erfolgte als Plätze, Straßen und Gebäude und sollte die angreifenden Bombenverbände irritieren.

Welzer: Luftbilder im Militärwesen

DOI: <https://doi.org/10.2312/zipe.1991.118.01>

Государственный Краснознаменный  
научно-исследовательский Институт ВВС ВС СССР

УКАД-46 №1  
Серия II



-----  
Abb. 3 Kriegsluftbild

Bahnhof Bitterfeld, vermutlich Sommer 1944.

Auf den Gleisen befinden sich: etwa 280 offene Waggons,  
54 geschlossene Güterwagen, 18 Personenwagen, 14 Kesselwagen,  
6 Kühlwagen, 7 Lokomotiven unter Dampf

## Fernerkundung und Umweltgeologie

KÜHN, F. & KRULL, P.<sup>1)</sup>

## 1. Zusammenfassung

Die wirtschaftliche Entwicklung auf dem Gebiet der ehemaligen DDR hat zu einer überdurchschnittlich hohen Belastung der Erdoberfläche, des Bodens und des geologischen Untergrundes geführt. Eine der Ursachen dafür ist die zunehmende Beanspruchung der Erdoberfläche und des geologischen Untergrundes als Deponieraum für eine Vielzahl von Materialien und Substanzen. Nichtoptimale Standortbedingungen sowie Unfälle, Havarien oder auch unsachgemäßer Umgang mit Umweltgiften haben in vielen Fällen zur Schädigung lebenswichtiger Naturressourcen wie Grundwasser, Boden und Vegetation beigetragen.

Für die Erhaltung dieser Ressourcen sind neben der Einführung sicherer Technologien für den Umgang mit umweltschädigenden Substanzen aber auch Methoden gefragt, mit denen in Fällen von Schäden Ausmaß, Richtung und Geschwindigkeit der Ausbreitung schnell und sicher bestimmt werden können.

Desweiteren können natürliche Vorgänge im Untergrund, die bergmännische Gewinnung von Rohstoffen und auch die Nutzung der oberen Erdkruste als Bauraum zu Veränderungen an der Erdoberfläche führen. Laufen diese plötzlich ab, dann sind sie oft mit katastrophalen Folgen für die Bevölkerung, Gebäude, Verkehrsanlagen u.a. verbunden (Erdfälle, Tagesbrüche, Rutschungen). Aber auch langsam ablaufende Veränderungen (Oberflächenabsenkungen, Kluftbildungen) können zur Devastation von Siedlungsbereichen, landwirtschaftlichen Nutzflächen, Industrieanlagen und Naturressourcen führen.

Bisherige Erfahrungen zeigen, daß mit der Geofernerkundung ein Verfahren zur Verfügung steht, dessen Möglichkeiten zur schnellen, billigen und flächenhaften Überwachung des Zustandes von Objekten und Territorien heute bei weitem noch nicht ausgeschöpft werden.

## 2. Aufgaben und Ziele der Fernerkundung im Rahmen umweltgeologischer Untersuchungen

## 2.1. Ursachen für Umweltschäden

Die Ursachen für Umweltschäden bzw. -veränderungen, deren Untersuchung und Beurteilung u.a. mit Methoden der angewandten Geologie erfolgt, können in zwei Gruppen eingeteilt werden.

<sup>1)</sup> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Außenstelle Berlin, Invalidenstraße 44, O-1040 Berlin

Veränderungen des stofflichen Zustandes der obersten Erdkruste werden im allgemeinen verursacht durch

- zunehmende Beanspruchungen der Erdoberfläche und des geologischen Untergrundes als Produktions-, Transport- und Deponieraum,
- nichtoptimale Standortbedingungen für Deponien, Anlagen der chemischen Industrie u.ä.,
- Unfälle, Havarien und unsachgemäßen Umgang mit Umweltgiften,
- militärische Aktivitäten.

Die Folgen sind in der Regel Schädigungen lebenswichtiger Naturressourcen wie Boden, Grundwasser und Vegetation.

In einer zweiten Gruppe werden umweltverändernde Prozesse mit Wirkungen auf die mechanische Stabilität des Untergrundes zusammengefaßt. Dazu gehören u.a.

- natürliche Prozesse und Vorgänge im Untergrund, z.B. Salzablauungen, Verkarstungen,
- bergmännische Gewinnung von Rohstoffen einschließl. Altbergbau,
- Errichten und Betreiben von Ingenieurbauten und untertägigen Anlagen, z.B. Staudämme, Untergrundspeicher.

Als Folgen können Erdfälle, Oberflächenabsenkungen, Rutschungen, gebirgsschlagbedingte seismische Ereignisse, Tagesbrüche, Kluftbildungen u.a. Devastationen auftreten.

## 2.2. Aufgaben und Ziele der Fernerkundung

Die Fernerkundung sollte stets als eine Methode im Gesamtverband eines geowissenschaftlichen Untersuchungsprogramms angesehen werden und am Anfang einer geländebezogenen Aufgabe stehen. Sie bringt in diesen Verband vor allem die Fähigkeit der schnellen und flächenhaften Erfassung der äußeren Merkmale von Objekten und Prozessen an der Erdoberfläche ein. Davon sind folgende grundsätzliche Zielstellungen für die Anwendung von Fernerkundungsmethoden im Rahmen umweltgeologischer Kartierungsaufgaben ableitbar:

- a) Beurteilung des Zustandes eines Geländes im Sinne einer Vorerkundung
  - zur Erfassung der generellen geologischen und geoökologischen Situation im Untersuchungsgebiet,
  - als Voraussetzung für den effektiven und kostengünstigen Einsatz der in der Regel weitaus teureren konventionellen Untersuchungsmethoden, auf die im Normalfall nicht verzichtet werden kann (Geophysik, Geochemie, Bohrungen, ...).
- b) Beurteilung von nicht zugänglichen Regionen wie militärische Manövergebiete, Havariezonen u.ä.

Eine Voraussetzung für die effektive Interpretation von Fernerkundungsdaten ist die Arbeit mit umweltgeologischen Modellen. Modelle können die geologische und geoökologische Situation im Untersuchungsgebiet veranschaulichen, Beziehungen zwischen Einzelgliedern einer Kausalkette aufzeigen, das Verständnis der an der Erdoberfläche ablaufenden Prozesse erleichtern und zur objektiven Beurteilung der Erfolgsaussichten der Fernerkundung im konkreten Anwendungsfall beitragen.

### 3. Anwendungsbeispiele

#### 3.1. Havarie eines Untergrundgasspeichers

Am 28. März 1988 wurde in der Betriebszentrale des Untergrundgasspeichers Teutschenthal ein rasch zunehmender Abfall des Kavernendruckes beobachtet. Eine kurze Zeit später erfolgten im Gelände zwischen der südlichen Begrenzung des Ortes Teutschenthal und der betroffenen Sonde eruptionsartige, mit Schlammfontänen verbundene Ausbrüche des aus dem Speicher entweichenden Ethens. Gleichzeitig bildete sich nordwestlich des Speichers eine Aufwölbungskalotte des stark durchfeuchteten Geschiebemergel-Löß-Komplexes mit Bodenhebungen bis zu 20 cm, wovon Teile des Fundamentes einer Kartoffellagerhalle direkt betroffen waren.

Ursache war, wie spätere Untersuchungen zeigten, eine defekte Schweißnaht in der Rohrtour des im Zechsteinsalinar angelegten Kavernenspeichers, wodurch es zu Gasaustritten und -akkumulationen in den als Sekundärspeicher wirkenden Schichten des Mittleren Buntsandsteins kam. Als die darüberliegenden wasserstauenden Löß-Mergel-Schichten dem Druck aus dem Sekundärspeicher nicht mehr standhielten, kam es zu den Eruptionen an der Erdoberfläche, verbunden mit einer akuten Explosionsgefahr im betroffenen Gelände.

Da eine Begehung des Havariegebietes zur Schadensbeurteilung nicht möglich war, wurde versucht, mit Mitteln der Fernerkundung eine Aufnahme des Schadensumfanges durchzuführen und zur Bereitstellung von Daten für die Erarbeitung einer Schadensprognose beizutragen. Das aktuelle Luftbild war zu diesem Zeitpunkt das einzige Mittel, um die Ausbruchstellen in ihrer flächenhaften Lage zu erfassen und mögliche Beziehungen zu den geologischen Gegebenheiten im Umfeld des Havariegebietes abzuleiten (Abbildung 1).

Die geologischen Verhältnisse im Havariegebiet sind in Abbildung 2 schematisiert dargestellt. Der Kavernenspeicher wurde im Kernbereich des NW-SE streichenden Teutschenthaler Sattels angelegt. Während der NW-Flügel auf Grund der Heraushebung des Sattels im Bereich der Salzauslaugung liegt (sog. Eislebener Niederung mit dem ehemaligen "Salzigen See"), taucht der Südostflügel unter Buntsandstein und Muschelkalk unter. Durch Salzmigration aus der Mansfelder Mulde wurden im Scheitelbereich des Sattels über 1000 m Staßfurt-Steinsalz angestaut. Die Durchschnittsmächtigkeit wird mit 300 bis 500 m angegeben (LÖFFLER 1962). Im Kavernbereich wird die Schichtenfolge des Zechsteins von Unterem und Mittlerem Buntsandstein überlagert (RADZINSKI 1962). Den Abschluß bildet ein ca. 15 m mächtiger Geschiebemergel-Löß-Komplex. Auf Grund der petrophysikalischen Eigenschaften sind das Salinarpaket oberhalb der



Abb. 1: Das Luftbild vom Havariegebiet zeigt in eindrucksvoller Weise die lineare Aufreihung der Ethenausbrüche zwischen der betroffenen Sonde (rechts unten) und einer Lagerhalle südlich des Ortes Teutschenthal (Flughöhe: 1200 m, Brennweite: 152 mm, Aufnahme: 3. April 1988, 16.15 Uhr)

Kaverne sowie die unteren Partien des Unteren Buntsandsteins bis etwa 140 m unter Gelände als stauender Komplex ausgebildet. Darüber folgt der als Grundwasserleiter entwickelte oberste Teil des Unteren Buntsandsteins und der Volpriehausen-Sandstein des Mittleren Buntsandsteins zwischen 140 m und 15 m unter Gelände. Dieser Komplex wird im Teufenbereich zwischen 100 und 75 m durch einen ca. 25 m mächtigen stauenden Horizont zweigeteilt. Über die wahrscheinlich vorhandene Bruchschollentektonik des subsalinaren Untergrundes ist in Ermanglung von Bohraufschlüssen wenig bekannt. Durch die Grubenbaue des Mansfelder Kupferschieferbergbaues weiß man jedoch, daß der subsalinare Untergrund durch ein ausgeprägtes Bruchschollenmosaik gekennzeichnet ist (JUNG 1965), was mit Sicherheit auch auf den Untergrund des Teutschenthaler Sattels übertragen werden kann. Oberhalb der Salzlagerstätte ist auf Grund der puffernden Wirkung des Salzes von diesen Störungen in der Regel nichts zu finden. Lediglich Rupturen mit größeren Sprunghöhen können auch das postsalinare Deckgebirge in Form von Störungen, Flexuren oder Zerrüttungszonen erfaßt haben. Diese sind jedoch bei monotoner lithologischer Ausbildung mit herkömmlichen Kartierungsmethoden nur schwer oder überhaupt nicht lokalisierbar. Hier bietet die Linearanalyse der Fernerkundung eine vielfach bewährte Alternative.

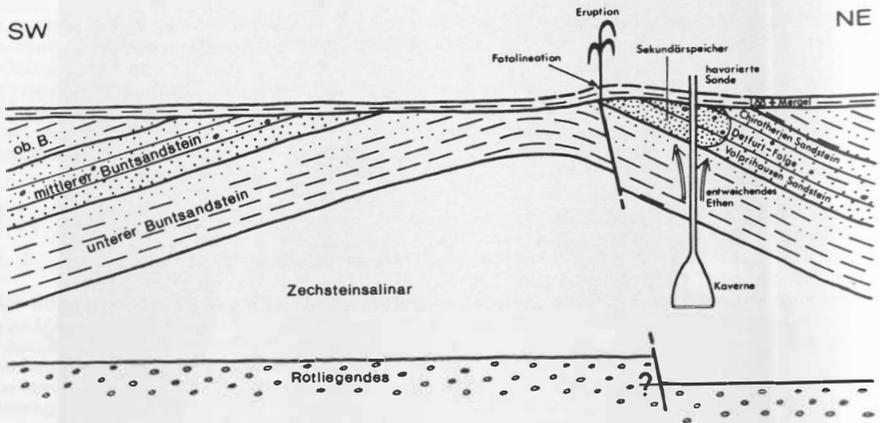


Abb. 2: Geologischer Schnitt vom Untersuchungsgebiet mit einem Modell des Havariegeschehens (schematisiert)

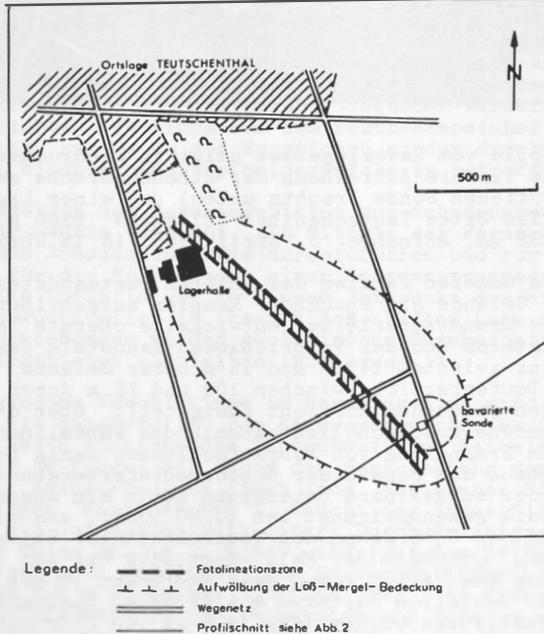


Abb. 3: Ergebnis der Auswertung von panchromatischen Luftbildern und Multispektralaufnahmen aus dem zeitlichen Vorfeld der Havarie

Auf der Grundlage eines geologischen Schnittes wurde versucht, die Havariesituation zu rekonstruieren und insbesondere Ansatzpunkte für die Voraussage weiterer Ethenausbrüche abzuleiten.

Für die Beurteilung des Schadensumfanges wurde eine Neubefliegung mit panchromatischem Luftbildfilm unmittelbar nach der Havarie eingeleitet. Bis zur Vorlage dieser Aufnahmen wurden in einer ersten Auswertephase sämtliche schnell verfügbaren Archivluftbilder (Multispektralaufnahmen v. 23.09.76, panchromatische Aufnahmen v. 05.05.80 und 16.05.86) fotogeologisch ausgewertet. Dabei wurde eine NW-SE-streichende Fotolineationszone erkannt, der offensichtlich eine Auflockerungszone entspricht, die im Buntsandstein unterhalb der Lössschicht wirksam ist. Diese wirkte unmittelbar nach der Havarie als Entlastungszone für das mit enormem Druck in das Gebirge entweichende Gas. Danach wurden in einer zweiten Etappe die zur Aufklärung der Havariesituation angefertigten Luftaufnahmen vom 2. und 3. April 1988 in den Aufnahmaßstäben von 1:7200 bzw. 1:7700 interpretiert. Die Auswertung und Interpretation erfolgte mit dem Ziel, die einzelnen Ethenausbrüche möglichst genau in eine großmaßstäbliche Karte zu übertragen, da das Gelände aus Sicherheitsgründen nicht begangen werden durfte. Desweiteren waren das anhand der Archivaufnahmen kartierte Lineationsmuster zu überprüfen und nach Möglichkeit weitere Indikationen für Störungszonen im Umfeld des Havariegebietes zu finden. Letzteres war für die Beurteilung der Wahrscheinlichkeit weiterer Eruptionen an anderen Stellen erforderlich.

Die Grundaussage der Auswertung und Interpretation mehrerer Luftbildjahrgänge ist in Abbildung 3 dargestellt. Es konnte lediglich eine Lineationszone ausgehalten werden, die mit der Linie, auf der die Ausbrüche erfolgten, zusammenfällt. Offensichtlich handelt es sich bei dieser Lineationszone um ein System von Schichtungs- und Störungslineationen, der die Austrittsstellen des Ethens aufsitzen. Von besonderer Bedeutung für die Prognose des Havariegeschehens war, daß außer dieser einen Lineationszone keine weiteren festgestellt werden konnten. Davon ausgehend konnte die Wahrscheinlichkeit weiterer Eruptionen außerhalb der bestehenden Kraterlinie als sehr gering eingeschätzt werden.

Im vorgestellten Beispiel handelt es sich sicherlich um einen nichtalltäglichen Havariefall. Bei solchen komplizierten Havariesituationen in nichtbegehbaren Regionen ist die Fernerkundung aber oft die einzige Methode zur sofortigen Beurteilung der Situation. Darüber hinaus konnte zur Ableitung von Aussagen zur möglichen Schadensentwicklung in wesentlichen Punkten beigetragen werden.

### 3.2. Beurteilung von Militäraltlasten

In Verbindung mit dem schrittweisen Abzug der sowjetischen Truppen und der Freigabe ehemaliger Liegenschaften der NVA erfolgt gegenwärtig die Rückführung größerer Geländebereiche in die öffentliche Nutzung.

Die Rückführung ist nicht problemlos, da durch den jahrzehntelangen Manöverbetrieb zum Teil erhebliche Belastungen der Umwelt erfolgten. Die durch militärische Übungen verursachten Umweltschäden sind sehr vielfältig.

Besonders häufig sind

- Belastungen des nichtversiegelten Bodens und des Grundwassers durch Öl, Kraftstoff- und Munitionsrückstände,
- Belastungen und Zerstörungen von Vegetation,
- Zerstörungen der Bodenhorizontierung, Bodenverdichtungen im Bereich der Fahrspuren, Dünenbildung.

Da vor allem die sowjetischen Liegenschaften nicht oder nur eingeschränkt begehbar sind, kommt Methoden der Fernerkundung und anderen berührungslosen Beprobungsverfahren bei der Erfassung und Beurteilung der von solchen Gebieten ausgehenden Umweltschäden eine besondere Bedeutung zu. Die Abbildung 5 ist ein Versuch, mögliche Belastungen des Bodens und Grundwassers innerhalb eines Sperrgebietes und Auswirkungen auf das Umfeld zu veranschaulichen. Charakteristisch für fast alle diese Gebiete ist, daß seit mehreren Jahrzehnten bis zur unmittelbaren Gegenwart Umweltveränderungen bzw. -belastungen stattgefunden haben, deren Lokalisierung und Beurteilung nur mittelbar, durch Auswertung und Interpretation indirekter Anzeichen, erfolgen kann (s.a. GLASER, CARLS, DECH u. KÜHN 1991). Dazu stehen folgende Mittel zur Verfügung:

**Satellitenaufnahmen:** Das hochauflösende Satellitenbild ist in vielen Fällen das einzige Mittel, um erste Vorstellungen vom Ausmaß der betroffenen Fläche und den besonders kritischen Gebieten innerhalb dieser zu erhalten. Auf Grund ihrer hohen Bodenauflösungen eignen sich dafür Aufnahmen mit der sowjetischen Weltraumkamera KFA-1000, des französischen Fernerkundungssystems Spot und ferner des amerikanischen Landsat TM.

Die Abbildung 4 zeigt einen Ausschnitt aus einer KFA-1000 - Szene vom 04. Juni 1985 aus 280 km Bahnhöhe. Der Ausschnitt erfaßt die Kyritz-Ruppiner Heide nördlich der Autobahn Berlin - Hamburg. In den aktuellen Karten ist dieses Territorium als geschlossenes Waldgebiet eingetragen. Das neuere Satellitenbild zeigt ein vollkommen anderes Bild: Rodung von nahezu der Hälfte des ehemaligen Waldgebietes, Schießplätze, Stellungen, breite Fahrwege, Anzeichen für Sprengungen, Start- und Landepisten u.a. Besonders auffällig ist ein markanter ca. 1,5 km großer weißer Fleck im Zentrum der Anlage. Hier liegt offensichtlich eine totale Zerstörung der obersten Bodenschichten durch Einschläge von Bomben und Granaten vor. Die detaillierte Auswertung dieser Aufnahmen liefert bereits erste wichtige Angaben über besonders problematische Bereiche innerhalb des Gebietes und den Charakter der davon ausgehenden latenten Gefährdungen.

**Geologische Unterlagen:** Geologische Karten, Bodenkarten, hydrogeologische Karten und andere geologische Unterlagen werden, soweit sie zur Verfügung stehen, zur Rekonstruktion der geologischen Situation im Untersuchungsgebiet herangezogen. In einer Art umweltgeologischen Modell werden die Lagerungsverhältnisse im Untergrund, die Oberkante des Grundwasserspiegels, Grundwasserfließrichtungen und andere Angaben eingearbeitet, die zur Beschreibung der räumlichen und zeitlichen Dimensionen latenter Gefährdungen der Naturressourcen erforderlich sind (vergl. Abb.5).

**Archivmaterial:** Die Auswertung alter topographischer Karten, historischer Luftaufnahmen und sonstiger Unterlagen über die historische Entwicklung des Gebietes gibt Auskunft über mögliche Altlasten im Untersuchungsgebiet, die zusätzlich zu den aktuellen Schäden eine Belastung des Bodens und Grundwassers bewirken. Diese Form der "berührungslosen Erkundung" von Verdachtsflächen wird in zahlreichen Publikationen ausführlich beschrieben (z.B. CARLS u. GLASER 1990; BORRIES, HÜTTL u. CARLS 1991).

**Neubefliegungen:** Neubefliegungen sollten grundsätzlich mit Farbinfrarotfilm im Maßstab von 1:5000 und größer durchgeführt werden. Sie sind oft unverzichtbar, um ein detailliertes Bild vom aktuellen Zustand der sichtbaren Bodenoberfläche und Vegetation zu erhalten. Das Spektrum damit kartierbarer Schäden bzw. Verdachtsflächen ist außerordentlich breit:

1. Zerstörungen des Mutterbodens, Bodenverdichtungen, Indikationen für Infiltrationen von Öl, Kraftstoff- oder Munitionsresten, Behälter, Tanks, Fahrzeugwracks, Indikationen für verdeckte Einlagerungen u. ä.
2. Belastung bzw. Zerstörung der Vegetation in Folge von Bränden und mechanischen Einwirkungen, Vegetationsschäden als Indikatoren für Schadstoffanreicherungen im Wurzelbereich (s. Abb. 5).

Sind alle die oben genannten Informationsebenen ausgeschöpft, dann steht in der Regel, ohne daß das betreffende Gelände betreten wurde, eine Fülle von Material zur Verfügung, dessen Auswertung und Interpretation bereits ein sehr detailliertes Bild seines Zustandes und der davon ausgehenden latenten Gefährdungen zeichnet. Bei Kenntnis der hydrogeologischen Situation im Untersuchungsgebiet werden unter Beachtung von Richtung und Geschwindigkeit des Grundwasserflusses die auf die Umgebung übergreifenden Belastungen und der Zeitpunkt ihres Auftretens vorhersagbar. Abbildung 5 zeigt dazu ein konstruiertes Beispiel der möglichen Bedrohung eines Wasserwerkes durch Schadstoffinfiltrationen in einem benachbarten Sperrgebiet.

Anormale Boden- und Bewuchsmerkmale, die auf die verschiedensten Formen von Umweltbelastungen hinweisen können, sind im allgemeinen bereits auf einfachen CIR-Luftbildern auszumachen (CIR: ColorInfrarot). Eine differenziertere Ansprache würde bei Anwendung multispektraler Aufnahmesysteme unter Einbeziehung des Spektralbereiches größer 1000 nm möglich, beispielsweise zur Unterscheidung von Öl- und Wasserflecken.

Das Schema soll auch verdeutlichen, daß bereits eine sehr vereinfachte Rekonstruktion der geologischen Bedingungen Gefährdungsabschätzungen mit hoher Aussagefähigkeit ermöglicht. Ein Gutachten auf der Basis von Fernerkundungsdaten bzw. von Aussagen mit anderen berührungslosen Methoden sollte deshalb immer die Betrachtung des Gesamtprozesses von der Infiltration der Schadstoffe bis zu ihrem Transport über die Grenzen des Untersuchungsgebietes hinaus einschließen.

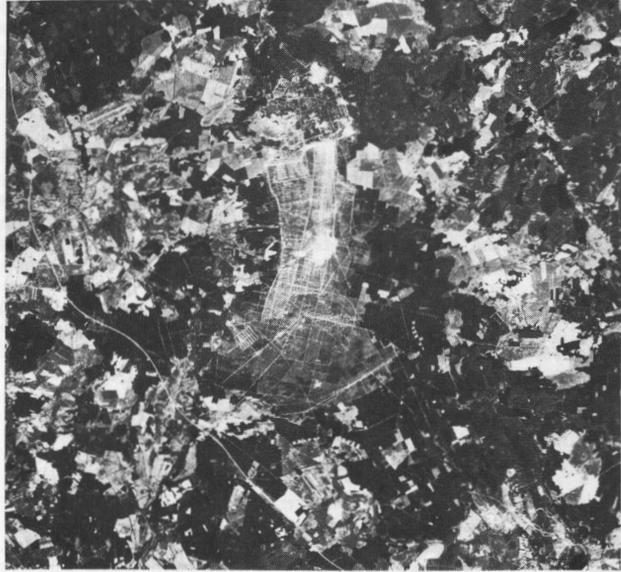


Abb. 4: Ausschnitt aus einer panchromatischen kosmischen Aufnahme mit der sowjetischen Kamera KFA-1000 vom 4. Juni 1985 (NS-Erstreckung des Sperrgebietes ca. 20 km)

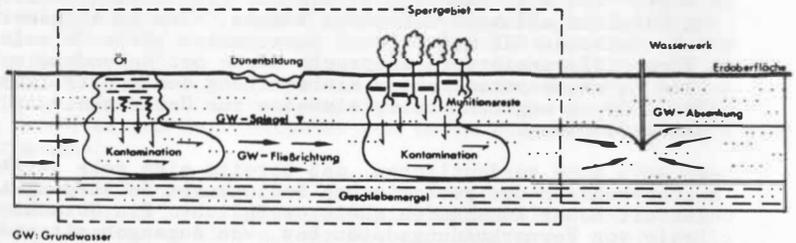


Abb. 5: Schematische Darstellung möglicher Umweltbelastungen bzw. -veränderungen in einem militärischen Sperrgebiet und ihrer Wirkungen auf das Umfeld

## 4. Summary

In recent decades, intensive industrial development has led to an increasing exploitation on the earth surface, the soil and the geological subsoil. In order to preserve natural resources, safe technologies are required to handle environmentally hazardous materials. But equally important are methods to ensure a rapid and sure detection of the scope, direction and propagation speed of damages, if any.

Initial examples of methodical and practical experience have demonstrated that remote sensing can be a useful procedure in this context. Its advantages in a rapid, omnidirectional and cost-effective surveillance of territories and objects, however, have so far by no means been completely exhausted.

In the event of emergency situations, remote sensing constitutes a method which, when applied directly after the incident, can make substantial contributions towards assessing the situation without delay and improving the objectiveness of decisions taken with regard to damage restriction and forecast.

## 5. Literatur

- BORRIES, H.-W.; HÜTTL, H. u. CARLS, H.-G.: Erfassung und Erstbewertung von Rüstungsaltslasten durch Karten, Akten und Luftbildern; in: Tödliche Gefahr aus der Tiefe - Bittere Erkenntnisse zu Kriegs- und Rüstungsaltslasten. Kommunalverlag, Düsseldorf (1991) S. 181-207
- CARLS, H.-G. u. GLASER, R.: Anwendungsmöglichkeiten von Kriegsluftbildern 1940-1945 in der Umweltplanung und Altslastenkartierung. Landschaft und Stadt, Stuttgart 22(1990)1, S. 11-16
- GLASER, R.; CARLS, H.-G.; DECH, S. u. KÜHN, F.: Ökologische Probleme durch Rüstungsaltslasten in der Colbitz-Letzlinger Heide. - Lösungsperspektiven durch Integration von Fernerkundungsdaten. DLR-Nachrichten, (1991)64
- JUNG, W.: Zum subsalinaren Schollenbau im nördlichen Harzvorland. Mit einigen Gedanken zur Äquidistanz von Schwächezonen. Geologie, Berlin 14(1965)3, S. 254-271
- LÖFFLER, J.: Die Kali- und Steinsalzlagerstätten des Zechsteins in der Deutschen Demokratischen Republik. Teil III Sachsen-Anhalt. Freiburger Forschungshefte, Berlin C97/III (1962), 347 S.
- RADZINSKI, K.-H.: Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte der Deutschen Demokratischen Republik 1:25000, Blatt Schraplau 4536, Halle (1962).

## Satellitengestützte Umweltüberwachung bergbaulich betroffener Gebiete

S. Aiblinger, A. Siebert

GAF, Gesellschaft für Angewandte Fernerkundung mbH, München

### Zusammenfassung

Im Rahmen eines laufenden Forschungsvorhabens wird für die Ruhrkohle AG (Essen) ein auf digitalen Satellitendaten (insbesondere Landsat TM) basierendes Informationssystem aufgebaut. Ziel ist eine frühzeitige und flächendeckende Erfassung von Problemzonen, die sich infolge der Nordwanderung des Untertage-Bergbaus im Ruhrgebiet insbesondere in agrar- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen ergeben können (z.B. Bodenvernässungen, Vegetationsveränderungen). Das multispektrale und multitemporale Überwachungskonzept gestattet sowohl eine Dokumentation des Status Quo vor Beginn der Abbauproduktionen als auch eine kontinuierlich fortgesetzte Überwachung für den Zeitraum nach Abbaubeginn.

Die Satellitenbild-Datenbank umfaßt bisher bis zu 19 Aufnahmezeitpunkte für die verschiedenen Untersuchungsgebiete und wird beständig aktualisiert.

### Summary

Within the scope of a research project GAF is installing an information system for Ruhrkohle Company (Essen, FRG) based on digital satellite data. It will be part of a complex Land Information System. The underground coalmining of Ruhr Area is now moving up to the north which is mainly characterized by forest and agricultural landuse. Coal mining activities are expected to affect some areas by changing ecological conditions.

The multispectral and multitemporal approach provides a feasible means of operational monitoring earth's surface and timely detection of problematic zones.

Actually the spectral databank contains up to 19 data sets (Landsat TM) for each test site. The database is continuously extended and updated.

## 1. Einleitung

Der Steinkohlenbergbau an der Ruhr verlagert sich im Zuge der Nordwanderung aus Gebieten hoher Industrie- und Siedlungsdichte in die überwiegend agrar- und forstwirtschaftlich geprägten Räume der Münsterländer Bucht. Eine Lagerstättenerschließung untertage kann, z.B. in Form von Geländeabsenkungen, Umweltveränderungen nach sich ziehen. Bodenvernässungen oder Vegetationsveränderungen in agrar- und forstwirtschaftlichen Flächen sind als Folgeerscheinungen naturhaushaltlicher Veränderungen nicht auszuschließen. Eine routinemäßige Umweltbeobachtung in dem betroffenen Raum ist erforderlich.

Im Rahmen eines laufenden Forschungsvorhabens wird für die Ruhrkohle AG (Essen) ein auf digitalen Satellitendaten basierendes Informationssystem - exemplarisch für zwei Schwerpunktgebiete - aufgebaut. Diese Satellitenbild-Datenbank wird kontinuierlich fortgeschrieben und in das bestehende, konventionelle Monitoring- und Landschaftsinformations-System integriert.

## 2. Satellitengestütztes Monitoring

Um Satellitendaten im Sinne multitemporaler, längerfristiger Überwachung nutzen zu können, sind einige generelle Anforderungen zu erfüllen: Die Verfügbarkeit eines Fernerkundungssystems bzw. mehrerer gleichartiger Aufnahmesysteme sowie eine regelmäßige Wiederholbarkeit der Aufnahmen (in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen) muß gewährleistet sein. Die einzelnen Datensätze sollten in geometrischer Hinsicht möglichst paßgenau vergleichbar sein. Insbesondere zur Minimierung unterschiedlicher Beleuchtungsgegebenheiten und variierender atmosphärischer Störeinflüsse zu den Aufnahmezeitpunkten sind Kalibrierungsverfahren anzuwenden.

Die Vorteile gegenüber CIR-Luftbefliegungen, wie sie von der Ruhrkohle routinemäßig in bestimmten Abständen durchgeführt werden, liegen insbesondere in den erweiterten spektralen Möglichkeiten sowie in einem großen, einheitlich erfaßten Geländeausschnitt. Als Einschränkungen sind zu sehen die relativ geringe geometrische Auflösung der

Satellitensensoren und die große spektrale Bandbreite der Einzelkanäle. Eine erhöhte radiometrische Auflösung (1024 Graustufen) wäre für fein differenzierende Spektralanalysen wünschenswert.

### 3. Multitemporales Überwachungskonzept

Mit Hilfe eines ERDAS-Bildverarbeitungssystems auf PC-Basis wird eine umfangreiche Satellitenbild-Datenbank eingerichtet. Eine übersichtliche Datenstrukturierung erlaubt einen schnellen Zugriff auf vorprozessierte Datensätze verschiedenster Aufnahmezeitpunkte. Frühe Aufnahmezeitpunkte dokumentieren dabei flächenhaft den Landschaftszustand vor Inbetriebnahme einzelner Abbaufelder. Mit Hilfe digitaler Bildverarbeitungsverfahren und anschließender Signaturanalyse für ausgesuchte Testgebiete werden Möglichkeiten und Gültigkeit quantitativer vergleichender Aussagen untersucht. Aufgrund kleinräumiger Landnutzungswechsel sind die Testgebiete oftmals sehr kleinflächig, inhaltlich jedoch relativ homogen.

Schwerpunktmäßig werden Landsat-TM Daten verwendet. Die Zeitreihe reicht im Augenblick vom 25. April 1984 bis zum 14. Juli 1990 (pro Schwerpunktgebiet 16 bzw. 19 Aufnahmezeitpunkte) und wird kontinuierlich erweitert. Verschiedene Kalenderjahre werden, verteilt über die Vegetationsperiode, von mehreren Aufnahmezeitpunkten abgedeckt. Ergänzend kommen SPOT-XS, SPOT-PAN und KFA-1000 Aufnahmen hinzu.

### 4. Datenverarbeitung

Jeder vom Datenvertreiber jeweils routinemäßig vorprozessierte Datensatz wird, getrennt nach den Schwerpunktgebieten, über ein Polynom 2. Grades, bilinearer Interpolation und Resampling auf 10m x 10m Pixelgröße auf das Gauss-Krüger-System transformiert (RMS maximal 0,5). Eine möglichst hohe geometrische Entzerrungspräzision und damit Paßgenauigkeit zwischen den einzelnen Datensätzen wird angestrebt, wenngleich ein pixelweiser multitemporaler Vergleich natürlich nicht möglich ist.

Multitemporale Vergleiche mit Satellitendaten erfordern eine Datenkalibrierung. Für die Eichung des Sensor- bzw. Meßsystems muß davon ausgegangen werden, daß diese in

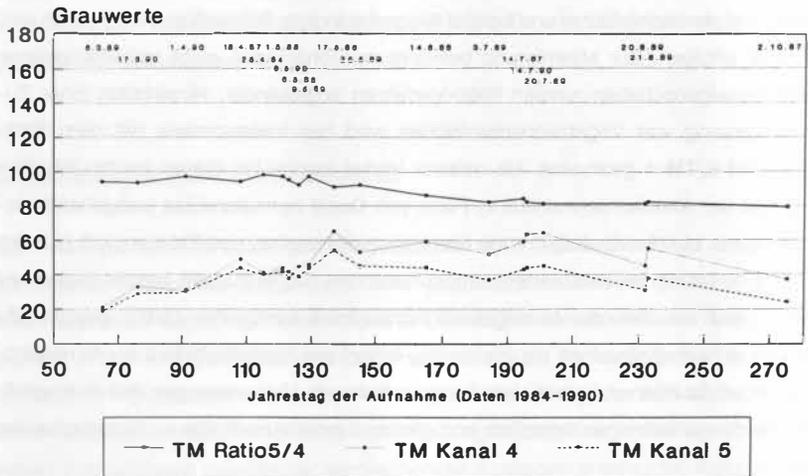
ausreichender Genauigkeit durch die Datenvertreiber gewährleistet ist. Eine Korrektur zur Minimierung atmosphärischer und beleuchtungsabhängiger Störeinflüsse muß durch den Anwender erfolgen. Zur Minimierung beleuchtungsabhängiger, nicht objektbezogener Oberflächeneigenschaften werden Ratio-Verfahren angewendet. Hinsichtlich einer Zustandserfassung von Vegetationsoberflächen wird hier insbesondere mit dem Ratio Landsat TM 5/TM 4 gearbeitet. Als weiterer Vorteil kommt bei diesen beiden Kanälen hinzu, daß der Atmosphäreneinfluß in Form von Dunst normalerweise weitgehend vernachlässigbar ist. Um zusätzlich auch den Informationsgehalt des TM-Kanals 3 (z.B. im Ratio TM 4/TM 3) bei reduzierten atmosphärischen Störeinflüssen besser nutzen zu können, wird zur Zeit die Aussagekraft atmosphärenkorrigierter Daten geprüft. Zu beachten ist hierbei allerdings die (nicht völlig fehlerfreie) Modellhaftigkeit der Atmosphärenkorrektur. So können bereits kleinräumig auftretende Veränderungen des Atmosphärenzustands innerhalb eines einheitlich korrigierten Szenenausschnitts zu Signalvarianzen führen.

##### 5. Datenauswertung und Signaturanalysen

Die Datenauswertung erfolgt - je nach Fragestellung - methodisch unterschiedlich. Sie kann hier nur kurz und beispielhaft angerissen werden. Für eine Überwachung und Dokumentation von parzelleninternen Wachstums- bzw. Vitalitätsinhomogenitäten oder von Vernässungen in agrarwirtschaftlich genutzten Parzellen erscheint für jeweils interessierende Areale eine visuelle Auswertung als ausreichend.

Erheblich schwieriger gestaltet sich die Überwachung längerfristiger, subtiler biochemischer und morphologischer Veränderungen in der Pflanzendecke (z.B. forstliche Bestandesflächen) als Ausdruck nachhaltiger Stress-Symptome, die sich auch in einer Veränderung des Reflexionsverhaltens manifestiert. Dank der Vielzahl von Aufnahmezeitpunkten ergeben sich für vergleichende Signaturanalysen vorwiegend agrarischer und forstwirtschaftlicher Testgebiete folgende Ansatzpunkte:

- a) Spektralverhalten einer Testfläche zwischen 1984 und 1990 (Darstellung sämtlicher Aufnahmezeitpunkte als Zeitprofil innerhalb einer idealisierten Vegetationsperiode):



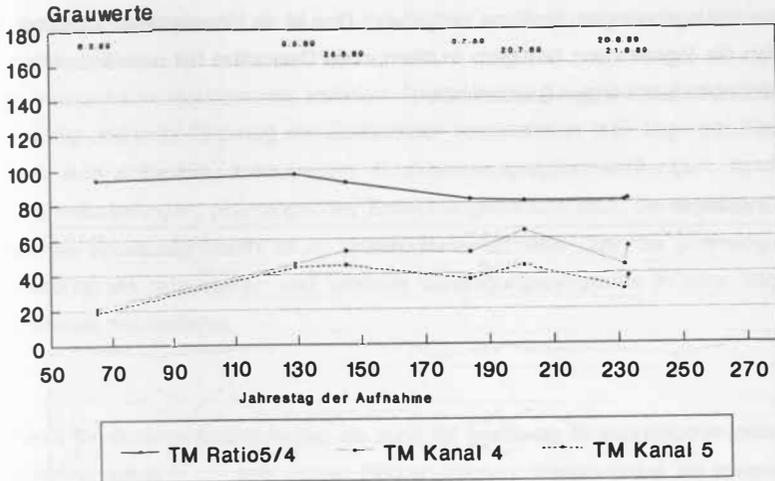
TG: zu 92% 68-jährige Kiefer  
[Maske jeweils individuell angepaßt]

Abb. 1: Spektralverhalten Testgebiet Kiefer im Ratio TM5/TM4 und in den Einzelkanälen TM5 und TM4 (mittlere Grauwerte)

Sowohl in den Einzelkanälen als auch im Ratioverlauf werden phänologisch bedingte Grauwertunterschiede deutlich. Im Vergleich zu Laubwaldoberflächen sind die Veränderungen im Reflexionsverhalten von Nadelbäumen allerdings schwächer ausgeprägt.

b) Spektralverhalten einer Testfläche innerhalb einer realen Vegetationsperiode (z.B. für das Aufnahmejahr 1989):

Abbildung 2 verdeutlicht nochmals den Sachverhalt von Abbildung 1. Ab Mai erhöht sich die Reflexion im nahen Infrarot, während in Kanal 5 die Absorption infolge erhöhten Wassergehaltes in den Nadeln zunimmt. Sollte sich der physiologische Zustand dieser Pflanzengemeinschaft gravierend ändern, so müßte dies auch in einer Änderung des Spektralverhaltens zum Ausdruck kommen.



TG: zu 92% 68-jährige Kiefer  
[Maske jeweils individuell angepaßt]

Abb. 2: Spektralverhalten Testgebiet Kiefer in der Vegetationsperiode 1989  
(mittlere Grauwerte von 7 Aufnahmezeitpunkten)

c) Spektralverhalten einer Testfläche zu phänologisch vergleichbaren Aufnahmezeitpunkten in verschiedenen Jahren:

Betrachtet man bezüglich der Testfläche Kiefer die Aufnahmezeitpunkte vom 14.7.87, 3.7.89 und 14.7.90, so erweist sich das resultierende Ratiosignal bei geringer Variabilität als konstant und deutet auf keinerlei schwerwiegende Veränderungen in diesem Bestand hin. Dies wird durch terrestrische Befunde bestätigt.

Um Intensitätsschwankungen und Variabilität durch jahreszeitliche und beleuchtungsbedingte Einflüsse besser beurteilen zu können, wird auf eine Fabrikdachfläche als Referenzfläche zurückgegriffen. Diese unterliegt keinerlei jahreszeitlicher Oberflächenveränderung und steht über den gesamten Untersuchungszeitraum zur Verfügung.

Die Reflexionsintensität in den Einzelkanälen zeigt auch hier - entsprechend vegetationsbestandenen Oberflächen - klare jahreszeitliche Schwankungen. Dagegen verhält sich das Ratiosignal bei einem Mittelwert von 109,9, einer Standardabweichung von 2,3 und einer Variabilität von 2,1 % relativ konstant (vgl. Abb. 3). Das Ratioverfahren kompensiert

die beleuchtungsbedingten Einflüsse weitgehend. Dies ist als Hinweis darauf zu werten, daß sich die Signalvarianz bezüglich multitemporaler Datensätze bei unveränderlichen Oberflächen in relativ engen Grenzen hält.

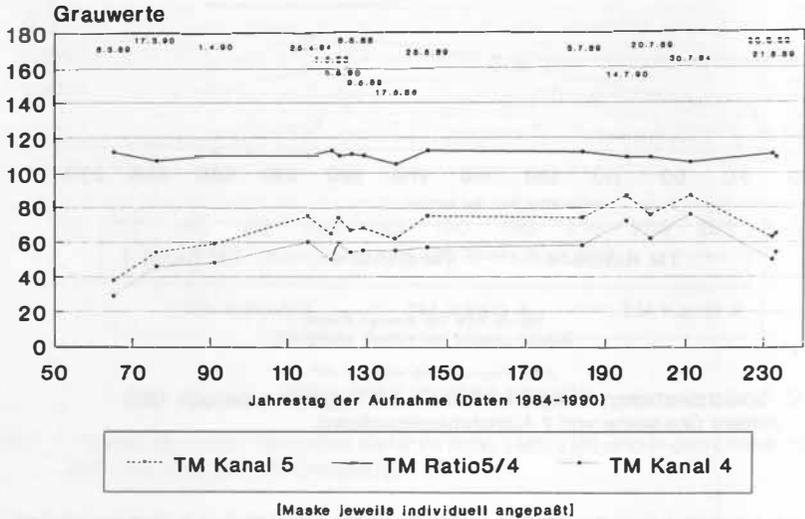


Abb. 3: Referenzfläche Fabrikdach. Einzelkanäle TM4 und TM5 sowie Ratio TM5/TM4 zu allen verfügbaren Zeitpunkten (mittlere Grauwerte)

Die Signaturextraktion erfolgt mit Hilfe von Vektormasken. Diese basieren z.B. auf Forstbetriebskarten und werden so modifiziert, daß der randliche Mischpixelsaum nicht miterfaßt wird. Bezüglich der verschiedenen Datensätze werden sie interaktiv am Bildschirm dann individuell so verschoben, daß in den verschiedenen Datensätzen jeweils möglichst identische Flächen abgedeckt werden.

## 6. Schlußbemerkung

Die Interpretation resultierender zeitlicher Spektralprofile für einzelne Testgebiete ist vorsichtig und unter Einbezug von Zusatzdaten vorzunehmen (z.B. Lage des Testgebietes zum Abbaufeld, Abbaubeginn, Grundwasserspiegelschwankungen, forstliche Zustandskartierungen, phänologisches Entwicklungsstadium etc.). Bei signifikant veränderten Spektralsignaturen ist zu prüfen, inwieweit diese über die phänologische Variationsbreite hinausgehen und wirkliche Schädigungssymptome in einer Vegetationseinheit manifestieren.

Sowohl für Dokumentationszwecke als auch für beständig fortschreibbares aktuelles Monitoring selbst sehr kleiner Flächen können Satellitendaten als integrativer Bestandteil eines komplexen Landschaftsinformationssystem wichtige Zusatzinformationen liefern.

## Ein System des Fernerkundungsmonitorings zur Überwachung von Pipelines

---

HORIG, B. <sup>1)</sup> & KÜHN, F. <sup>2)</sup>

### Kurzfassung

Industrie- und Bergbaulandschaften sind in der Regel mit der Verlegung und dem Betreiben eines weitverzweigten Netzes unterirdisch verlegter Ver- und Entsorgungsleitungen verbunden. Neben den damit einhergehenden Veränderungen des natürlichen Landschaftssystems kommt es besonders dann zu schwerwiegenden Umweltschäden, wenn an Leitungen, die Schadstoffe führen, Leckstellen auftreten.

Gefragt sind deshalb sichere Überwachungsverfahren zur Früherkennung potentieller Leckstellen, um bereits vor Eintritt einer folgenschweren Havarie wirksame Maßnahmen zur Abwehr der damit verbundenen ökologischen Katastrophe ergreifen zu können. Darüber hinaus ist die Erfassung jener Geländeabschnitte von Interesse, in denen infolge früherer Havarien Schadstoffe als Altlasten im Boden verblieben sind.

Als Alternative zu der zeit- und kostenaufwendigen und zugleich außerordentlich unsicheren Praxis der manuellen Begehung und Kontrolle der oft hunderte Kilometer langen Leitungssysteme wurde eine Methodik des Fernerkundungsmonitorings entwickelt und getestet.

An ausgewählten Fallbeispielen aus einem Leitungsnetz für Industrieabwässer werden die methodischen Grundlagen, Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung dargestellt und diskutiert.

### 1. Problembeschreibung

Untersuchungsobjekte sind unterirdisch verlegte Leitungen für die Entsorgung von Abwässern eines Industriebetriebes.

Leckstellen an diesen Leitungen können, wenn sie nicht bereits im Entstehungsstadium erkannt werden, zu weitreichenden Umweltschäden führen. Innerhalb kürzester Fristen würden bei einem Auslaufen dieser Abwässer Vegetation, Boden und die darunterliegenden Grundwasserressourcen zerstört werden. Teilsanierungen wären in diesen Fällen durch einen sofortigen und kostenaufwendigen Bodenaustausch möglich, ein Teil der Schadstoffe verbliebe jedoch jahrzehntelang als Altlast in Grundwasser und Boden zurück.

---

1) Gesellschaft für Umwelt- und Wirtschaftsgeologie mbH, Berlin

2) Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Außenstelle Berlin

Leckstellen konnten bei den in der Vergangenheit verwendeten metallischen Leitungen vornehmlich durch Korrosion entstehen. Bei den heute verwendeten Plasteverrohrungen sind diese Fälle mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen. Im Mittelpunkt der durchgeführten Untersuchungen stand deshalb weniger die Früherkennung von Bereichen latenter Havariegefährdungen, sondern die Erfassung der als Altlasten früherer Havarien im Untergrund verbliebenen Schadstoffe.

## 2. Voruntersuchungen

Ausschlaggebend für die Erkennbarkeit von potentiellen Leckstellen und altlastverdächtigen Bereichen mit Mitteln der Fernerkundung sind sich verändernde Spektralsignaturen beim Übergang von unbelasteten zu belasteten Geländeabschnitten. Da Vegetation im Normalfall als Anzeiger für Umweltbelastungen dient, sollen hier einige Besonderheiten des Spektralverhaltens von Blattvegetation erläutert werden (Abb. 1).

Die typische Spektralsignatur eines gesunden Blattes (Kurve 1) ist durch zwei Reflexionsminima bei 450 nm und 680 nm gekennzeichnet. Diese sind Ausdruck einer verstärkten Lichtabsorption durch Chlorophyll. Grünes Licht wird dagegen weitestgehend reflektiert (Maximum bei 550 nm). Beim Übergang vom roten zum infraroten Wellenlängenbereich kommt es zu einem starken Anstieg der Lichtreflexion (Red Edge = Infrarot-Absorptionskante, Zusammenspiel von Pigmentierung und Ausgestaltung des Zellapparates). Im Wellenlängenbereich von 760 bis 1300 nm wird der größte Teil der einfallenden Strahlung reflektiert. Dafür ausschlaggebend ist die innere Gewebestruktur des Blattes.

Steht die Pflanze unter Streß, z. B. infolge von Veränderungen ihres Lebensraumes (Schadstoffeinflüsse, Wassermangel u. ä.), dann werden die Spektralsignaturen in einer charakteristischen Form deformiert. Das bedeutet, daß die unter Streß stehenden Pflanzen das einfallende Licht anders reflektieren als gesunde. Daraus ergibt sich für die Fernerkundung die Möglichkeit, Pflanzen als Indikatoren zur Erfassung von Umweltschäden zu nutzen. Die Kurven 2 und 3 verdeutlichen die fortschreitende Deformation der Spektralsignaturen von Blattvegetation nach Schadstoffeinwirkung. Dazu wurde die in einem Pflanzenkübel unter angesätem Getreide enthaltene Erde künstlich mit Abwässern versetzt. Die mit dem Spektrometer ermittelten Signaturen zeigen, daß offensichtlich zuerst das Chlorophyll zerstört wird (Kurve 2) und später die innere Zellstruktur, was sich in einer deutlichen Abnahme der Lichtreflexion im nahen Infrarot ausdrückt (Kurve 3).

Kündigt sich eine Havarie durch eine kleine Leckstelle im Rohrleitungssystem an, dann werden die Spektralsignaturen der Pflanzen, wenn auch nicht derart extrem, aber noch meßbar gegenüber der unbelasteten Umgebung, deformiert. Diese Veränderungen der Lichtrückstrahlung können zur Leckstellenfrüherkennung mit Mitteln der Fernerkundung ausgenutzt werden. Das gleiche ist auf die Erfassung von Schadstoffaltlasten anwendbar. Die in Parallelversuchen an präparierten vegetationsfreien Böden bestimmten Spektralsignaturen weisen weiter abgeschwächte, meßtechnisch aber ebenfalls noch feststellbare Helligkeitsunterschiede auf.

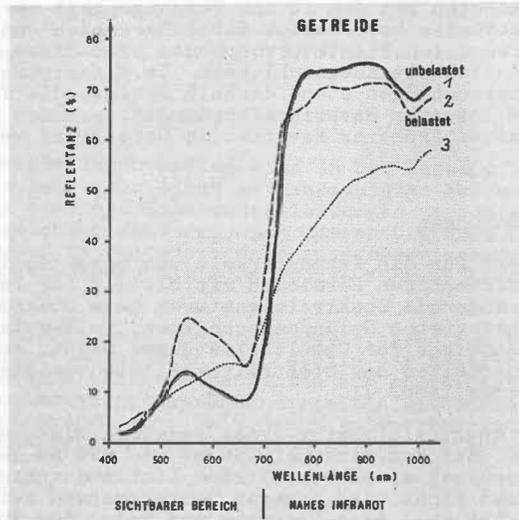


Abbildung 1: Gegenüberstellung der Spektralsignaturen gesunder Vegetation (Kurve 1) und von Vegetation nach Einwirkung von Abwässern auf den Wurzelbereich der Pflanze (Kurven 2 und 3)

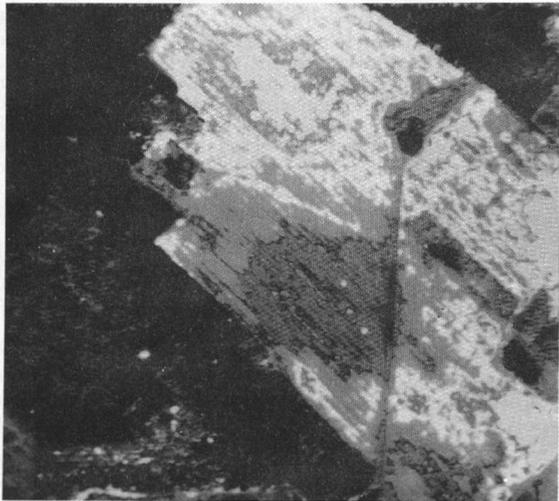


Abbildung 2: Ergebnis der Luftbildbearbeitung am Densitron mit Hervorhebung der Kontur einer havariebedingten Altlast an Abwässern

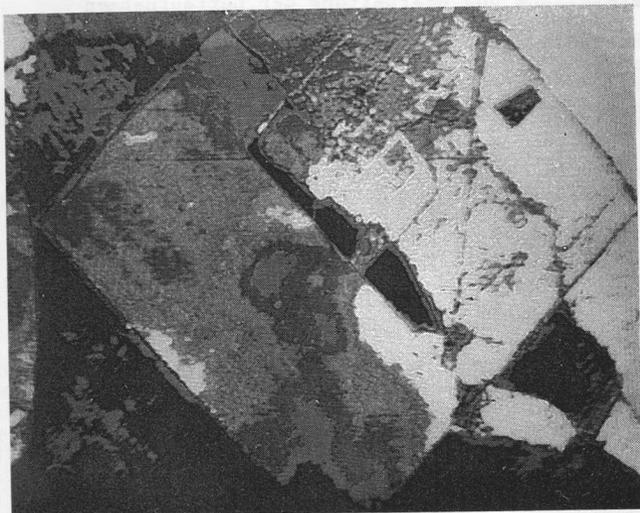


Abbildung 3: Ergebnis einer Luftbildbearbeitung analog Abb. 2 mit der Kontur einer Altlast infolge einer Havarie am Leitungssystem



Abbildung 4: Luftbildbearbeitung mit Indikationen einer Gülleversickerung (A), eines Korrosionsschadens am Leitungssystem (B) und einer von einem Düngelagerplatz ausgehenden Verunreinigung des Bodens (C)

### 3. Herstellung und Bearbeitung der Luftaufnahmen

Zur Herstellung der Luftaufnahmen kam ein Flugzeug des Typs L 410, ausgerüstet mit einer Luftbildmeßkamera LMK-15 und einer Multispektralkamera MSK-4, zum Einsatz. Für die Aufnahmen mit der LMK-15 wurde der Vermessungsfilm VF-45 verwendet. Für die vier Spektralkanäle der MSK-4 wurden Bandmitten von 540 (40), 660 (40), 720 (40) und 840 (100) nm gewählt (Bandbreiten in Klammern). Die Befliegung des Leitungssystems erfolgte am 20. Mai 1989 in 2740 m Höhe. Zusätzlich wurden Archivluftbilder aus früheren Befliegungen in die Auswertung einbezogen.

Für die interpretationsgerechte Bildaufbereitung wurde eine Densitronanlage benutzt. Mit diesem Gerät können auf optisch-elektronischem Wege kleinste Änderungen im Grauton der Aufnahmen sichtbar gemacht und farblich gekennzeichnet werden.

Die Konturierung altlastverdächtiger Flächen und potentieller Leckstellen erfolgte in den meisten Fällen auf der Grundlage des Vermessungsfilms VF-45. Die Multispektralaufnahmen wurden in erster Linie zur Erfassung sehr schwacher Indikationen und zur Unterscheidung nicht auf Abwässer zurückführbarer Oberflächenmerkmale verwendet.

## 4. Fallstudien

### 4.1. Altlasten

Konturen von Schadstoffbelastungen des Bodens, die nach Havarien am Leitungssystem als Altlasten im Boden verblieben sind, zeigen die Abbildungen 2 und 3. Abbildung 2 zeigt die Indikation einer Schadstoffanreicherung im Boden, die ca. 5 Jahre vor Aufnahme des Luftbildes infolge eines Korrosionsschadens entstand. Zum Zeitpunkt der Aufnahme des Luftbildes wies der betreffende Geländeabschnitt eine dichte Vegetationsdecke auf. Für einen bodengebundenen Beobachter sind diese Veränderungen der Vegetation im Bereich des belasteten Geländeabschnittes unsichtbar. Ein analoger Effekt ist auch bei unbewachsenem Boden feststellbar, Abb. 3. Die im Luftbild hervorgehobene Kontur ist die Indikation einer Altlast an Schadstoffen, die 1984 nach einer Havarie am Leitungssystem in den Boden gelangt sind. Das Bild zeichnet den Abflußvorgang der an der Leckstelle ausgetretenen Abwässer in Richtung des Geländetiefsten (rechts unten) nach.

Boden- und Bewuchsmerkmale unterschiedlicher Ursachen enthält das Luftbild in Abb. 4. Auf einem relativ engen Geländeabschnitt konnten Versickerungen von Gülle aus Schweineställen (A), Konturen von Altlasten infolge eines Korrosionsschadens an einer Leitung für Abwässer (B) und einer zwischenzeitlichen Ablagerung von Kunstdünger (C) sichtbar gemacht werden. Im Prinzip eignen sich diese Aufnahmen auch zur Beweisführung bei Ermittlungen der Verursacher von Umweltschäden.

Bei Übertragung aller Indikationen in eine topographische Karte sind sämtliche kontaminierte Geländeabschnitte exakt erfassbar. Sanierungs- und Rekultivierungsmaßnahmen können zielgerichtet angesetzt werden. Zur sicheren inhaltlichen Zuordnung der Luftbild-

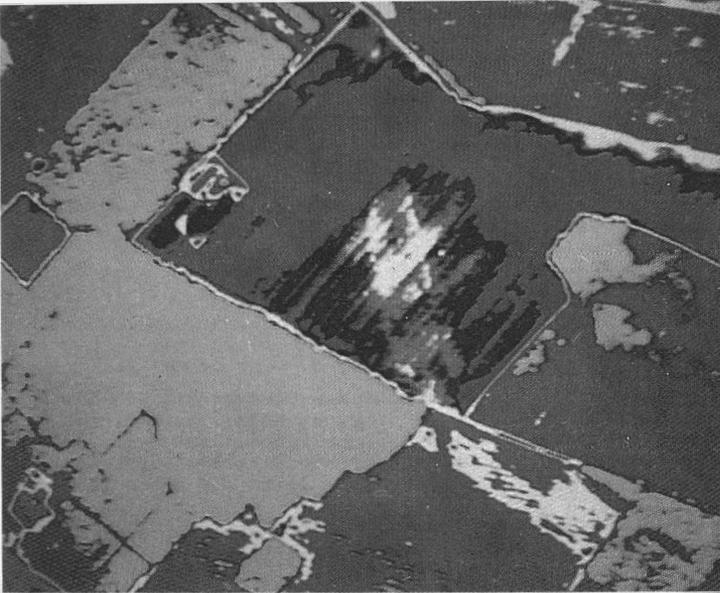


Abbildung 5: Luftbildbearbeitung mit Indikation einer Leckstelle an einer Leitung für Abwässer im Entstehungsstadium

indikationen ist eine parallele Entnahme von Bodenproben stets zweckmäßig.

#### 4.2. Früherkennung von Leckstellen

Oft lange vor Eintritt einer Havarie, die in der Regel mit katastrophalen Folgen für die Umwelt verbunden ist, kündigen sich Leckstellen durch kleinere Risse oder Löcher an. Durch diese gelangen schon Monate vor dem eigentlichen Bruch der Leitung geringe Abwassermengen in den Boden.

Abb. 5 zeigt den seltenen Fall einer Sickerstelle. Bei Feststellung einer derartigen Indikation, für deren Erklärung eine Altlast ausscheidet, ist die Leitung umgehend außer Betrieb zu setzen und eine Bodenprobe zu analysieren. Scheiden danach andere Ursachen wie z. B. Dünger, Gülle, Naßstellen u.ä. aus, dann ist das Leitungssystem zur Suche und Reparatur der Leckstelle freizulegen.

#### 5. Zusammenfassung

Die Einführung der Fernerkundung zur Überwachung von Leitungssystemen für Industrieabwässer trägt zu einer wesentlichen Erhöhung der Aussagesicherheit bei der Suche von Altlasten und in Ausnahmefällen zur Früherkennung von Leckstellen bei. Ihre Anwendung in Form des Monitorings ermöglicht bei Bezug auf einen bekannten Ausgangszustand die laufende Erfassung aller Oberflächenveränderungen im Bereich des Leitungssystems. Während Altlasten infolge früherer Leckstellen von Befliegung zu Befliegung ihre Konturen nur unwesentlich ändern, sind besonders neu erscheinende anormale Boden- und Bewuchsmerkmale von Interesse. Derartige Indikationen sind in der Regel Hinweis für neue Umweltbelastungen und bedürfen einer Überprüfung hinsichtlich ihrer Ursachen.

Der Nutzen, den ein gut funktionierendes System des Fernerkundungsmonitorings bringen kann, ist hoch. Altlasten an Schadstoffen aus früheren Havarien und ihre Ausdehnung können exakt erfaßt werden. Evtl. notwendige Sanierungsmaßnahmen sind damit zielgerichteter und kostensparender ansetzbar.

Bei Streitfällen über die Ursachen der im Untersuchungsgebiet auftretenden Umweltschäden können Fragen der Verantwortung für ihre Beseitigung und von Entschädigungen kompetenter entschieden werden.

## Studien zur Landschaftsdefokussierung als Komponente der Bilddetailinterpretation

F.-W. STRATHMANN

Institut für Geographie der Universität München  
Luisenstr. 37, W-8000 München 2

### Zusammenfassung

Im Rahmen von Untersuchungen des Geländeeinflusses auf die Interpretation von Fernerkundungsaufnahmen wurde das Prinzip der Defokussierung an Geländestrukturen, Landschaftsmodellen und Luftbildinhalten erprobt. Die gewonnenen Bildprodukte wurden durch verschiedene Testverfahren bewertet. Hierbei zeigte sich insbesondere eine Abhängigkeit des Aufbaus der Bildphysiognomie von der objektspezifischen Randüberstrahlung.

### Summary

Within the framework of studies concentrating on the ground influence for the interpretation of remote sensing materials the out-of-focus principle was tested by ground structures, landscape models and aerial photo contents. The image products were evaluated by different methods. In this connection the interdependence between image physiognomy and brightness value overlap was pointed out.

### 1. Einleitung

Ein Teilaspekt der Fernerkundung ist die Beschäftigung mit den sensor- und bildwirksamen Oberflächen des zu erfassenden Geländes. Bei der Gestaltanalyse der *fernzuerkundenden* Landschaftsausschnitte gilt es vor allem, den Einfluß der geographischen Objekteigenschaften zu beschreiben und die Randbedingungen der *Gelände-Bild-Transformation* herauszufiltern. Die hierbei gewonnenen, oft jedoch sensoral, saisonal oder regional begrenzten Erkenntnisse können dann im Rahmen der *Bild-Gelände-Retrospektion* für eine verbesserte Bildinterpretation genutzt werden.

Die Detailwiedergabe von luftsichtbaren Geländeoberflächen nimmt (bekannterweise) zum Beispiel mit kleiner werdenden Bildmaßstäben, geringeren Filmauflösungen oder Kontrastbeeinträchtigungen ab. Demzufolge sind, insbesondere für die Satellitenbildinterpretation, erhebliche Vorkenntnisse über die Strukturierung des Geländes (vgl. u.a. Gierloff-Emden 1989 und Wieneke 1987, 1990) und die Transformationsparameter (vgl. Abb. 1) erforderlich. Zudem müssen bildwirksame Geländecharakteristika anhand der speziellen Bildphysiognomie und somit zum Teil mittels ungewohnter Bilddetailmuster über Testkartierungen und Interpretationsschlüssel herausgearbeitet werden.

Bei dem von vielen Faktoren beeinflussten Transformationsvorgang *Gelände-Sensor-Bild* ist die Defokussierung von Landschaftsgefügen, die *Landschaftsdefokussierung*, ein in allen Fernerkundungsaufnahmen auftretendes Grundprinzip. In enger Verbindung hierzu sind vor allem Überstrahlungseffekte bildprägend.

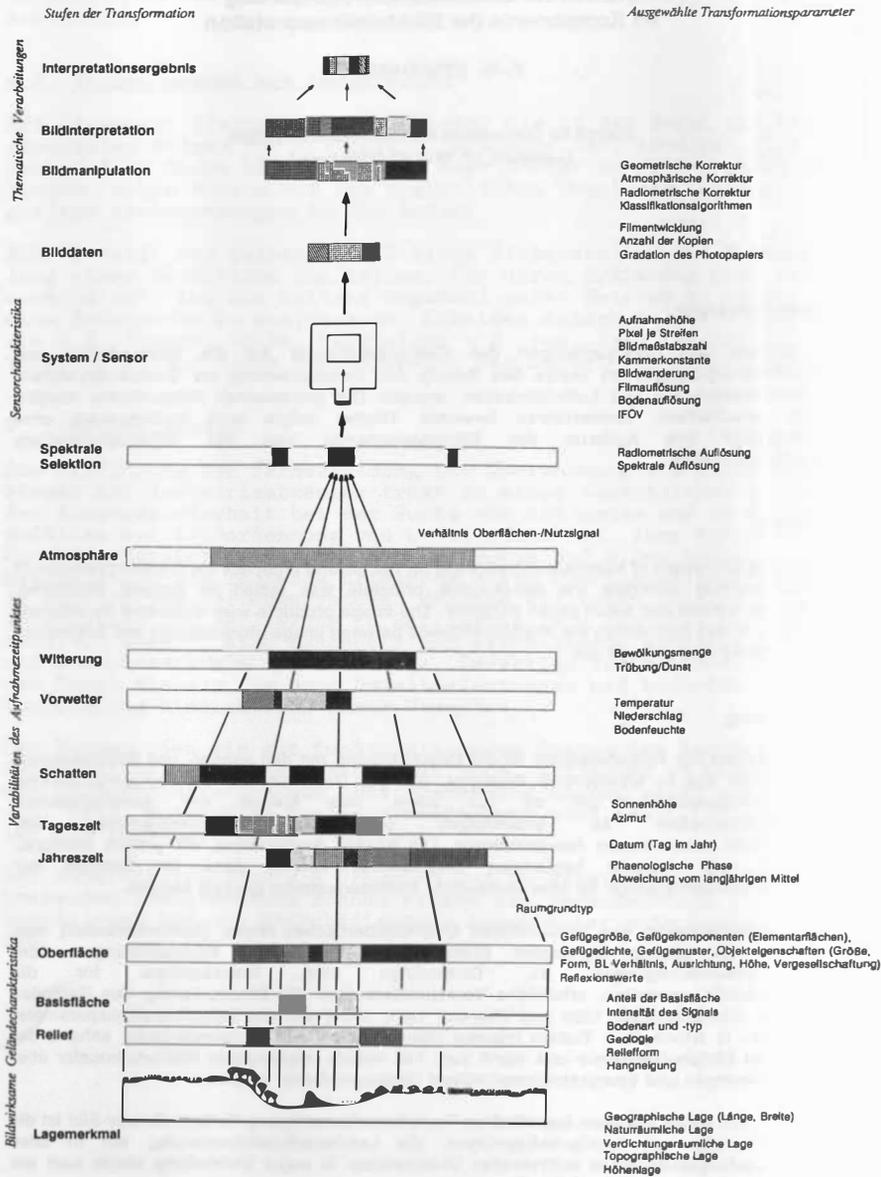


Abb. 1: Variabilitäten der Gelände-Bild-Transformation

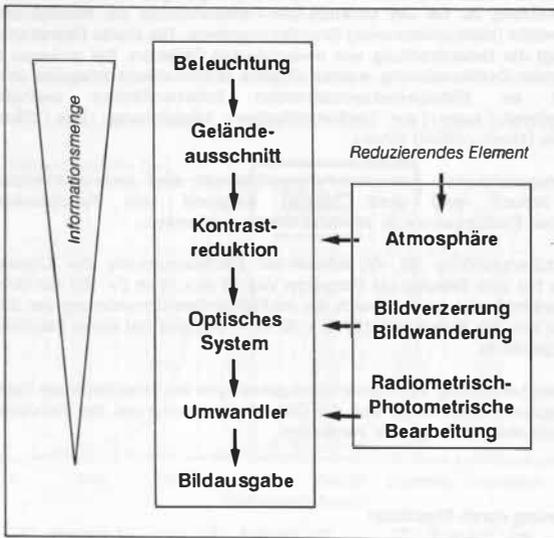
## 2. Zum Prinzip der Defokussierung

Die Defokussierung, ein Fehler bei der Scharfeinstellung von Objekten, ist ein in der Photographie meist unerwünschter Effekt. Bei der Charakterisierung und Auswertung von Satellitenbildgefügen ist diese *Detailunschärfe* jedoch ein wichtiger Schlüssel zur Interpretierbarkeit.

Der Grad der Defokussierung ist bei Fernerkundungsaufnahmen vor allem von der Aufnahmehöhe des Fernerkundungssystems sowie von den Randbedingungen des Aufnahmezeitpunktes (z.B. Beleuchtung, Witterung, atmosphärische Einflüsse) und des Sensors (z.B. Aufnahmeprinzip, IFOV, Spektralbereich, Filter) abhängig. Da die Defokussierung, insbesondere bei Satellitenaufnahmen, eine stark geländeverfremdende Bildphysiognomie erzeugt, sind Analysen über deren Art und Ausmaß, die sich hierbei verstärkenden Bildgrundkomponenten und die raum-, zeit- oder atmosphärenspezifischen Abbildungseigenschaften hilfreich.

Auf dem Weg von der Geländeoberfläche zum interpretierbaren Bild sind zahlreiche, in der Abb. 1 exemplarisch aufgezeigte Parameter der Signal- und Bilddatenbeeinflussung vorhanden. Zu der rein durch Aufnahmehöhe und Brennweite bzw. IFOV bestimmten *geometrischen Defokussierung* tritt die durch Variabilitäten des Aufnahmezeitpunktes, der Atmosphäre, des Sensors und der Bildmanipulation bedingte *radiometrisch-induzierte Defokussierung*.

Wie die Abb. 2 verdeutlicht, werden hierbei u.a. durch Kontrastabschwächung sowie durch Effekte im optischen System und bei der radiometrisch-photometrischen Bearbeitung vielfältige Geländeinformationen auf degradierte Bildinformationen reduziert.



(verändert nach Manual of Remote Sensing, 1983, Fig. 17-9)

Abb. 2: Stufen der Bilddegradation

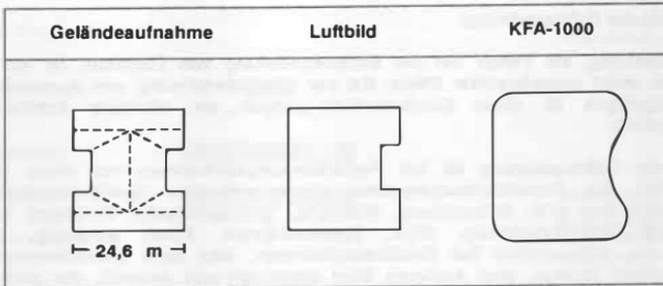


Abb. 3: Entwicklung der Objektschärfe (Hausbeispiel)

Die exakt-geometrische Form eines Objektes (vgl. Abb. 3) wird - u.a. abhängig vom Reflexionsgrad der Oberflächenmaterialien, der Beleuchtungsrichtung, der Schattenlänge, der Anordnung der Objektdetails und der Lage im Bild - überführt in geometrisch-generalisierte, stark kantengerundete Bildobjekte mit unscharfen Abgrenzungen. Dieser Effekt wird bei hellen Objekten durch das bildprägende Transformationselement der Randüberstrahlung (vgl. Kap. 3.2) begleitet.

### 3. Objektbetonung durch Randüberstrahlung

Neben der aus dem Aufbau des Landschaftsgefüges resultierenden Form der Objektverschmelzung ist bei der Gelände-Bild-Transformation die Randüberstrahlung (vgl. Abb. 4) die zentrale (bilddominierende) Grundkomponente. Die starke Überstrahlung einzelner Objekte bedingt die Unterstrahlung von benachbarten Objekten. Bei geringen Objektgrößen und zunehmender Defokussierung werden Objekte radiometrisch integriert oder "aufgelöst". Der Mangel an bildobjektakzentuierenden Schattenflächen und/oder geringer Umgebungskontrast kann zur radiometrischen Angleichung des Bildobjektes an Nachbarobjekte (*Mimikry-Effekt*) führen.

Bei nicht-photographischen Fernerkundungsaufnahmen sind andere Abbildungsprinzipien vorhanden. Jedoch sind auch hierbei aufgrund von Randpixelerscheinungen, atmosphärischen Einflüssen u.a.m. ähnliche Effekte vorhanden.

Mit der Randüberstrahlung ist ein erheblicher Flächenzuwachs der Objektgrundflächen verbunden. So hat zum Beispiel ein Bungalow von 10 m x 10 m (= 100 qm Grundfläche) bei einer Randüberstrahlung von 5 m (nach der maßstäblichen Umrechnung der Bildfläche) eine Größe von 400 qm, ein Hallendach (30 m x 30 m = 900 qm) hat einen Flächenzuwachs von 700 qm zu verzeichnen.

Auch die Gegenüberstellung von Überstrahlungsbeträgen bei verschiedenen Testobjekten und Fernerkundungsaufnahmen zeigt, daß die Objektbreiten aufgrund der Randüberstrahlungen mit kleiner werdendem Bildmaßstab zunehmen.

### 4. Defokussierung durch Simulation

Zur Erfassung der Defokussierungseffekte wurden verschiedene Ansätze gewählt. Neben großmaßstäbigen Landschaftsmodellen wurden auch Ausschnitte aus Luftbildern und Luftbildkarten verschiedener Bildmaßstäbe sowie reale Geländestrukturen, die aus verschiedenen Aufnahmehöhen erfaßt wurden, defokussiert. Hierbei konnte die Bildphysiognomie von photographischen Satellitenaufnahmen bereits bei geringen Aufnahmehöhen (vgl. Abb. 5) mit Hilfe von Luftbildern erreicht werden. Im folgenden werden beispielhaft einige Studien erläutert.

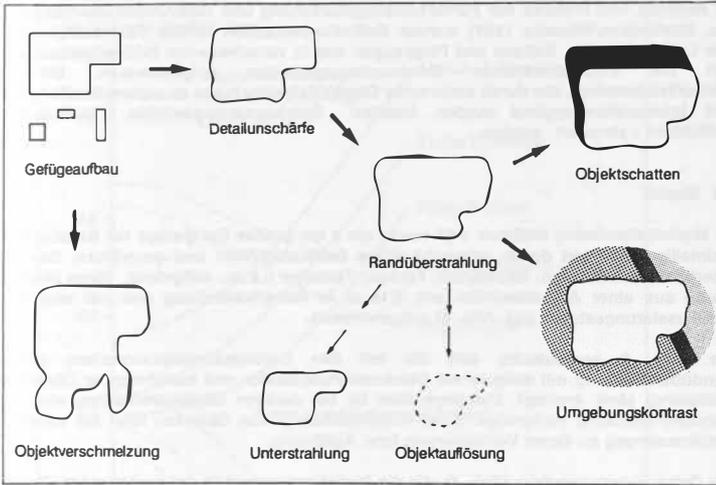


Abb. 4: Grundkomponenten der Bildphysiognomie

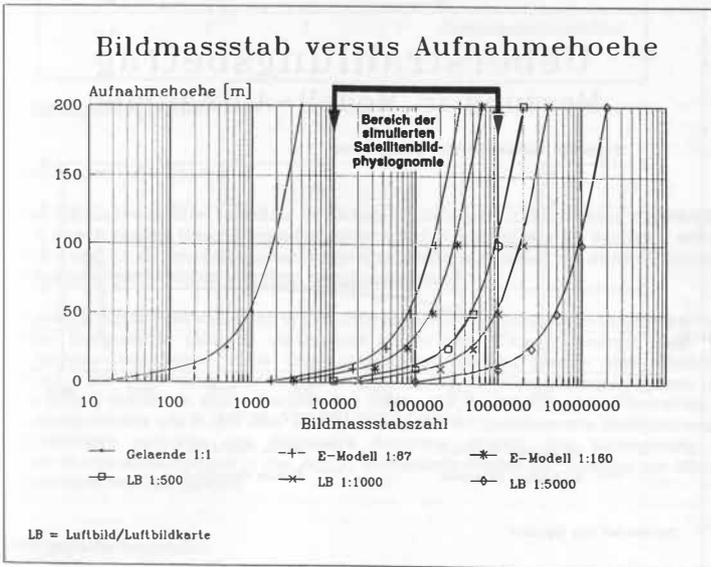


Abb. 5: Simulierte Bildmaßstäbe

#### 4.1 Gelände

Im Rahmen von Praktika zur Fernerkundungskartierung und Geländedokumentationen (vgl. u.a. Strathmann/Wieneke 1987) wurden Geländeoberflächen mittels Senkrechtphotographie von Leitern, Masten, Ballons und Flugzeugen aus in verschiedenen Bildmaßstäben und zum Teil mit unterschiedlichen Defokussierungsgraden aufgenommen. Mit diesen Bildmaßstabreihen, die durch senkrechte Objekt-Nahaufnahmen zu unterschiedlichen Tages- und Jahreszeiten ergänzt wurden, konnten Defokussierungseffekte - insbesondere in Luftbildern - simuliert werden.

#### 4.2 Modeli

Im Modell(eisenbahn)-Maßstab 1:87 wurde ein 2 qm großes Dorfgefüge mit Bahnhofsflächen, kleinteilig gegliedert durch unterschiedliche Gebäudegrößen und -grundrisse, Dachformen, Oberflächenmaterialien, Baumarten, Farben, Texturen u.a.m., aufgebaut. Diese Modellfläche wurde aus einer Aufnahmehöhe von 3,15 m in Scharfeinstellung und mit verschiedenen Defokussierungsstufen (vgl. Abb. 6) aufgenommen.

Die Abb. 6 verdeutlicht, daß die bei den Defokussierungsversuchen gemessene Randüberstrahlung mit steigendem Defokussierungsfaktor und zunehmender *Objekthelligkeit* (Reflexion) stark ansteigt. Demgegenüber ist bei dunklen Objektoberflächen eine *negative* Randüberstrahlung vorhanden. Diese "Unterstrahlung" von Objekten führt bei zunehmender Defokussierung zu deren Verkleinerung bzw. Auflösung.

Die *Defokussierungskurven* (Abb. 7), die die Beziehung zwischen der gemessenen Objektbreite im Bild und dem Defokussierungsfaktor wiedergeben, zeigen ähnliche Kurvenverläufe. Bei sehr hellen Objektoberflächen sind die Kurven stark ansteigend, bei schwach reflektierenden Objekten, die meist noch leicht aufgehellt sind, gering fallend. Bei sehr kleinen Objektbreiten werden bei ansteigender Defokussierung die Testobjekte in der Bildphysiognomie vollständig aufgelöst.

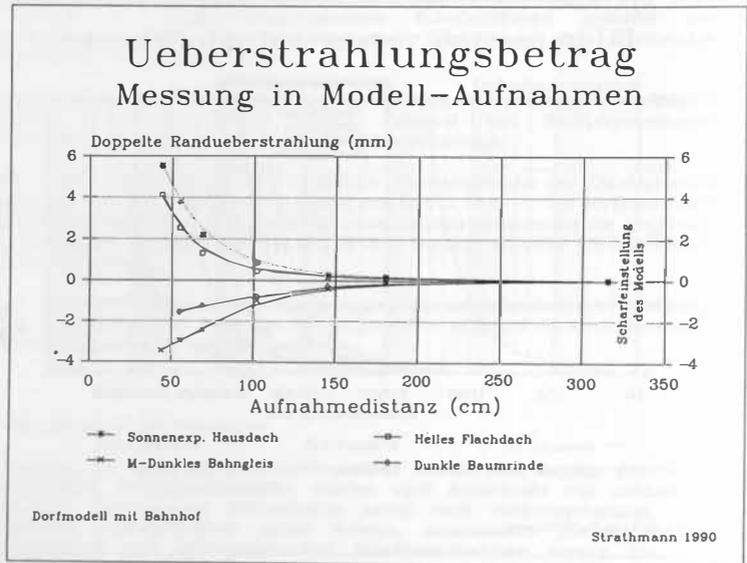


Abb. 6: Überstrahlungsbeträge verschiedener Objekte

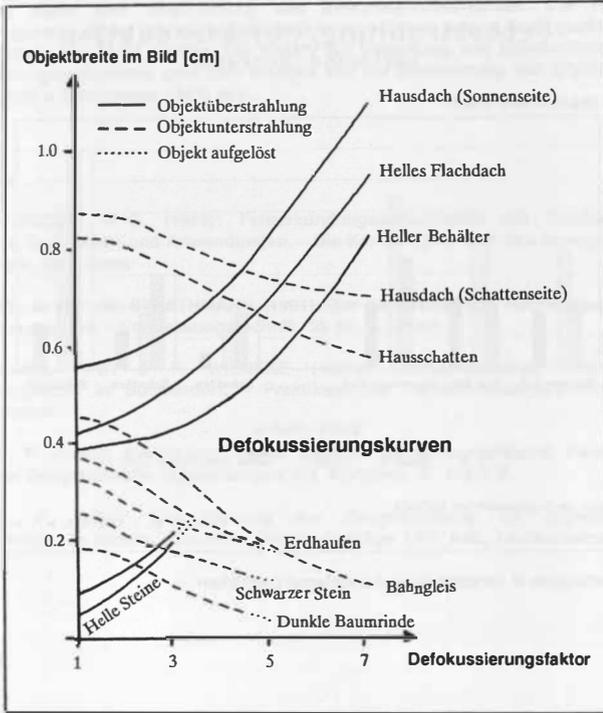


Abb. 7: Defokussierungskurven

### 4.3 Luftbilder und Luftbildkarten

In anderen Versuchen wurden Luftbilder im Maßstab 1:5600 und 1:23000 sowie Luftbildpläne 1:5000 mit verschiedenen Unschärfegraden defokussiert. Aufgrund des im Vergleich mit den Ansätzen 4.1 und 4.2 kleinmaßstäbigeren Ausgangsmaßstabes konnten mit diesen Materialien Detailgefüge von Satellitenbildern optimal simuliert werden.

Das Beispiel der Bildobjektmessungen in den unterschiedlich defokussierten Luftbildern eines Dortmunder Testgebietes (Abb. 8) verdeutlicht die in Kap. 2 beschriebenen Über- und Unterstrahlungserscheinungen. Helle Objektflächen erfahren hierbei eine erhebliche Verbreiterung. Mit Hilfe eines Bildverarbeitungssystemes für Vermessungsaufgaben (Fa. Meinen & Ziegel) wurden in den defokussierten Bildern für fünf digitalisierte Pixelreihen die Reflexionsunterschiede erfaßt. Die Abb. 9 verdeutlicht, daß mit zunehmender Defokussierung die Abgrenzungen zwischen den Bilddetails fließender werden. Die Verringerung der Amplituden (Kurvenabflachungen in der Abb.9) verdeutlicht hierbei die Tendenz zur Bildung von niederfrequenten Übergängen.

### 5. Bild-Gelände-Retrospektion

Kenntnisse über den Aufbau der Bilddetailgefüge können über den Weg der Mustererkennung vermutlich zu einer verbesserten Interpretation führen. Das Wissen um zu erwartende Bildgrundkomponenten, Defokussierungsfaktoren und Beträge der Randüberstrahlung

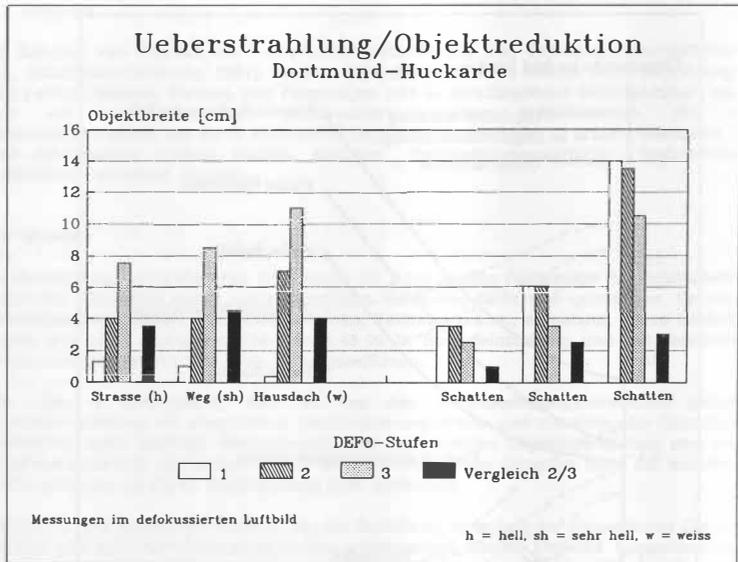


Abb. 8: Objektbreiten in verschiedenen defokussierten Luftbildern

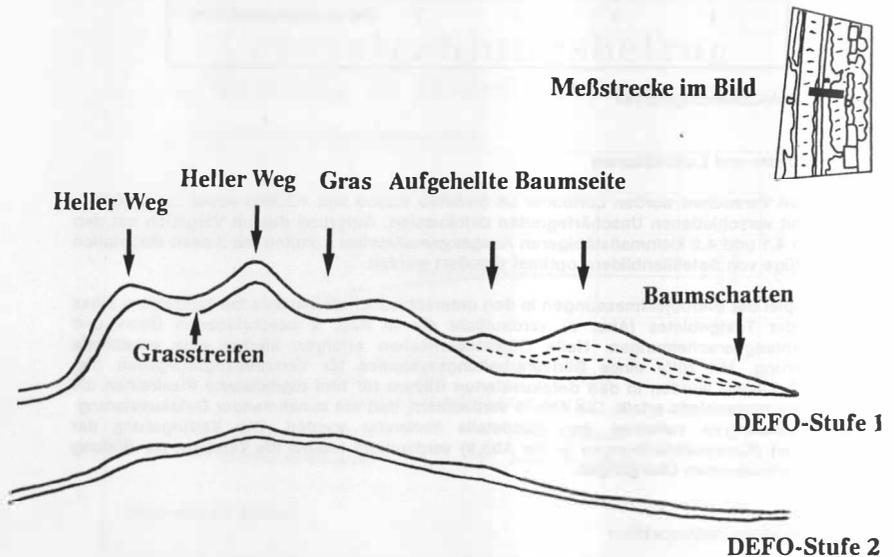


Abb. 9: Messung von defokussierten Bildprofilen

ermöglicht somit eine *Voreinstellung* des Interpretationsansatzes. Die Parameter und Randbedingungen dieser *Informationsrückgewinnung* müssen jedoch noch qualitativ erfaßt und ggf. quantitativ abgeleitet werden. Ein Ansatz zur Bewertung von Informationspotentialen in Fernerkundungsaufnahmen geht zum Beispiel von der Bestimmung von Bilddetailfrequenzen (vgl. Prechtel & Strathmann 1991) aus.

## 6. Literatur

GIERLOFF-EMDEN, H.-G. (1989): Fernerkundungskartographie mit Satellitenaufnahmen. Allgemeine Grundlagen und Anwendungen. - Die Kartographie und ihre Randgebiete, hrsg. v. E. Arnberger, IV/1, Wien.

PRECHTEL, N. & F.-W. STRATHMANN (1991): Zur Bewertung von Hochbefliegungen mittels Bilddetailfrequenzen. - Vermessungstechnik, 39 (3), S. 80-83.

STRATHMANN, F.-W. & F. WIENEKE (1987): Testbefliegungen, Bildanalysen und Geländevergleiche in Buchendorf. - Praktikum zur Fernerkundungskartierung, unveröff. Dokumentation.

WIENEKE, F. (1987): Einführung in die Fachsitzung "Geographische Fernerkundung". - Münchener Geographische Abhandlungen, B4, München, S. 115-116.

WIENEKE, F. (1990): Die Eignung der Fernerkundung für geowissenschaftliche Untersuchungen in Bayern. - Laufener Seminarbeiträge 1/91, ANL, Laufen/Salzach, S. 47-55.

## **Photogrammetrische Messungen an Metric-Camera-Aufnahmen für eine tektonische Analyse des östlichen Zagrosgebiets (Iran)**

Ulrich Münzer, Holger Ernst  
Arbeitsgruppe Fernerkundung (AGF)  
Institut für Allg. und Angew. Geologie  
Universität München

### **Zusammenfassung:**

Der Einsatz von metrischen Kameras im Weltraum ermöglichte erstmals photogrammetrische Auswertungen an kleinmaßstäblichen Stereomodellen für tektonische und strukturgeologische Untersuchungen. An einem analytischen Auswertegerät (Planicom C 100) wurde die Raumlage von Schichtflächen an mehreren Anti- und Synklinalen eingemessen und zu den gewonnenen Meßdaten deren struktureller Aufbau erfaßt.

Eine Darstellung der Schichtflächen in cut-all- Diagrammen ermöglicht quantitative Aussagen zum Verlauf der Sattel- und Muldenachsen und ihrer Abtauchwinkel.

Es zeigte sich, daß vor allem in ariden Gebieten mit dem Einsatz photogrammetrischer Meßmethoden und Geräte aussagefähige Ergebnisse für eine tektonische Analyse auch ohne Geländebegehung gewonnen werden können.

Anhand von kleinmaßstäblichen Metric-Camera-Aufnahmen im Originalmaßstab 1 : 820.000 (STS 9/01-0601-22 und STS 9/01-0602-22), aufgenommen aus einer Höhe von 250km, wurde versucht, tektonische Daten (Streichen/Fallen) mit Hilfe photogrammetrischer Messungen zu ermitteln.

An einem photogrammetrischen Auswertegerät (Planicom C 100 ) wurde die Raumlage der Schichtflächen von mehreren Antiklinalen mittels der Dreipunktmethode eingemessen und deren Streich- und Fallwerte über spezielle Programme errechnet. Damit konnte der strukturelle Aufbau der Sättel für eine weitere Analyse festgestellt werden.

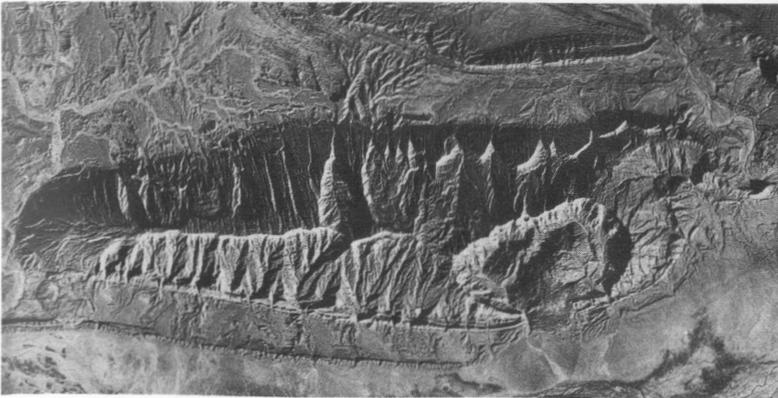
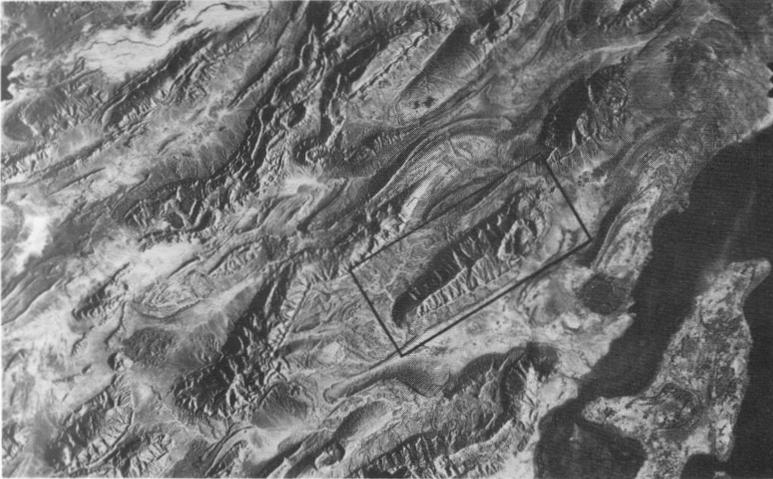


Abb.1: Metric Camera Aufnahme vom 5.12.83  
(c DLR STS 9/01-0601-22) mit dem Untersuchungsgebiet der  
Antiklinalen KUH E GASHU

Das unterschiedlich steile Einfallen der anstehenden Schichtenfolge (Guri Limestone Member) läßt zusätzlich eine Vergenz an den Antiklinalen erkennen. Die Darstellung der Schichtflächen in cut-all-Diagrammen macht quantitative Aussagen über den Verlauf der Sattelachse und ihrer Abtauchwinkel möglich.

Die Antiklinalstruktur von Kuh e Gashu, die 56 km lang ist und einen Höhenunterschied von 150 - 1600 Metern aufweist, ist in drei Teilbereiche (Zentralbereich, E- und W-Teil) untergliedert. Aus den photogrammetrisch ermittelten Schichtmeßdaten konnte in dem Zentralbereich die Existenz einer E-W-streichenden horizontalen Sattelachse ( $\beta$ -Achse 98/00) festgestellt werden. Der W-Teil des Kuh e Gashu zeigt, daß die Faltenachse ( $\beta$ -Achse 287/16) nach Westen hin abtaucht, während der E-Teil der Antiklinale durch eine halokinetisch bedingte Auftriebsstruktur geprägt wird. Die  $\beta$ -Achse im cut-all-Diagramm hat hier einen Wert von 104/30.

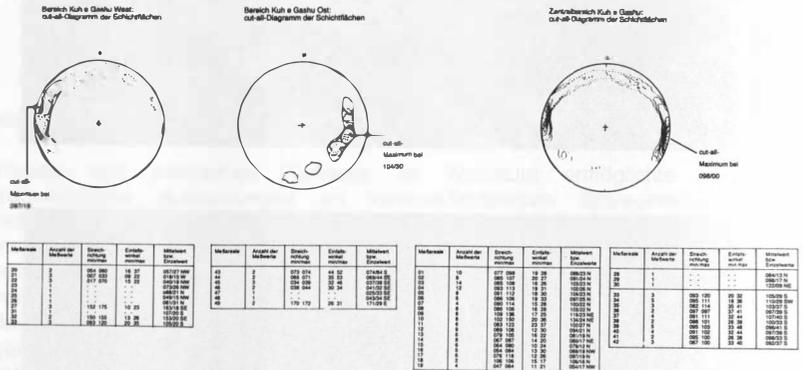


Abb.2: Photogrammetrisch ermittelte Streich- u. Fallwerte und Darstellung in cut-all-Diagrammen zur tektonischen Analyse

An den Antiklinalen von Kuh e Gashu und Kuh e Guniz wurden ferner ausgewählte Testflächen mehrfachen photogrammetrischen Messungen unterzogen. Es handelt sich um die an beiden Flanken der Antiklinalen anstehenden Schichtflächen. Mit Abweichungen (Minimum bis Maximum) von bis zu 10 Grad im Streichen und 7 Grad im Fallen bzw. 5 Grad oder 3 Grad vom gemittelten Wert der mehrfach gemessenen Schichtflächen geben die photogrammetrisch erarbeiteten Daten eine zuverlässige Grundlage für tektonische Strukturanalysen ab.

Ein Vergleich der photogrammetrisch ermittelten Streich- und Fallwerte mit Geländedaten aus Literaturangaben zeigt, daß diese Daten für eine tektonisch-strukturelle Interpretation voll verwendbar sind.

Der Einsatz von MC-Aufnahmen und photogrammetrischen Meß- und Auswertemethoden ermöglicht vor allem in ariden Bereichen mit nur geringer Vegetationsdichte aussagefähige Meßergebnisse für tektonisch - strukturelle Analysen, auch ohne Geländebegehung.

#### Literatur

- FÜRST, M. (1976): Tektonik und Diapirismus der östlichen Zagrosketten.-Zt.Dt.Geol.Ges., 127 (1), S. 183-225, Stuttgart
- FÜRST, M. (1970): Stratigraphie und Werdegang der östlichen Zagrosketten (Iran).- Erl.Geol.Abh.80, 51 S., Erlangen

**Statistische Erfassung von Lineamenten für eine Strukturanalyse von Island**  
**- eine Untersuchung mit Fernerkundungsdaten**

Ulrich Münzer  
 Arbeitsgruppe Fernerkundung (AGF)  
 Institut für Allg. und Angew. Geologie  
 Universität München

**Zusammenfassung:**

Anhand eines Satellitenbild-Mosaiks von Island wurde eine tektonische Struktur-Interpretation durchgeführt. Ausgehend von der Definition des Begriffs "Lineament" von O'Leary et al.(1976) wurden die für Island charakteristischen linearen Strukturen vulkanischen, tektonischen bzw. tektonisch-magmatischen Ursprungs erfaßt. Dabei stützte sich die Lineamentkarte auf Landsat-MSS-Daten der Spektralkanäle 5 (0.6 - 0.7  $\mu\text{m}$ ) und 7 (0.8 - 1.1  $\mu\text{m}$ ) und Landsat-TM-Daten im Kanal 4 (0.76 - 0.90  $\mu\text{m}$ ).

Die Statistische Auswertung ergab 17.632 Lineamente mit einer Gesamtlänge von 69.646 km und einer mittleren Länge von 3,95 km. Die Anzahl bzw. die Länge der Lineamente pro 10°-Sektor wurde in 46 Lineament-Rosen festgehalten. Bei der Interpretation konnten 4 gemeinsame Richtungssysteme festgestellt werden. Sie durchqueren Island vorwiegend im Süden in einer SW-NE-Orientierung, d.h. im Bereich der beiden aktiven Streifen der neo-vulkanischen Zone und der dazwischen liegenden Hreppar-Serie, und einer ausgeprägten S-N-Richtung entlang der nördlichen neo-vulkanischen Zone. Eine SE-NW-bzw ESE-WNW-Richtung wurde auf Snaefellsnes und im Gebiet der seismisch nachgewiesenen Tjörnes-Transform-Fault festgestellt und schließlich eine E-W-bzw. ESE-WNW-Orientierung in der vermuteten Snaefellsnes-Vatnajökull-Störungszone.

**Summary:**

A mosaic prepared from 9 satellite scenes and a lineament map based on data from the Landsat-MSS bands 5 (0.6-0.7  $\mu\text{m}$ ) and 7 (0.8-1.1  $\mu\text{m}$ ) and the Landsat-TM band 4 (0.76- 0.90  $\mu\text{m}$ ) were instrumental in the interpretation of the tectonic features of Iceland. With reference to the definition of the term "lineament" as established by O'Leary et al. (1976) the linear features of volcanic, tectonic or tectonic-magmatic origin, typical of Iceland, were investigated. The result of the statistical work was 17632 lineaments registered with a total length of 69646 km or a mean length of 3.95 km. The number of the length of the lineaments found per 10° sector were set out in diagrammatic form, in 46 lineament roses.

The interpretation of these diagrams revealed the presence of 4 distinct systems of direction transversing Iceland. In the south, i.e. within the area of the two active branches of the neo-volcanic zone - the Hreppar series included - the linear features strike SW-NE, whereas a marked S-N orientation is to be observed in the northern part of the neo-volcanic zone. On Snaefellsnes the major systems run SE-NW or ESE-WNW. The same applies to Tjörnes, now recognized as a transform fault due to seismic activity. The preferred orientation of the area reaching from Snaefellsnes to Vatnajökull, assumed to be a fracture zone, is E-W or ESE-WNW.

A combination of proven remote sensing techniques with classical geoscientific research methods helps improve the potential value of geologic investigations and leads to better results in tectonic work.

Mit Hilfe von 9 Satellitenszenen, aufgezeichnet von Sensoren an Bord der Erdkundungssatelliten Landsat 1 und 5, wurde eine tektonische Strukturinterpretation Islands durchgeführt. Ausgehend von der Definition des Begriffs "Lineament" konnten die für Island charakteristischen linearen Strukturen vulkanogenen, tektonischen bzw. tektonisch-magmatischen Ursprungs erfaßt werden.

Die Auswertung stützte sich auf Landsat-MSS-Daten der Spektralkanäle 5 ( $0,6-0,7 \mu\text{m}$ ) und 7 ( $0,8-1,1 \mu\text{m}$ ) sowie auf Landsat-TM-Daten des Kanals 4 ( $0,76-0,90 \mu\text{m}$ ). Spezielle Bildverarbeitungen ermöglichten Interpretationen sowohl in den dunklen periglazialen Regionen im Inland als auch in den sich durch eine hohe Albedo auszeichnenden hellen Gletscherregionen des Landes MÜNZER, BODECHTEL.(1980). Die Auswertung erfolgte an Hochglanzvergrößerungen im Maßstab 1 : 500.000.

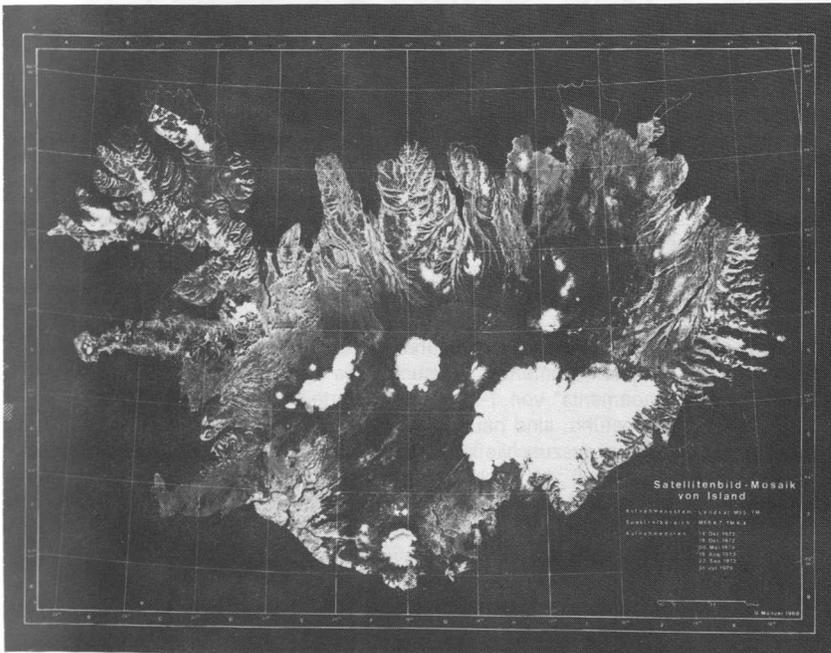


Abb. 1 Satellitenbild-Mosaik von Island, zusammengesetzt aus 9 Szenen der Erdkundungssatelliten Landsat 1 (MSS) und Landsat 5 (TM), mit den nach Längen- und Breitengraden aufgeteilten Feldern

Die Arbeiten von WILLIAMS et al. (1975), BODECHTEL, HILLER & MÜNZER (1979), MÜNZER & BODECHTEL (1980), WILLIAMS (1983), MÜNZER (1989) haben gezeigt, daß sich der Einsatz von verarbeiteten Satellitendaten für die Lösung geowissenschaftlicher Fragestellungen auf Island bewährt hat.

Bei der Lineamentauswertung konnte von den für eine Interpretation notwendigen und üblichen Differenzierungsmerkmalen ausgegangen werden. Ausschlaggebend ist ein photogeologischer Schlüssel, der Kriterien wie Grauton, Farbton, Textur, Signatur, Muster, Lagebeziehung, morphologische Gegebenheiten zugrunde legt.

Eine Bestimmung der Begriffe Lineament, wie auch Linear und Lineation wurde schließlich in einer Studie von O'LEARY, FREIDMANN & POHN (1976) erarbeitet. Ihre Definition: "Ein Lineament ist ein kartierbares, einfaches oder zusammengesetztes, linear ausgeprägtes Merkmal einer Oberfläche, dessen Teile geradlinig oder leicht gebogen ausgerichtet sind und das sich deutlich von den Anordnungen benachbarter Merkmale abhebt und mit aller Wahrscheinlichkeit ein unterirdisches Phänomen erkennen läßt" setzt sich heute immer mehr durch.

Trotzdem macht die einschlägige Literatur deutlich, daß eine einheitliche, allgemein akzeptierte Definition des Begriffs "Lineament" noch nicht gegeben ist. Von Lineamenten als "signifikanten Linien einer Landschaft" oder "den Charakterlinien der Physiognomie der Erde" spricht HOBBS (1904,1912), während für HILL (1915) ein Lineament eine sich im Gelände auf große Distanz abzeichnende Zone oder Abgrenzung ist. SONDER (1938) spricht von "Linearen bzw. Zonen" und verwendet den Terminus "Lineament" in einem allgemeinen, regionalen Sinn: "Das Lineament einer Region bezeichnet also eine bestimmte Richtung, die in der Tektonik, in der Klüftung und in dem Relief enthalten ist".

Lineamente werden aber auch nach ihren Erfassungsmethoden in Luftbild- oder Satellitenbild-Lineamente unterteilt. Versuche, die Lineamente in "fracture traces" bis 0,8km und in "lineaments" von 1-50 km zu unterteilen, wie von LATTMANN (1958), LIST (1969) durchgeführt, sind heute nicht mehr üblich. Sinnvoll erscheint es jedoch, um Mißverständnisse auszuschließen, von "Luftbild- bzw. Satellitenbild-Lineamenten" zu sprechen.

Die statistische Auswertung ergab 17.362 Lineamente mit einer Gesamtlänge von 69.646 km und einer mittleren Länge von 3,95 km (Abb.2).

Unterschiedliche Darstellungsformen können bei einer Lineament-Interpretation eingesetzt werden. Klüftrosen dürften aber bei den Richtungsanalysen von Lineamenten die wohl genaueste Aussage geben. So wurde wiederum eine getrennte Berechnung der Häufigkeit, d.h. der Anzahl der Lineamente, und ihrer Länge pro Richtung durchgeführt, um die unterschiedlichen Größenordnungen pro Richtungseinheit besser unterscheiden zu können. Auch aus der Dichte der Lineamente, d. h. der Lineamentlänge (km) pro Flächeneinheit (km<sup>2</sup>), wurden Rückschlüsse gezogen.

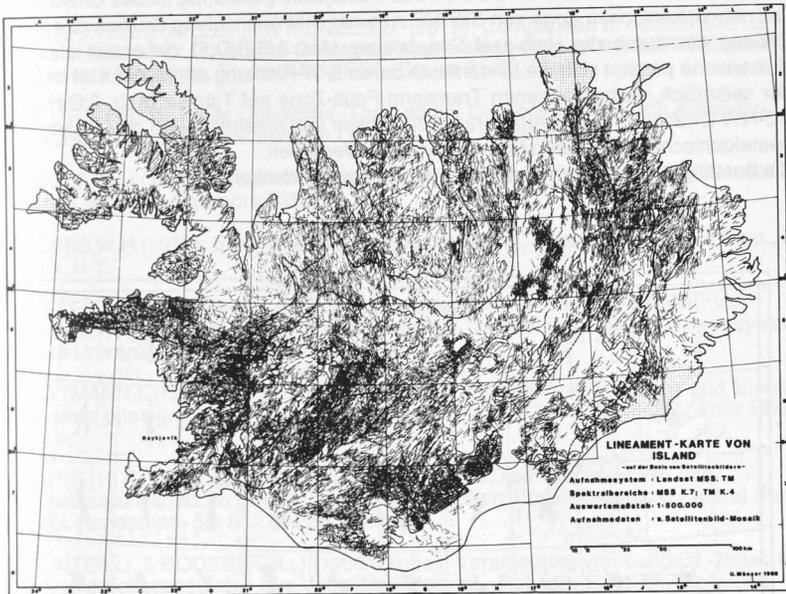


Abb.2: Lineamentkarte von Island, ausgewertet anhand von Satellitenbildern Landsat-MSS u. - TM

Jedes Feld enthält eine Richtungsrose; die Häufigkeit, d. h. die Anzahl der Lineamente pro  $10^\circ$  Sektor, ist auf der rechten Rosenhälfte und entsprechend die Länge der Lineamente pro  $10^\circ$  Sektor auf der linken Hälfte vermerkt. Die beiden Maßstabalken in den unteren Ecken der Felder erlauben einen Größenvergleich (Abb.3).

Die Auswertung der 46 Rosen läßt deutlich vier Richtungssysteme erkennen: Sie ziehen SW-NE, S-N, E-W, SE-NW - ein Ergebnis, das weitgehend Einklang mit den Untersuchungen von Autoren wie SIGURDSSON (1970), SAEMUNDSSON (1978, 1979) und JEFFERIS & VOIGHT (1979) steht. Im großen und ganzen sind die SW-NE-Richtungen an die beiden Zweige der neo-vulkanischen Zone, inklusiv der Hreppar-Serie, im südlichen Teil Islands gebunden. Diese Anordnung setzt sich unter den Eismassen des Vatnajökull bis zu den tertiären Flutbasalten im Südosten fort.

Die S-N-Richtung dominiert entlang der neovulkanischen Zone im Norden Islands (Abb.3;1,2,3,4). Im nördlichen Bereich des Vatnajökull (Abb.3;1,5) ist das Umschwenken der neo-vulkanischen Zone von SW-NE zu einer S-N-Ausrichtung deutlich zu erkennen. Entlang der durch die Halbinsel Snaefelsnes (Abb.3;B,C,D,5) ziehenden ehemaligen Vulkanzone passen sich die Lineamente deren E-W-Richtung an. Markant ist im Bereich der seismisch nachgewiesenen Transform-Fault-Zone auf Tjörnes (Abb. 3;G,H,2,3) die SE-NW-Orientierung. Die Auswertung der Rosen läßt erkennen, daß die Lineamente die geotektonischen Strukturen Islands genau wiedergeben. Sie bestätigen den engen Kontakt zu dem Mittelatlantischen Rücken.

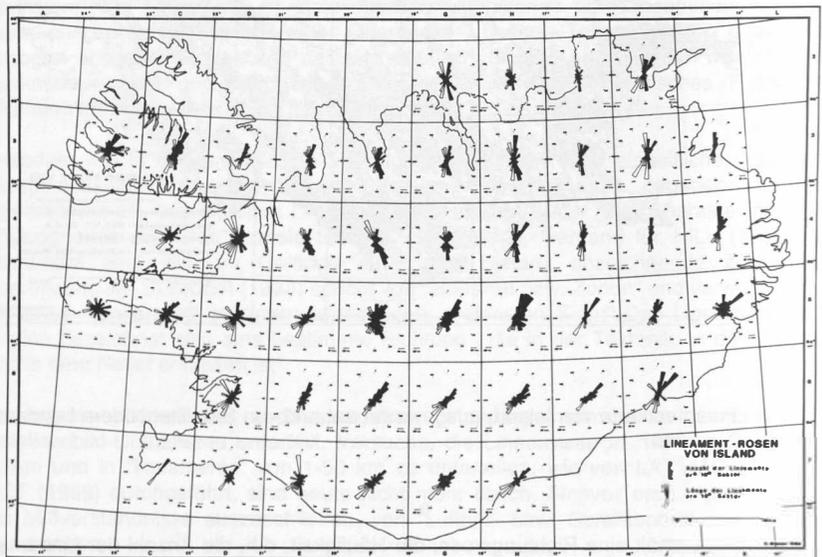


Abb.3: Lineament-Rosen von Island,aufgeteilt nach Anzahl und Länge der Lineamente pro 10°-Sektor

Island ist in hohem Maße geeignet,einen Überblick über die tektonischen Elemente einer Landschaft zu gewinnen und ihren Verlauf zu bestimmen. So erlaubt seine spärliche oder fehlende Vegetationsdecke, die typisch für subpolare Breiten ist, auch ein Erkennen untergeordneter linearer Strukturen. Das Kluft- und störungstektonische Gefügeinventar kann daher mit einer Lineament - Auswertung von Satellitenszenen voll erfaßt werden.

## Literatur

- BODECATEL, J.; HILLER, K. & MÜNZER, U. (1979): Comparison of Seasat and Landsat Data of Iceland for Qualitative Geological Application. - Proc. of the ESA SEASAT-SAR Processor Workshop, Frascati, Italy, ESA -Sp., pp 61-67, Paris
- HILL, R.T. (1915): Texas Lineament -The Tertiary Orogeny of the North American Cordillera. - Dana Commemorative Lectures, New Haven, Conn.
- HOBBS, W.H. (1904): Lineaments of the Atlantic border region. - Geol. Soc. Am. Bull., vol 15, pp. 483-506, Baltimore, Md.
- HOBBS, W.H. (1912): Earth features and their meaning. - Macmillian Co., 506 pp., New York, N.Y.
- JEFFERIS, R. & VOIGHT (1979): Fracture analyses near the Mid-Ocean Plate boundary, Reykjavik-Hvalfjörður area, Iceland. - Dept. of Geosciences, Pennsylvania State University, 108 pp., Philadelphia, Pa.
- LATTMANN, L.H. (1958): Technique of mapping geologic fracture traces and lineaments on aerial photographs. - Photogramm. Engineering, vol.24, pp. 568-576, Falls Church, Va.
- LIST, F. (1970): Photogeologische Untersuchungen über Bruchtektonik und Entwässerungsnetz im Präkambrium des nördlichen Tibesti-Gebirges, Zentral Sahara. - Geol. Rundschau, 59, S. 228-256, Stuttgart
- MÜNZER, U. & BODECATEL, J. (1980) Digitale Verarbeitung von Landsat -Daten über Eis- und Schneegebieten des Vatnajökull (Island). - BuL, 48, S. 21-28, Karlsruhe
- MÜNZER, U. (1985): Iceland- Volcanoes, Glaciers, Geysers. - Atlantis Verlag, 192 pp. (Englische und Deutsche Auflage), Herrsching, Luzern
- MÜNZER, U. (1989): Quellvorkommen, Gewässernetz und Bruchsysteme auf Island- eine Untersuchung mit Satelliten- und Luftbildverarbeitung sowie Wasseranalysen. - Diss. Univ. München, 176 S., München
- MÜNZER, U. (1990): Island- junges Land in Bewegung. - Arktis-Verlag, 212 S., Kempten
- O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, J.D. & POHN, H.A. (1976): Lineament, linear, lineation, some proposed new standarts for old terms. - Geol. Soc. of Am. Bull., vol. 87, pp. 1463 - 1469, Baltimore, Md.
- SAEMUNDSSON, K. (1978): Fissure Swarms and Central Volcanoes of the Neovolcanic Zones of Iceland. - Geol. Journ., 10 pp. 415-431, Liverpool
- SAEMUNDSSON, K. (1979): Outline of the Geology of Iceland. - Jökull, AR 29, pp. 7-28, Reykjavik
- SIGURDSSON, H. (1970): Structural Origin and Plate Tectonics of the Snaefellsnes Volcanic Zone, Western Iceland. - Earth and Planetary Science Letters, 10, North Holland Publishing Co., pp. 129-135, Amsterdam
- SONDER, R.A. (1938): Die Lineamenttektonik und ihre Probleme. - Eclogae geol. Helv., Bd 31, S. 199-238, Basel

WILLIAMS,R.S.jr.;BÖDVARSSON,A.;RIST,S.;SAEMUNDSSON,K.&  
THORARINSSON,S. (1975): Glaciological studies in Iceland with ERTS-1 imagery. -  
Journ.of Glaciol., vol . 15/73,pp. 465-466, Cambridge,Mass.

WILLIAMS;R.S.jr.(1983): Satellite Glaciology of Iceland.- Jökull, AR 33, pp.3-12,  
Reykjavik

Multitemporale Fernerkundungsuntersuchungen der Nové-Mlýny-Stauseen  
für eine ökologische Stabilisierung des Raumes

J. KOLEJKA - H. GRÁF

Institut für Geographie der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften, Brno - Masaryk Universität, Brno, Mähren, Tschechoslowakei

Zusammenfassung

Auseinandersetzungen über den Zweck und den Einfluß des Drei-Stauseen-Systems von Nové Mlýny in Südmähren auf die Landschaft gab es schon in der Zeit der Projektvorbereitung, im Laufe des Aufbaus (in den Jahren 1974-90), und sie setzen sich zur Zeit wieder fort. Vormals einzigartige Auenwälder im Zuflußgebiet der Flüsse Jihlava, Svratka und Dyje (Thaya) wurden durch problematische polyfunktionale Stauseen ersetzt. Die fünf Satellitenbilder (KATE, KFA, MSS, TM) kennzeichnen den Zustand des Raumes vor, im Laufe und nach dem Bau der Stauseen. Auf Grund der zweckgebundenen Interpretation wurden zahlreiche anwendbare Daten für den Entscheidungsprozeß zum weiteren Verbleib der Stauseen gewonnen.

Резюме

Споры о смысле и последствиях системы трех Новомлыньских водохранилищ на реке Дья (Южная Моравия) появились уже в годы проекционной подготовки, во время строительства (1974-1990 гг.) и существуют до их пор. Состояние территории в прошлом, когда в ходе стройки постепенно исчезали пышные пойменные леса и луга, описывают космические снимки (КАТЭ, КФА, Лэндсат МСС и ТМ). На основе целевого дешифрирования космических снимков приобретены ценные для решения вопроса дальнейшего существования водохранилищ данные. Они характеризуют динамику разрушения природных условий поймы человеком, и также делают возможным картирование естественного и антропогенного рельефа. Приведенные данные лучше обосновывают подготовку мероприятий по улучшению экологического состояния территории.

1. Einleitung

Das System dreier Stauseen (etwa 36 qkm) von Nové Mlýny am Fluß Dyje (Thaya) in Südmähren gehört zu den meist diskutierten hydrotechnischen Bauwerken der Tschechoslowakei. Die Stauseen nehmen die breite flache Dyje-Talaue (max. Breite etwa 4 km) und teilweise auch das Zuflußgebiet der Flüße Svratka (Schwarzawa) und Jihlava (Iglau) ein. Der größte Teil der Ufer ist künstlich aufgebaut (meistens Dämme). Das Wasserniveau in den Stauseen liegt gewöhnlich über benachbartem Gebiet. Ursprünglich war der Talboden mit einem reichen Auenwald, mit blühenden Wiesen, mit einzelnen Bäumen und mit dem Wasser von ständigen und periodi-

schen Flußseen bedeckt. Im allgemeinen handelte es sich um unika-te Pflanzen- und Tiergesellschaften im mitteleuropäischen Maßstab. Während der Projektvorbereitung und des Talsperrenbaus wurden viele unterschiedliche Meinungen sowohl von Fachleuten als auch von der breiten Öffentlichkeit geäußert. Trotzdem wurde der Bau in zwei Etappen fertiggestellt und seit 1990 ist das Stauseensystem schon in Betrieb. Hinsichtlich der besonders wichtigen *ästhetischen* und natürlichen Eigenschaften des Gebietes und der zahlreichen technischen und Umweltprobleme stehen zahlreiche Unterlagen und eine reiche kartographische Dokumentation zur Verfügung. In diesem Gebiet wurden wiederholt Luftbilder und auch Satellitenbilder aufgenommen (seit 1977) und archiviert.

## 2. Problemstellung

Das Stauseensystem sollte folgende Aufgaben erfüllen: Hochwasserschutz, Wasserspeicherung zur Versorgung der Landwirtschaft in benachbarten warmen und trockenen, aber sehr produktiven Agrarlandschaften, Vogelschutz, Rekreation und Begrenzung von Mückenkalamitäten. Obwohl der sogenannte Obere Stausee am besten sowohl den wasserwirtschaftlichen Bedürfnissen als auch dem Umweltschutz entspricht, bleiben der Mittlere (10 qkm) und besonders der Untere (16 qkm) Stausee problematisch (Team 1980).

Der Untere Stausee hat trotz größerer Fläche und Wasserinhalts (von ca. 87 Mill. Kubikmeter) nur ca. 15 % natürliche Ufer, den Rest bilden die Dämme. Noch vor ein paar Jahren bildete fast das ganze Überschwemmungsgebiet des Stausees aufgrund seiner natürlichen Eigenschaften einen Teil des Naturparks Palava (heute Biosphärenreservat der UNESCO). Das Wasserwerk wurde nicht in die Landschaft integriert und wird als fremd empfunden. Die Bauorganisation, die Wasserwerkbenutzer und auch die ökologischen Bewegungen fordern umfangreiche ökologische Korrekturen des Stausees. Die radikalsten Gruppen verlangen eine völlige Wasserentleerung, eine Rekultivierung des Talbodens bis zur natürlichen Form einschließlich der Auenwilderneuerung, der Ausgrabung von bedeckten ehemaligen Flußseen und des Wiederaufbaus von im Laufe des Baues beschädigten kleinen Relief-formen, wie zum Beispiel Sanddünen, Wällen u.s.w. Man sucht Methoden für experimentelle Regenierungsmöglichkeiten von Pflanzen und auch Daten für Entwick-

lungs- und Zustandbeschreibungen des Stausees.

Zum Studium von historischen und aktuellen Angaben aus dem Gebiet des unteren (und teilweise des mittleren) Stausees wurde eine Informationsbasis gebildet, die die folgenden Angaben darbieten soll: Informationen

- über die Tal- und Seebodengeomorphologie der Stauseen, (denn die geomorphologischen Unterlagen über die Talauen sind im allgemeinen sehr lückenhaft einschließlich topographischer Daten);
- über Formen und Verlauf der Vernichtung der ursprünglichen Flächennutzung im Laufe des Aufbaus;
- über den Verlauf der Talbodenüberschwemmung und der Wirkung von mit dem Wasser verbundenen Prozessen.

Den Forderungen mit zuverlässiger Datenlokalisierung entsprechen bestens die großmaßstäbigen Landkarten (1:10 000 - 1:25 000) und die Luft- und Satellitenbilder. Hinsichtlich der technischen Qualität und des Gebietsausmaßes sind die modernsten Satellitenbilder besonders geeignet. In einer Kombination mit interpretierten Luftbildern und älteren Flächennutzungskarten bieten die Satellitenbilder die besten Möglichkeiten zur Herstellung einer ausreichend langen chronologischen Datenreihe.

Zur Zeit laufen die Gespräche über eine Kompromißlösung zur ökologischen Verbesserung des Gebietszustandes der Nové-Mlýny-Stauseen. Es wurde eine Variante der Problemlösung vorgeschlagen (im April 1991). Nach dieser Variante soll der Wasserspiegel um etwa 1-2 Meter im Unteren Stausee herabgesetzt werden, um damit ein Gebiet für eine Biorridorherstellung vom Osten nach Westen des Thayalandes zu gewinnen. Der Biorridor sollte auch durch den Mittleren Stausee laufen. Das Wasser sollte bis zur Hälfte herausgelassen werden.

Für eine Datenbereitstellung von Entscheidungsprozessen im Rahmen der Gebietsuntersuchung wurden vielfältige Satellitenbilder verwendet.

### 3. Bildmaterial und Technologie der Vorverarbeitung

Die angewandte chronologische Datenreihe vom Gebiet der Nové-Mlýny-Stauseen beginnt mit einer Flächennutzungskarte im Originalmaßstab von 1:25 000 aus den Jahren 1953-60. (Außerdem stehen Flächennutzungskarten aus beiden Hälften des 19. Jahrhunderts zur

Verfügung.) Diese Karte hat eine sehr gute geometrische und sachliche Auflösung und beschreibt die Flächennutzung des Talbodens hinreichend. Sie dient als Ausgangsmaterial für die Interpretation von älteren Satellitenbildern.

Den Zustand im Jahre 1977 erfasst die photographische Aufnahme der Kamera KATE 140 vom Mai des Jahres. Die multispektrale Aufnahme (drei Bänder: 500-600 nm, 600-700 nm, 700-800nm) stellt eine falschfarbige Synthese dar, die auf dem Gerät MSP-4c auf einer transparenten Folie in einem Maßstab von etwa 1:220 000 vorbereitet wurde.

Den Zustand im Mai 1979 beschreibt die panchromatische photographische Aufnahme der Kamera KATE 300 in einem Spektralbereich von 500-800 nm und im Maßstab 1:250 000.

Aus dem Juli 1983 stammt die falschfarbige Infrarotaufnahme der Kamera KFA 1000, die den Spektralbereich von 670-800 nm umfaßt und im Maßstab 1:275 000 auf einer transparenten Folie zur Verfügung stand.

Die Situation im August 1985 stellt eine naturfarbige Syntheseaufnahme von 1,2 und 3 Bändern TM mit dem panchromatischen SPOT-Band dar. Das Satellitenbild stand als eine Photographie im Maßstab 1:100 000 zur Verfügung.

Die Satellitenaufnahme vom Mai 1987 war eine falschfarbige Synthese-Photographie im Maßstab 1:200 000 (die Kombination 2B-36-4R), die auch auf einem Tonband in digitaler Form zur Verfügung stand.

Es ist sehr deutlich zu sehen, wie vielfältig das verwendete Bildmaterial und die technische und thematische Qualität der Informationsträger war. Die Farbtöne und densitometrischen Meßwerte der untersuchten Objekte, d.h. die ausgewählten Flächennutzungsformen wie Wald- und freie und pflanzenbedeckte Wasserflächen, Wiesen, Felder und allgemeine nicht pflanzenbedeckte Oberflächen, waren sehr mannigfaltig. Dieses Phänomen begrenzt die Genauigkeit der Satellitenbildinterpretation im bestimmten Maße. In jedem Fall erforderte jedes Material eine individuelle Bearbeitung und Interpretation (nach Colwell, edit., 1983).

Alle Bilder wurden zuerst optisch bzw. visuell oder digital geometrisch korrigiert und dann auf Grund eines Kartenausschnitts im Maßstab 1:50 000 mit der Anwendung farbiger Kopiertechnologien

der Einrichtung Canon VC-200 vereinigt. Dieser Maßstab von 1:50 000 gilt als ein Kompromiß zwischen den Forschungsanforderungen und den Auflösungsmöglichkeiten des Bildmaterials.

Der Interpretationsprozeß besteht im allgemeinen aus folgenden Etappen:

- 1 - Bewertung der Bildqualität
- 2 - Vorbereitung von konkreten visuellen Interpretationsschlüssen für die zu untersuchenden Objekttypen
- 3 - Kartographische Darstellung des Bildinhaltes
- 4 - Bewertung der Interpretationsgenauigkeit
- 5 - Erfassung und Bewertung der Flächennutzungsveränderungen im Vergleich zum vorigen Zustand.

Auf Grund dieser Vorschrift wurden alle Bilder verarbeitet und die chronologische Reihe von Flächennutzungskarten hergestellt. Die Karten unterscheiden natürlich mehr als die sechs oben erwähnten Flächennutzungsformen. Aber nur diese sechs Formen kommen im Bereich der Flächen der zwei untersuchten Stauseen vor. Als Genauigkeitskriterium der letzten Interpretation diente das Ergebnis der komplizierten und kombinierten Faktoren-Analyse und der Maximum-likelihood-Bearbeitung des Gebietes der Stauseen.

#### 4. Zweckgebundene thematische Bildinterpretation

##### 4.1 Zustand im Jahre 1977

Die falschfarbige Syntheseaufnahme, die auf einer Folie registriert ist, ist das älteste zugängliche Satellitenbildmaterial für das untersuchte Gebiet. In einer Vergrößerung im Maßstab 1:50 000 sind zahlreiche geometrische, optische und andere technische Mängel zu bemerken. Die geometrische Auflösung, trotz der photographischen Form des Bildes, macht etwa 30-40 m an der Erdoberfläche aus. Die spektrale Auflösung ist auch gering; manche unterschiedlichen Flächen sind nicht bedeutend kontrastreich differenziert. Teilweise hängt es von der vielfältigen Vergrößerung von Kernen im photographischen Material ab, teilweise von einer ungenauen Zusammenpassung der einzelnen Bänder, von der Deformierung des originalen und vorhandenen Bildmaterials, beziehungsweise vom altersbedingten Kontrastverlust. Im allgemeinen weist das Material einen typischen grün-violetten Ton auf, was besonders bei der Interpretation von biotischen Objekten hinder-

lich ist.

Die wichtigsten Objektklassen kann man visuell (teilweise ohne scharfe Konturen) nach folgendem Interpretationsschlüssel feststellen:

1. freie Wasserflächen (dunkel violett-schwarz)
2. pflanzenbedeckte Wasserflächen (blau-grün)
3. Wald (dunkel-grün)
4. Wiesen und Felder mit Pflanzen (übrig. grün)
5. abiotische Oberflächen (hell-violett)
6. humusreiche gepflügte Böden (violett).

Die Raumstruktur der Flächennutzung auf dem Talboden zeigt keine wichtigen Unterschiede im Vergleich zum Zustand in der vorigen Zeitspanne der Jahre 1953-60 während des Aufbaus der Oberen Talsperre. Der periodische Pansee im Norden des Unteren See-raumes war zu dem Zeitpunkt viel größer. In seiner Umgebung und auch im Süden des Talbodens sind zahlreiche neue Ackerflächen (früher Wiesen) festzustellen. Wegen des unbefriedigenden Bildzustands sind die Ergebnisse nicht völlig zweifelsfrei.

#### 4.2. Zustand im Jahre 1979

Die spektrazonale panchromatische photographische Satellitenaufnahme auf einer transparenten Folie ist eine Mehrfachkopie des Originals, was sich z.B. mit häufigen mechanischen Beschädigungen, mit teilweisem Kontrastverlust und mit Auflösungsverringern (im Originalbild ca. 5 m, jetzt ca. 20 m) äußert. Im Ergebnis sind also einige Objekte nicht scharf ausgeprägt, in der Vergrößerung besonders "verschwommen", und deren Grenzen sind sehr schwierig identifizierbar. Im Gegensatz sind die linearförmigen Objekte gewöhnlich sehr deutlich festzustellen.

Die thematische Interpretation wurde nach folgendem Schlüssel durchgeführt:

1. freie Wasserflächen (schwarz)
2. pflanzenbedeckte Wasserflächen (grau)
3. Wald (dunkel-grau)
4. Wiese (hell-grau)
5. abiotische Oberflächen (marmoriert grau-weiß)
6. gepflügte Böden (weiß).

Der Wald wurde völlig aus dem Raum des Mittleren Stausees

abgeholzt. Alle Dämme dieses Sees wurden technisch gestaltet. Im Bau befindet sich der Abflußkanal, der aus dem Mittleren in den Unteren Stausee mündet. Sehr große Flächen sind frisch gepflügt und ohne Pflanzendecke - der höchste festgestellte Anteil von Ackerböden. Die Abtrennung von Wasser- und Waldflächen ist problematisch.

#### 4.3. Zustand im Jahre 1983

Das falschfarbige Dia mit einer sehr guten Auflösung macht es möglich, die kleinen Objekte (~10 m große) an der Erdoberfläche zu untersuchen. Der typische violette Ton und die relativ geringe Spektralauflösung begrenzen die Bildanwendung in der thematischen Interpretation.

Die untersuchten Objekte kann man visuell nach dem Interpretationsschlüssel identifizieren:

1. freie Wasserflächen (dunkel-violett)
2. pflanzenbedeckte Wasserflächen (violett-grün)
3. Wald (dunkel-grün)
4. Wiesen und Felder mit Pflanzen (übrig. grün)
5. nicht pflanzenbedeckte Oberflächen (weiß)
6. gepflügte humusreiche Böden (violett-rosa).

Man muß auch bemerken, daß die phototechnische Kopierung auf dem Gerät Canon LC-200 weniger Farbübergänge ergibt, das Bild ist homogener, obwohl keine wesentlichen Kontur- und Farbenveränderungen von Objekten durchgeführt wurden.

Der Mittlere Stausee war schon im Betrieb. Mit dem Damm des Flußes Svratka wurde der Stausee in zwei kleinere Wasserflächen mit vielen Inseln getrennt. Im Raum des Unteren Stausees liefen schon die ersten mit dem Bau zusammenhängenden Arbeiten.

Viele frische nicht pflanzenbedeckte Uferflächen entstanden zum Beispiel im Laufe des Dammaufbaus, des Waldstraßenbaus, des Schottertagebaus im Norden. Die ersten größeren Waldflächen waren schon abgetragen. Die Wiesen wurden nur sehr gering durch die Arbeiten geschädigt und die Ackerböden blieben ohne Veränderungen. Bei dieser Aufnahme man kann mit einer relativ hohen Interpretationsgenauigkeit rechnen.

#### 4.4. Zustand im Jahre 1985

Die Synthese in den naturnahen Farben, die auf Grund der TM- und SPOT-Angaben vorbereitet wurde, hat eine sehr gute geometrische Auflösung (ca. 10 m) und auch eine ausreichende spektrale Auflösung. Nur die Unterschiede zwischen dem Wald, der Wiese und den pflanzenbedeckten Wasserflächen sind relativ gering, was wesentliche Probleme in der Interpretation hervorruft. Diese Farbsituation entspricht den geringen Farbkontrasten im Mai, wenn diese Flächen gewöhnlich grün sind. Trotz der oben erwähnten Probleme kann man nach folgendem Interpretationsschlüssel die bekannten sechs Objektkategorien definieren:

1. freie Wasserflächen (tiefe dunkel-braun, seichte hell-braun)
2. pflanzenbedeckte Wasserflächen (dunkel-grün)
3. Wald (grün)
4. Wiesen und Felder mit Pflanzen (hell-grün)
5. nicht pflanzenbedeckte Oberflächen (weiß-gelb)
6. gepflügte Böden (orange-kastanienrot).

Der Wasserstand im Mittleren See ist niedriger als früher, aber der westliche Teil des Damms ist enger. Der Damm ist schon teilweise mit Sträuchern bedeckt. Der Raum des Unteren Stausees ist schon von Dämmen umrahmt. Innerhalb befinden sich viele frische vegetationsfreie Oberflächen (in der Mitte), teilweise gehört dazu auch der ausgetrocknete periodische Pansee. Der Wald ist zu 2/3 abgetragen. Der Verlauf von Linien (Dämme, Straßen) ist sicher, aber die Grenzenlinien sind in manchen Fällen in der Talau zu bezweifeln.

#### 4.5. Zustand im Jahre 1987

Die Situation in diesem Jahr wurde mit einer falschfarbigen photographischen Synthese und mit einem falschfarbkodierten Ergebnis der digitalen Bildklassifikation beschrieben. Beide Materialien haben eine gute Aussagefähigkeit auf Grund ausreichender geometrischer und spektraler Auflösung.

Die untersuchten Objektkategorien sind in folgender Weise dargestellt (Synthese/Kodierung):

1. freie Wasserflächen (schwarz/blau)
2. pflanzenbedeckte Wasserflächen (grau-blau/violett)
3. Wald (orange-gelb/grün)
4. Wiesen und Felder mit Pflanzen (braun-rot/schwarz)

5. nicht pflanzenbedeckte Oberflächen (hell-blau/rot)  
 6. gepflügte Böden (dunkel-blau/gelb).

Bei dem hohen Wasserstand sind im Mittleren Stausee nur einige Inseln zu sehen. Im Laufe der Flutung sind auch etwa 2/3 des Raumes vom Unteren Stausee mit Wasser bedeckt. Dieses Wasser blieb teilweise zwischen den Dämmen fast bis zur Fertigstellung des hydrotechnischen Bauwerks. Aus dem Wasser ragen nur wenige Wald- und Wieseninseln und einige frische vegetationsfreie Flächen. Die Konturen von verschiedenen Objekten sind im allgemeinen sehr scharf. Die Interpretationsschwierigkeiten findet man in den Übergangszonen:  
 Wasser/Wiese und Wald/Wiese.

##### 5. Anwendung von multitemporalen Satellitenmaterialien

Die Angaben für das Gebiet des Mittleren und Unteren Sees waren unterschiedlich. Im Falle des Mittleren Sees handelt es sich zur Zeit um eine radikale Wasserstandsenkung. Nach der teilweisen Herauslassung sollte der Stausee mit einem doppelten Damm vom Fluß Svratka in der Mitte in zwei Wasserflächen zerteilt werden. Auf diesem Damm soll der Biokorridor eingerichtet werden. Auf Grund der wenigen topographischen Höhenangaben im Auengebiet kann man den Verlauf der Küstenlinie nur sehr schwierig und überhaupt nicht zweifelsfrei abschätzen. Die Reliefbedingungen des Talbodens sind sehr kompliziert, und die bekannten einfachen Höhenlinien in diesem Raum genügen kaum für diese Zwecke (Abb. 1). Teilweise kann man diesen Mangel mit den Küstenlinien in den Satellitenbildern bei bestimmten Wasserständen kompensieren. Es ist deutlich zu bemerken, daß das Relief des Staudamms auch sehr kompliziert ist. Die äußeren Hänge haben keine regelmäßige Hangneigung. Der rechte Teil ist bei gleicher Höhe relativ enger und von größerer Neigung als der linke, d.h. der östliche. Im Laufe der Wasserstandsänderung entstehen zahlreiche neue Inseln neben den ständigen (zu diesen gehörten die Sanddüngipfel im Osten des Stausees und anthropogenbedingte Erhöhungen im Raum des ehemaligen Dorfes Mušov im Westen, und auch der höchste Kamm des Staudamms im Norden). Im günstigen Fall der guten Wasserdurchsichtigkeit im Jahre 1985 konnte man auch die tiefsten Wasserareale (mit einer Tiefe von mehr etwa 1,5-2 m) feststellen. In

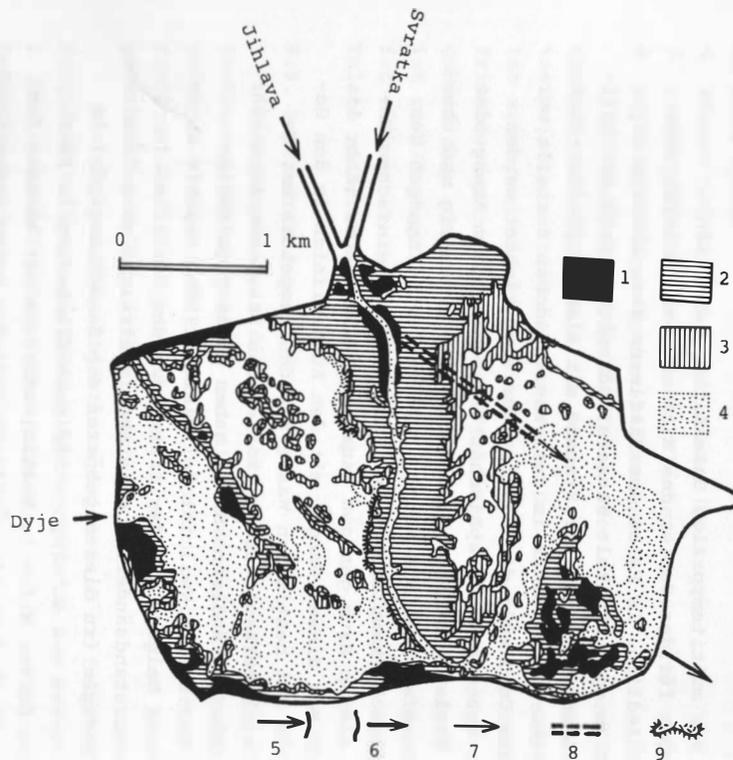


Abb.1. Mittlerer Stausee. 1 - Ständige Inseln, 2 - Verbreitung des Festgebiets am 10. Mai 1987,  
 2 - Verbreitung des Festgebiets am 28. Juli 1983, 3 - Verbreitung des Festgebiets am 23. August 1985,  
 4 - fließendes Wasser, 5 - Zufluss, 6 - Abfluss, 7 - projektierte Zufluss, 8 - Kanalprojekt,  
 9 - Abrasionsaußerungen

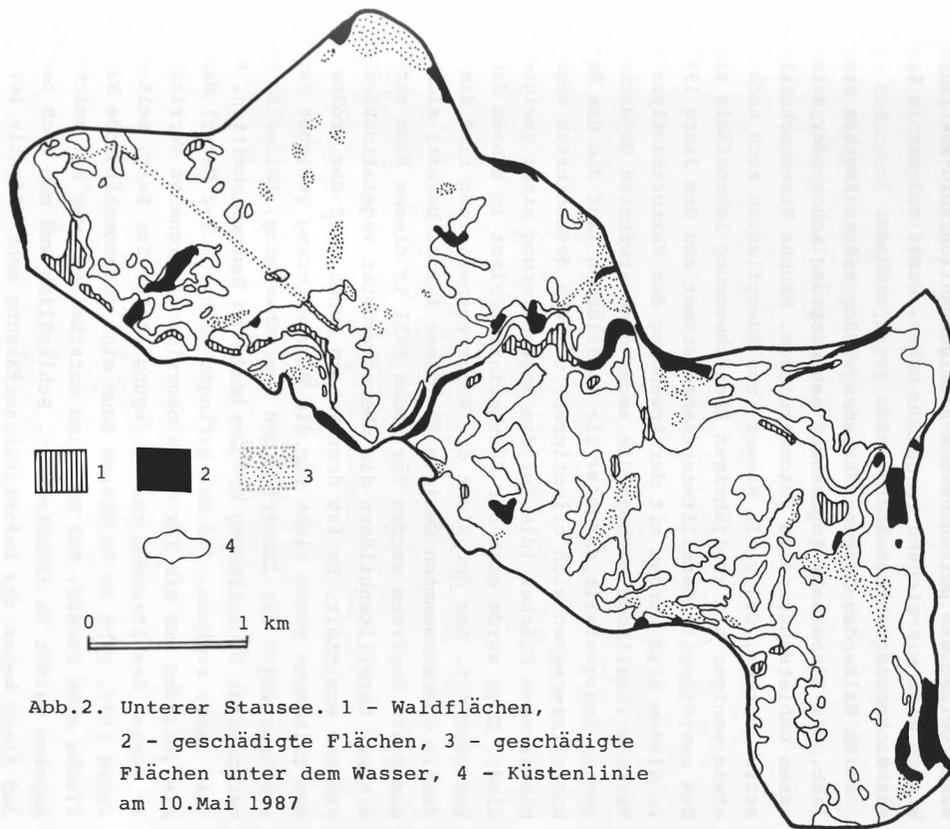


Abb.2. Unterer Stausee. 1 - Waldflächen,  
 2 - geschädigte Flächen, 3 - geschädigte  
 Flächen unter dem Wasser, 4 - Küstenlinie  
 am 10.Mai 1987

die tiefste Mulde sollte ein künstlicher Zuflußkanal münden. Auf diese Weise kann man die Konturen der Mulde ohne völlige und teure Wasserentleerung feststellen. Bei dieser Küstenkonturenkartierung wurde auch entdeckt, daß im westlichen Rand des Svratkadamms eine Beschädigung eingetreten ist. Mit großer Wahrscheinlichkeit handelt es sich um die Folgen der Abrasionstätigkeit der Wasserwellen, die bei in diesem Raum gewöhnlich nord-westlichen Winden eine ausreichend lange Bahn haben. Damit muß man im Laufe der Biokorridorsherstellung schon jetzt rechnen.

Im Falle des Unteren Stausees wurden andere Angaben ermittelt (Abb. 2). Es besteht Interesse, den ursprünglichen oder naturnahen Gebietszustand zu rekonstruieren. Manche Wissenschaftler setzen voraus, daß viele Wasser- und Auenpflanzen auch nach einer etwas weniger als zweijährigen Überschwemmung lebensfähig sind. Die zweitjüngste Satellitenaufnahme stammt aus dem Jahre 1987. In diesem Bild wurden mit der Anwendung der Faktorenanalyse und Maximum-likelihood-Methode die sechs oben erwähnten Objektkategorien festgestellt, darunter die Waldflächen (auf die die Naturschutzinteressen sich orientieren) und die devastierten vegetationsfreien Flächen (die für die Regenerierung nicht geeignet sind). Dazu wurde auch der Küstenlinienverlauf in diesem Jahr festgestellt. Aus der Sicht der Naturregenerierung sind die schon damals überschwemmten Gebiete für diese Zwecke bereits nicht mehr geeignet. Trotzdem wurden für jeden Fall in diesem Raum nach älteren Satellitenbildern die überschwemmten vegetationsfreien Flächen ermittelt. Es ist deutlich zu sehen, daß der größte Teil des Talbodens schon nicht für die Regenerierung geeignet ist; meistens wegen der langfristigen Überschwemmung, teilweise wegen technischer Devastierung von den höchsten Dammschnitten. Man muß also damit rechnen, daß bei geringer (d.h. um 1-2 Meter) Wasserstandsenkung nur ein für den Biokorridor geeignetes Territorium im Westen des Stausees zur Verfügung steht. Zur Zeit, seit dem Jahre 1990, gibt es in diesem Raum eine zusammenhängende Wasserfläche ohne Inseln. Man muß also entscheiden, wie mit solchen Angaben weiter zu arbeiten ist. Schließlich muß man doch bemerken, daß diese Weise der Informationserfassung sehr effektiv ist. Für die Arbeit mit archivierten Karten und Satellitenbildern wurde nur die Zeit von etwa zwei Monaten und fast kein Geld benötigt.

Eine Wasserentleerung wäre zu teuer; denn ein Kubikmeter Wasser kostet etwa 1 Krone.

#### Literatur

COLWELL, R.N. (Hrsg.): Manual of Remote Sensing. Second edition. Falls Church, 1983.

TEAM: Hodnocení změn krajiny v oblasti budování a provozu nádrží Nové Mlýny (Bewertung der Landschaftsveränderungen im Gebiet des Aufbaues und Betriebs der Nové Mlýny Stauseen). Brno, 1984.

Rekultivierung im Lausitzer Braunkohlenrevier - eine Analyse  
mittels Satellitenbildern

Dr. rer. nat. M. Pilarski, Prof. K.-H. Marek, Dr. rer. nat. K. Schmidt  
Zentralinstitut für Physik der Erde, Potsdam

**Zusammenfassung:**

Der Einsatz von Satellitenbilddaten für Bestandsaufnahmen der Rekultivierung auf Kippenflächen im ökologisch stark gefährdeten Gebiet Lausitzer Braunkohlenrevier wird empfohlen. Aus ersten Ergebnissen von Klassifizierungen der Flächennutzung einer LANDSAT-TM-Szene von 1989 und einem multitemporalen Vergleich zur KFA-1000-Aufnahme von 1986 werden Rekultivierungsetappen im Gebiet der Tagebaue Schlabendorf und Klettwitz interpretiert.

**Summary:**

The application of satellite images is recommended for inventories of recultivation on dumps in the ecologically strong endangered Lusatian lignite area. From first results of LANDSAT-TM land cover classification and by a multitemporal comparison with KFA-1000 data stages of recultivation were interpreted in the area of open-casts Schlabendorf and Klettwitz.

Mit einem Territorium von ca. 5500 km<sup>2</sup> und den sich darauf befindenden Tagebauen gehört das Lausitzer Braunkohlenrevier zu den größten ökologisch gefährdeten Gebieten der BRD. Probleme der Grundwasserabsenkung, seines Wiederanstiegs, Erosionsprozesse auf den offenen und frisch rekultivierten Kippenflächen sowie die Wiederurbarmachung dieser Areale mit den Besonderheiten der Boden Neubildung sind einige der geowissenschaftlich weiter zu durchdringenden Aufgabenstellungen.

Schon seit geraumer Zeit stehen eine Reihe von Methoden aus der wissenschaftlichen Arbeit der ehemaligen DDR für ihre praktische Anwendung bereit. Dazu gehört das Know-how der Fernerkundung. Kommerziell günstig sind Bilddaten von weltraumgestützten Systemen wie LANDSAT-Thematic Mapper(digital) und KFA-1000 (fotografisch) zu erwerben. Einer der Vorteile solcher Daten besteht darin, daß die Größe des mit einer Szene betrachteten Territoriums von 185x185 km<sup>2</sup> (bei LANDSAT-TM) bzw. 80x80 km<sup>2</sup> (bei KFA-1000) sowohl einen schnellen Überblick gestattet als auch, bedingt durch die gute geometrische Auflösung dieser Aufnahmen, Bearbeitungsmaßstäbe von 1:50 000 bzw. 1:25 000 erreicht werden. Solche Daten sind eine wesentliche Voraussetzung dafür, einen nützlichen Beitrag zu den genannten umweltrelevanten Problemen der Lausitz zu leisten.

Eine wichtige Aufgabe ist die Beseitigung des Rekultivierungsdefizits, das derzeit auf etwa 15.000 Hektar geschätzt wird.

Denn die offenen Kippenflächen bedingen eine ökologische Gefährdung in verschiedener Hinsicht:

- Beeinträchtigung des Wasserhaushaltes
- Hemmung des Bodenneubildungsprozesses
- Angriffsflächen für Boden- und Winderosion mit großem Massentransport.

Klassifizierungsverfahren der digitalen Bildverarbeitung sind geeignet, zur Lösung dieser Aufgabenstellung kurzfristig Bestandsaufnahmen einer aktuellen Flächennutzung bereitzustellen. Als Beispiel wurden die Tagebaue Schlabendorf-Nord/ Schlabendorf-Süd/Seese-West und Kleinleipisch/Klettwitz/Klettwitz-Nord bearbeitet. Zur Verfügung stand die LANDSAT - Szene 193/24 vom 7. Juli 1989. Ihre Untersuchung hinsichtlich Klassentrennbarkeit ergab bei Anwendung einer unüberwachten Klassifizierung mittels Euclidischer Distanz maximal 20 Klassen. Für eine überwachte Klassifizierung des Rekultivierungsstandes auf Kippenflächen konnten für Schlabendorf 7 Klassen sinnvoll ausgehalten werden, für Klettwitz 11 Klassen. Dabei wurde im Hinblick auf die Fragestellung zur Rekultivierung keine Trennung landwirtschaftlicher Kulturen vorgenommen. Vorrangig kam es darauf an, Aufforstungen unterschiedlichen Alters auszuhalten.

In Verbindung mit einer Auswertung der KFA-Szene dieses Gebietes vom 3. Juni 1985 wird eine Aussage zur räumlichen Verteilung der rekultivierten Kippenflächen in unterschiedlichen Stadien ihrer Entwicklung angestrebt (vgl. Abb.1 und 2). Sie dient einer Zustandsanalyse der Flächennutzung und Nutzungsanordnung im Sinne einer Ableitung von weiteren Rekultivierungsmaßnahmen und einer Bewertung getroffener Maßnahmen.

Unter Einbeziehung von weiteren Vegetationsmerkmalen und einer bodengestützten Testgebietswahl sind neue qualitative Aussagen zur Bewertung von Rekultivierungsmaßnahmen zu erwarten.

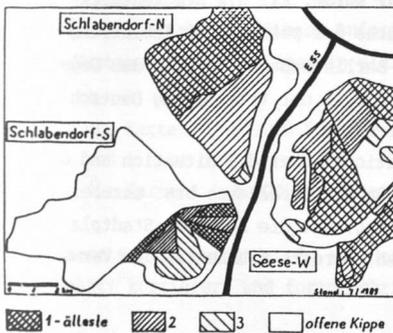


Abb. 1: Rekultivierungsstapen um Schlabendorf

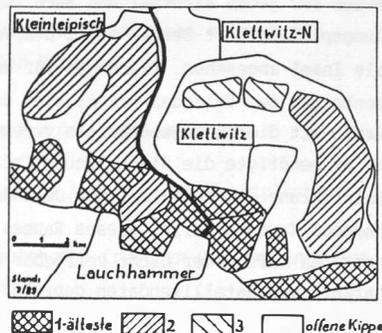


Abb. 2: Rekultivierungsstapen um Klettwitz

Einsatz von Satellitendaten für die  
Stadt- und Regionalplanung

Dr. Ulrich Stark

Senatsverwaltung  
für Stadtentwicklung und Umweltschutz

**Zusammenfassung**

Die heute zur Verfügung stehenden Fernerkundungssatelliten liefern Daten, die die Herstellung von Satellitenbildkarten im Maßstab 1 : 50.000 und kleiner von hoher Qualität und Aktualität ermöglichen. Diese Bildkarten vermitteln einen guten visuellen Eindruck der Topographie und der Flächennutzung des erfaßten Gebietes. Durch Umwandlung der Raster in Vektordaten lassen sich diese Informationen für die Aufgaben der Regionalplanung dv-technisch weiterverarbeiten (z. B. Flächenbilanzierung) und mit weiteren Sachdaten überlagern.

**Summary**

The today available remote sensing satellites deliver data, which make it possible to produce satellite image maps in scale 1 : 50.000 and less with high quality and actuality. These image maps mediate a good visible impression of topography and landuse of the recorded area. It is possible to evaluate by transformation of screen - in vectordata with computer (for instance land use balance) and to combine with other thematic data.

Obwohl Berlin bereits kurz nach dem 2. Weltkrieg in 2 Regierungsbereiche, ja in 2 Gesellschaftssysteme geteilt wurde, was durch den Bau der Mauer für jeden sichtbar und auch fühlbar wurde, hat die Stadtentwicklungsplanung West-Berlin trotz des Versuchs der politischen Isolierung nie als Insel angesehen. Planungen für West-Berlin mußten sich an den Gegebenheiten des Umlandes orientieren und im Fall der Vereinigung Deutschlands mit diesen Gegebenheiten vereinbar sein.

Dafür benötigte die Stadtplanung Informationen über die Situation und die Entwicklung des West-Berliner Umlandes. Da nur veraltetes bzw. unzureichendes Kartenmaterial dieses Raumes vorlag, hat die Berliner Stadtplanung, da Luftbilder nicht verfügbar waren, bereits frühzeitig die Verwendbarkeit von Satellitendaten geprüft.

In der 2. Hälfte der 80er Jahre wurde die TU Berlin mit der Erarbeitung eines schwarz-weißen Satellitenbildes beauftragt. Aufgrund dieser ersten Versuche und zusätzlich angekaufter Satellitendaten wurden Ende der 80er Jahre Satellitenbildkarten für Berlin und Umgebung durch Überlagerung von LANDSAT- und ISPO-T-Daten erzeugt und in den Maßstäben 1 : 50.000 und 1 : 100.000 gedruckt.

Konnten diese Bildkarten die bis 1990/91 bestehenden Informationslücken zumindest teilweise füllen, so stellte sich doch die Weiterverarbeitung der in den Karten enthaltenen Informationen bzw. ihre Verwendung als kartographische Grundlagen als umständlich und wenig praktikabel heraus. Deshalb war es Ziel der Stadtentwicklungsplanung, die wesentlichsten Aussagen über Topographie und Flächennutzung in das Geographische Informationssystem (GIS) bei der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz zu übernehmen.

1987 wurde bei der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz mit dem Aufbau eines GIS nach umfangreichen Voruntersuchungen und Marktanalysen auf der Basis des Siemenssystems SICAD begonnen. Die Vergleichstests zeigten, daß SICAD für die unterschiedlichen Aufgaben

- der Stadtentwicklung,
- des Naturschutzes,
- des Wasserwesens und
- des Umweltschutzes

das System ist, das diesen Anforderungen weitestgehend entspricht.

2 Kartengrundlagen liegen in digitaler Form vor:

1. Die Karte 1 : 50.000 für die Aufgaben des Umweltatlases und
2. die Karte 1 : 4.000 für detailliertere Aussagen der Stadtplanung.

Diese Karten werden z. Z. auf das Gebiet des früheren Ost-Berlin ausgedehnt, korrigiert und fortgeschrieben.

Da nach Öffnung der Mauer, der Vereinigung Berlins und der Bildung der 5 neuen Bundesländer einerseits der Informationsbedarf über Topographie und Flächennutzung in der Region noch gestiegen ist und andererseits die traditionelle Kartographie nicht in der Lage war, die bestehenden Informationslücken zu schließen, wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, das GIS für Berlin auf die Region auszudehnen.

Da eine automatisierte Klassifizierung noch zu unsicher erschien und SICAD-HYGRIS für die Bildverarbeitung nicht zur Verfügung steht, wurden die vorhandenen Satellitenbildkarten digitalisiert. Die Zuordnung der Karten ins Gauß-Krüger- bzw. Berliner Soldner-System erfolgt über Paßpunkte.

In einem ersten Ansatz wurden die Flächen nach 9 Nutzungskategorien digitalisiert und in einem 2. Arbeitsschritt weiter differenziert und um Linienelemente wie Straßen, Autobahnen und Eisenbahnlinien sowie Flughäfen vervollständigt.

Durch dv-technische Überlagerung dieser Karte mit den Gemeindegrenzen können für die Umlandgemeinden Flächenbilanzierungen nach 10 Kategorien gebildet werden. Darüber hinaus lassen sich dann Karten mit der Flächennutzung und weiteren Aussagen wie

- Bevölkerungsverteilung,
- Anzahl der Wohnungen,
- Bevölkerungsdichte usw.

erstellen.

Da der bisher vorliegende Ausschnitt der Umgebung Berlins nicht den auch für die Planung eines neuen Großflughafens relevanten Raum Wünsdorf-Jüterbog umfaßt, wurden neue Satellitenszenen (Spot) von diesem Raum angekauft, die gleichzeitig zur Aktualisierung der digitalisierten Kartengrundlagen von der Region Berlin Verwendung finden.

Zur Ableitung von Wärmebelastungsstufen der Berliner Stadtbezirke  
mit Hilfe von Satellitenbilddaten

Dr.rer.nat.K.Schmidt, Prof.Dr.sc.K.-H.Marek,  
Zentralinstitut für Physik der Erde

Zusammenfassung

Aussagen zur thermischen Belastung sind ein wichtiges Element zur Bewertung des lokalen Mikroklimas und damit der gesamten ökologischen Situation, insbesondere in städtischen Ballungsräumen. Für den Großraum Berlin wurde für einen Aufnahmezeitpunkt im Mai 1990 aus einer Landsat-TM - Szene mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung eine Karte der Wärmebelastung im Maßstab 1 : 140 000 abgeleitet und für einige ausgewählte Stadtbezirke eine Belastungskennzahl angegeben.

Summary

Conclusions about thermal immission are major elements for the assessment of the local microclimate in characterizing the general ecological situation especially in mass- populated urban areas. For the Berlin area a Landsat TM - scene dated from May 1990 was processed to derive a map featuring the thermal immission on a scale of 1 : 140 000. For some selected city districts a thermal stress parameter was computed.

1. Zielstellung

Aussagen zur thermischen Belastung sind wichtiger Bestandteil für die Bewertung des Mikroklimas in Stadtgebieten. Für die Region Berlin wird mit Hilfe des Thermalinfrarotkanals (Pixelgröße 120 m) einer LANDSAT -TM - Szene vom Mai 1990 mit bekannten Methoden der Bildbearbeitung eine thematische Karte für die relative Temperaturverteilung im Maßstab 1 : 140 000 abgeleitet.

2. Methodik

Ausgehend von der originalen Grauwertverteilung des Thermalkanals erfolgt zunächst eine Pseudocolorierung nach dem Äquidensitenverfahren. Die Anzahl und Lage der Äquidensiten werden interaktiv bestimmt. Um die Farbanteile der Äquidensiten im Hinblick auf das Temperaturverhalten zu quantifizieren, werden im nächsten Schritt die Histogramme sowohl für das gesamte Berliner Stadtgebiet als auch für einzelne, ausgewählte Stadtbezirke nach dem k-means-Algorithmus segmentiert. Als optimale Partition wird jene Segmentierung ausgewählt, die visuell die größte Ähnlichkeit mit der Äquidensitendarstellung besitzt. Aus den Grauwertanteilen der segmentierten Grauwertbereiche (Cluster) und ihrer Farbcodes wird eine Belastungskennzahl abgeleitet.

### 3. Kalibrierung der Grauwerte

Die Temperaturwerte sind die mittels Eich Tabellen umgerechneten Grauwerte /1/, die am Sensor in dessen Umlaufhöhe gemessen werden. Zur Umrechnung auf Bodentemperaturen müssen die Anteile der Atmosphärenabsorption und der -emission berücksichtigt werden. Da die Vorzeichen beider Anteile entgegengesetzt sind und ihre absoluten Werte in derselben Größenordnung liegen, ist die Sensortemperatur in vielen Fällen gleich der Bodentemperatur der Objekte. Für einen direkten Vergleich beider Temperaturen bieten sich insbesondere Gewässer an, da diese Objekte bezüglich ihrer Temperaturverteilung homogen sind und eine hinreichende Ausdehnung im Hinblick auf die Auflösung des Sensors besitzen (120 m).

Die Wassertemperatur des Müggelsees in Berlin-Köpenick betrug zum Aufnahmezeitpunkt 18 °C /2/, während für die am Sensor gemessene Temperatur 18,1 °C ermittelt wurden. Ein analoger Vergleich über Landoberflächenobjekte kann nur angestellt werden, wenn entsprechend große, homogene Areale (Ackerflächen, Wiesen, Parkplätze u.a.) vorliegen.

### 4. Ergebnisse

Erzeugt wurden die Farbäquidensiten und Histogrammsegmentierungen für acht Temperaturstufen für das Gesamtgebiet Berlin und der ausgewählten Stadtbezirke. Zur besseren räumlichen Orientierung wurden zusätzlich die topographische Karte TK200 bzw. die Stadtbezirksgrenzen mit der bearbeiteten Bildszene überlagert. Auffällige Gebiete mit hohen Temperaturen sind Industrie- und Verkehrsanlagen wie z.B. die Flughäfen Tegel und Tempelhof, die Rangierbahnhöfe Schöneweide und Wuhlheide, der Westhafen, der nordöstliche Teil des (ehemaligen) S - Bahnringes, die Industriegebiete Lichtenberg (Kraftwerk), Rummelsburg und Marzahn sowie innerstädtische Wohnflächen. Hohe Temperaturen weisen ferner landwirtschaftliche Nutzflächen mit geringem Vegetationsbestand (Kartoffeln) zum Aufnahmezeitpunkt auf. Weniger ausgeprägt ist das Temperaturverhalten der großen Wohngebiete in Stadtrandlagen (Marzahn, Hohenschönhausen, Hansaviertel, Märkisches Viertel). Größere Flächen mit geringeren Temperaturen sind charakteristisch für Gewässer und die sie umgebenden ausgedehnten Waldgebiete (Grünwald, Tegeler Forst, Friedrichshagen). Auch die südwestlichen Vororte Berlins mit ihrer lockeren Bebauung sind thermisch geringer belastet.

Beim Vergleich zwischen einzelnen Stadtbezirken ist festzustellen, daß die Innenstadtbezirke insgesamt höhere Temperaturen aufweisen als die Randlagen (Tafel 1). Die Belastungskennzahlen für die Stadtbezirke Mitte, Tiergarten, Wedding, Kreuzberg, Prenzlauer Berg liegen generell über denjenigen der Stadtbezirke Reinickendorf, Steglitz und Wilmersdorf. Der flächenmäßig große Stadtbezirk Reinickendorf im Norden besitzt bis auf den Flughafen Tegel keine Gebiete mit hohen Temperaturen. Dagegen wird die thermische Situation des Stadtbezirkes Treptow vor allem durch

den Rangierbahnhof und das Industriegebiet Schöneweide geprägt. Trotz seiner Flächengröße liegt seine Belastungskennzahl über dem Berliner Gesamtwert.

Tafel 1 Tabelle der thermischen Belastung

| <u>Stadtbezirk</u> | <u>Belastungskennzahl</u> |
|--------------------|---------------------------|
| Berlin (Gesamt)    | 270                       |
| Mitte              | 316                       |
| Kreuzberg          | 287                       |
| Wedding            | 297                       |
| Tiergarten         | 305                       |
| Prenzlauer Berg    | 306                       |
| Treptow            | 300                       |
| Charlottenburg     | 277                       |
| Wilmerdorf         | 231                       |
| Steglitz           | 228                       |
| Reinickendorf      | 220                       |

### 5. Schlußfolgerungen

Obwohl die Pixelstruktur im Thermalkanal deutlich sichtbar ist, kann eine räumliche Differenzierung der Temperaturverteilung in den Maßstäben 1 : 100 000 - 1 : 200 000 vorgenommen werden. Für Detailkartierungen in größeren Maßstäben, z.B. für Untersuchungen im ehemaligen Mauergrenzstreifen oder bei Temperaturmessungen über kleineren Grünflächen, sind Befliegungen mit Thermalscannern notwendig.

### Literatur

- /1/ Bartolucci, L.M.: Calibration of Landsat-5 TM Thermal IR Data, LARS/Pardue University West Lafayette, Indiana U.S.A.
- /2/ Täglicher Wetterbericht vom 7.5.1990, herausgegeben vom Meteorologischen Dienst der DDR

## Methoden und Probleme der Luftbildauswertung zur ökologischen Stadtforschung in Halle

Wolfgang Frotscher

Geographisches Institut  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
0-4020 Halle/S. Domstraße 5

### Zusammenfassung

Am Beispiel des GIS "Stadtregion Halle" werden für ökologisch orientierte Forschungen die Integrationsmöglichkeiten von analogen und digitalen Luftbilddaten diskutiert. Die methodischen Voruntersuchungen beinhalten vor allem die Analyse des spektralen Abbildungsverhaltens städtischer Oberflächenarten in multispektralen und spektrozonalen Luftbildpositiven. Dabei werden die Probleme der Schatteneinflüsse, der Mischpixelbildung und der damit verbundenen Schwierigkeiten einer eindeutigen Objektrennung deutlich. Auf der Basis analoger Interpretationsmethoden sind die benötigten Daten mit akzeptabler Qualität und Genauigkeit erfassbar. Die Ermittlung der Flächenanteile an Grundtypen von Oberflächenarten mittels digitaler Bildklassifizierung erbringt allerdings nur durchschnittliche Genauigkeiten von 70-95%. Am Ende der GIS-gestützten Datenverarbeitung stehen ökologisch interpretierbare und realflächenbezogene Kennwerte, die in computerkartographischer Form repräsentiert werden und in stadtoökologische Planungen mit einfließen können.

### Summary

At the example of the GIS "Urban region of Halle" and in connection with urban-ecological researches are discussed possibilities of the integration of data available from aerial photographs. The methodical preliminary examinations include the analysis of spectral signatures of the so-called urban types of surfaces in multispectral and spectrozonal photo-positives. It can be shown the problems by the object-discrimination, further the interpretation difficulties in regard with the influences of shadows and the mixed picture elements. Using a visual method of interpretation most of the necessary data can be registered to some purpose. The designation of the area portions of the basic surface types by digital picture classification leads to results with an average accuracy of only 70-95%. At the end of the GIS-assisted data processing are computed various indexes, which refer to real areas and which can be ecologically interpreted. By representation the results in computer maps the assisting of urban planning seems possible.

## 1. GIS-Konzept für urbanökologische Untersuchungen

Im Rahmen komplex-geographischer Forschungen wurde am Geographischen Institut der MLU Halle-Wittenberg ein GIS "Stadtregion Halle" aufgebaut. Um den Erfordernissen urbanökologischer Arbeiten sowie den stadtplanerischen Absichten gerecht zu werden, ist zunächst eine qualitative und quantitative Erfassung bestehender Stadtstrukturen, Zustände und Wirkungsgefüge notwendig.

Dazu wurde der Teildatenspeicher "Landeskulturelle Hauptmerkmale" konzipiert. Auf der Basis vorerst einfacher Merkmale der Stadtlandschaft werden die erste Bestandsaufnahme, indikative Analyse und Bewertung der städtischen Umweltbedingungen möglich (vgl. LEYKAUF, NIEBER, VILLWOCK & WALOSSEK 1989, LEYKAUF & VILLWOCK 1991).

Derzeit kann auf die in Tabelle 1 aufgelistete Datenstruktur zurückgegriffen werden.

| Feld-Nr. | Feld-Name | Feld-Typ | Feld-Länge | Bemerkungen  |
|----------|-----------|----------|------------|--|
| 001      | NRULE     | N        | 006        | Nummer der Bezugseinheit   |
| 002      | FAV       | N        | 001        | prozentuale Anteile an Vegetationsflächen (FAV), bebauten Flächen (FABBF), befestigten Freifl. (FABFF) u. Wasserfl. (fAW); in 7 Anteilsklassen |
| 003      | FABFF     | N        | 001        |  |
| 004      | FABBF     | N        | 001        |  |
| 007      | FAW       | N        | 001        |  |
| 005      | VST       | N        | 001        | Vegetationsstrukturtyp; 9 Typen  |
| 006      | SFV       | C        | 002        | Spezielle Form der Vegetationsausbildung; 12 Formen  |
| 008      | TYPBBS    | N        | 001        | Bebauungsstrukturtyp; 9 Typen  |
| 009      | DNF       | N        | 002        | Dominante Nutzungsfunktion; 14 Funktionen  |
| 010      | FLÄCHE    | N        | 004        | Fläche in ha   |

Tab.1: Datenstruktur des Teildatenspeichers "Landeskulturelle Hauptmerkmale"

Als Bezugsflächen der Datenerhebung dienen "Urbanökologische Landschaftseinheiten" (ULE). Ihre areale Abgrenzung beruht auf Voruntersuchungen zur landschaftsökologischen Raumgliederung des

halleschen Stadtterritoriums (BREUSTE 1986), aber auch auf pragmatischen Überlegungen (z.B. handhabbare Flächengrößen und überschaubare Anzahl von Einheiten). Insgesamt wurden mit Hilfe von spektrozonalen Luftbildern 1872 ULE ausgegliedert, die in 57 "Städtischen Planungseinheiten" (SPE) zusammengefaßt sind. Ihre Flächengröße schwankt zwischen 0.3ha und 20ha. In Abbildung 6 (links oben) sind die ULE-Abgrenzungen für einen Ausschnitt der Abbildung 2 dargestellt.

## 2. Integration von Luftbilddaten

Prinzipiell ist vor allem die Auswertung von Luftbildern in großen und mittleren Maßstäben für eine zeiteffektive, aktuelle und flächendeckende Datenerfassung vorgesehen. In Anlehnung an KUGLER, RIEDEL und VILLWOCK (1984) wurde eine entsprechende Interpretationsmethodik erarbeitet und am Beispiel ausgewählter Untersuchungsgebiete getestet (vgl. FROTSCHER 1990). Das Ablaufschema gibt Abbildung 1 wieder.

Im Mittelpunkt der Analysen zur Klärung der Einsatzmöglichkeiten von Luftbilddaten in das GIS-Konzept standen u.a. folgende konkret zu klärende Fragestellungen:

- Welche Inhalte des Datenspeichers können überhaupt sinnvoll mittels des zur Verfügung stehenden Bildmaterials erfaßt werden?
- In welcher Genauigkeit lassen sich die einzelnen Merkmale bestimmen?
- Wo liegen die fernerkundungsspezifischen Interpretationsschwierigkeiten, und welche Lösungsansätze bestehen?
- Welche Möglichkeiten und Grenzen ergeben sich beim Einsatz analoger bzw. digitaler Auswerteverfahren?

Im Rahmen des Aufsatzes kann nicht auf alle Punkte detailliert eingegangen werden. Besonderer Wert wird deshalb vor allem auf die spektralen Objekt-Abbild-Untersuchungen gelegt.

## 3. Zum Bildmaterial

Für die Interpretationsaufgaben standen multispektrale und spektrozonale Luftbildpositive einer MKF-6-Befliegung der Stadt Halle

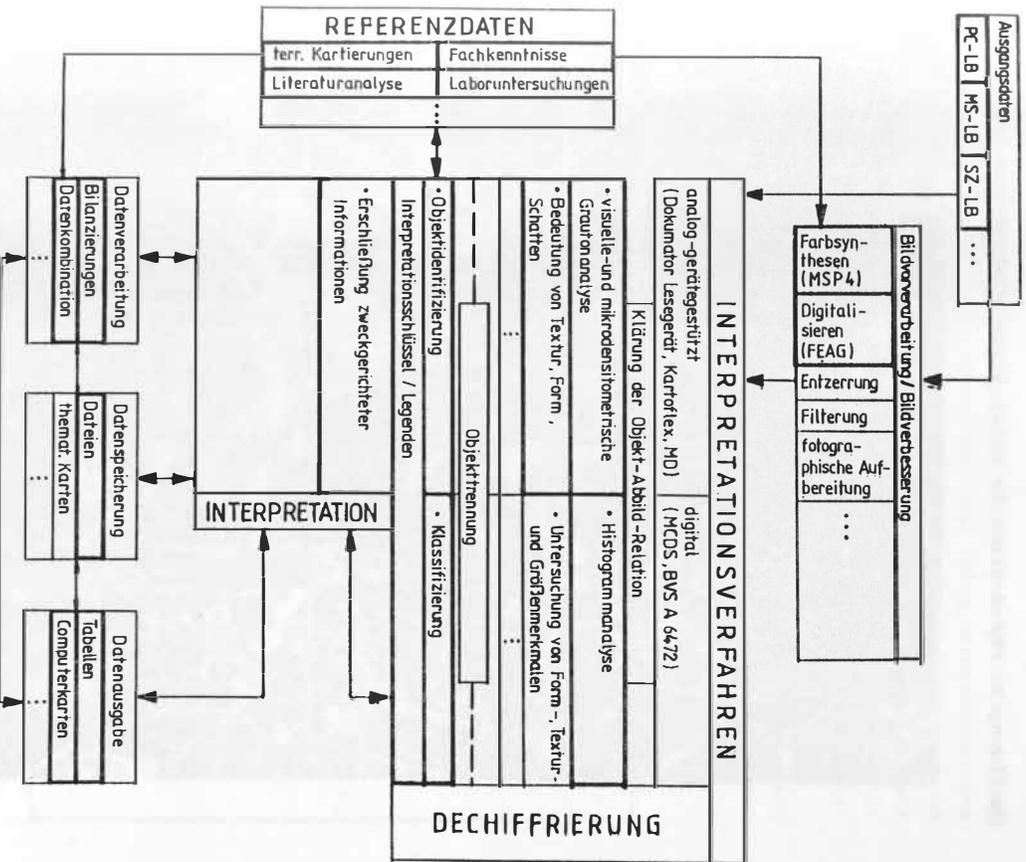


Abbildung 1: Interpretationsmethodik zur Gewinnung von Luftbild-  
 informationen für den Teildatenspeicher "Landeskultu-  
 relle Hauptmerkmale"  
 (durchgeführte Teilschritte \_\_\_\_\_), (in Anlehnung an  
 KUGLER, RIEDEL & VILLWOCK 1984)

Abbildung 2: MKF-6-Szene im Kanal 4 vom Stadtzentrum (TG Markt)



aus dem Jahr 1985 zur Verfügung. Da die Aufnahmen ohne größere Längs- und Querüberdeckung erfolgten, war eine stereoskopische Bildauswertung nicht möglich. Darüberhinaus handelte es sich um geometrisch und radiometrisch nicht entzerrte Luftbilder. Bewußt wurde auf eine umfangreiche Vorverarbeitung verzichtet, um damit den gegenwärtig bestehenden Auswertebedingungen in vielen Planungseinrichtungen Rechnung zu tragen.

Zur Aktualisierung von Datenbeständen und zum Feststellen von Veränderungen in den Untersuchungsgebieten konnte auf panchromatische Reihenmeßbilder von 1989 zurückgegriffen werden. Nähere Angaben zu den technischen und Befliegungsdaten sind in Tabelle 2 aufgeführt.

|                                      | MS-<br>Luftbilder   | CIR-<br>Luftbilder        | PC-<br>Luftbilder      |
|--------------------------------------|---|---------------------------|------------------------|
| Kammertyp                            | MKF-6   | MKF-6                     | LMK 15                 |
| Aufnahmedatum                        | 4.7.1985  | 4.7.1985                  | 26.5.1989              |
| Aufnahmezeit                         | 11.05-12.32   | 11.05-12.32               | 8.32-10.40             |
| Flughöhe (in m)                      | 3125  | 3125                      | 1900                   |
| Kammerkonstante (in mm)              | 125   | 125                       | 152                    |
| Aufnahmemaßstab                      | 1:24800   | 1:24800                   | 1:12400 bis<br>1:13000 |
| Kanal und<br>Spektralbereich (in nm) | 1 460-500<br>2 520-560<br>3 580-620<br>4 640-680<br>6 790-890 | 500-680<br>und<br>700-800 | 400-700                |
| Filmsorte                            | Typ 28; für<br>K6 I840  | SN 6                      | VF 45                  |
| Bildformat (in cm x cm)              | 5.5 x 8.1   | 5.5 x 8.1                 | 23 x 23                |
| Filmnummer                           | 55/86   | 55/86                     | F161/89                |

Tab.2: Technische und Befliegungsdaten zu den verwendeten Luftbildern

Eine entsprechende Multispektralszene vom Testgebiet Halle-Neustadt zeigt Abbildung 2.

Zur Unterstützung der visuellen Interpretation wurden gezielt Farbsynthesen hergestellt. Als besonders geeignet für die Ausglie-

derung von Oberflächenarten (vgl. Abschnitt 4.) erwies sich die Farbcodierung der Kanäle 2, 4 und 6 entsprechend mit Rot, Violett und Grün.

#### 4. Untersuchungsgegenstand

In den seltensten Fällen stimmen bei thematisch ausgerichteten Arbeiten der Forschungsgegenstand und das in den Fernerkundungsaufzeichnungen abgebildete Objekt überein. Aus diesem Grund wurden für die methodischen Objekt-Abbild-Untersuchungen die Oberflächenarten als geeignete Bezugsgrundlage ausgewählt. Nach KRAUSE (1989) wird unter diesem Begriff "... der unterschiedliche, durch die Nutzungsarten bestimmte und vorwiegend mittels technischer Maßnahmen entstandene materielle Zustand der städtischen Siedlungsfläche unter Einbeziehung ihrer ökologisch wirksamen vertikalen Strukturmerkmale.." verstanden. Eine vereinfachte Gliederung der Oberflächenarten vermittelt Abbildung 3.

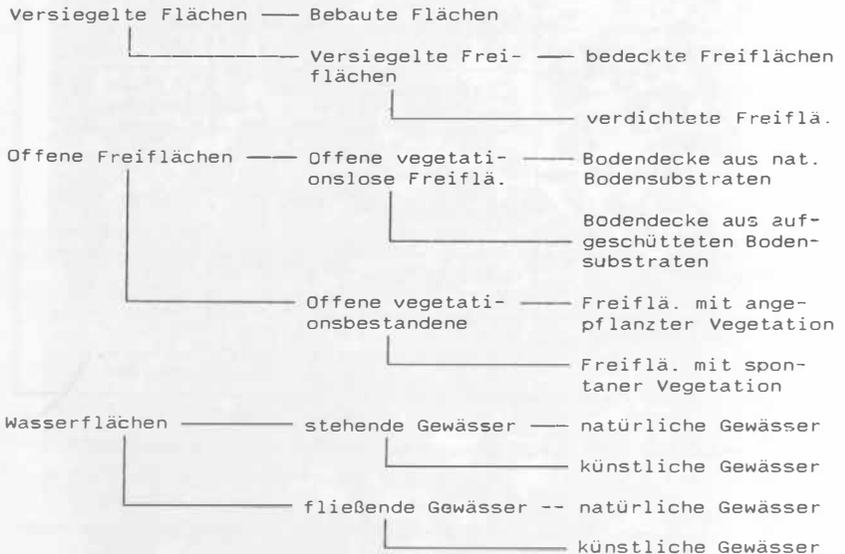


Abbildung 3: Gliederung der städtischen Siedlungsfläche nach ökologisch relevanten Oberflächenarten (vereinfacht nach KRAUSE 1989)

Hinzu kommen noch Vegetations-Sonderflächen (z.B. bewachsene vertikale Wände und Dächer) sowie vegetationsüberschirmte Flächen. Zu den wesentlichen Differenzierungsmerkmalen der versiegelten Flächen zählen Materialart, Dachform, Bauhöhe sowie Lage- und Anordnungseigenschaften. Die Vegetation läßt sich u.a. durch Vegetationstyp, Vegetationsschichtung, Höhe, Schädigungs- und Vitalitätsmerkmale näher charakterisieren.

Für eine ganze Reihe luftbildgestützter Untersuchungen erweisen sich somit die städtischen Oberflächenarten als geeignete Analysegrundlage, weil das fachwissenschaftliche Studienobjekt, hier zu verstehen als Träger ökologisch relevanter Wirkungen, direkt in Grau- oder Farbtönen abgebildet wird und interpretiert werden kann.

## 5. Bildauswertung

### 5.1. Spektrale Abbildung städtischer Oberflächenarten

Die methodisch ausgerichteten mikrodensitometrischen Messungen zur Klärung des Objekt-Abbild-Verhaltens wurden insbesondere an ausgewählten versiegelten Flächen vorgenommen. Der nach mehreren Tests benutzte Meßspalt entspricht einer Naturfläche von 2.48m x 2.48m. Für jede Oberflächenart erfolgten in den einzelnen Kanälen stichprobenartig 50 bzw. 100 Messungen. Die Ergebnisse wurden in Form von Schwärzungskurven zusammengefaßt (vgl. Abbildung 4).

Darüberhinaus war im Hinblick auf eine rechnergestützte Bildklassifizierung von Interesse, ob und wie gut die einzelnen Oberflächenarten multispektral trennbar sind. Auf der Basis der gemessenen Schwärzungswerte wurden entsprechende Voruntersuchungen im 2-dimensionalen Merkmalsraum durchgeführt. In Abbildung 5 sind für das Testgebiet Halle-Neustadt einige Kanal/Kanal- und Kanal/Ratio-Kombinationen dargestellt.

Bei Beachtung des Stichprobencharakters der Arbeiten lassen sich in Ergänzung zu den Abbildungen 4 und 5 folgende Aussagen zur spektralen Abbildung ausgewählter Oberflächenarten der Stadtregion Halle machen (vgl. FROTSCHER 1990).

Sowohl für bebaute Flächen als auch für versiegelte Freiflächen ist in allen Spektralbereichen eine deutliche Abhängigkeit der

Objektschattung

1. Dachflächen
  - 1.1. Dachpappe/dunkelgrau-schwarz
  - 1.2. Dachpappe/dunkelgrau
  - 1.3. Dachpappe/mittelgrau
  - 1.4. Teerdach/schwarz
  - 1.5. Dachpappe/hellgrau
  - 1.6. Dachziegel/dunkelrot
  - 1.7. Dachziegel/dunkelrot
  - 1.8. Schieferplatten/schwarz
  - 1.9. Wellenbest/hellgrau-weiß
2. Versiegelte Freiflächen
  - 2.1. Beton/hellgrau/Fußweg
  - 2.2. Beton/hellgrau/Straße
  - 2.3. Beton/hellgrau-mittelgrau, farbig
  - 2.4. Asphalt/hellgrau-mittelgrau
  - 2.5. Asphalt/mittelgrau
  - 2.6. Asphalt/mittelgrau-dunkelgrau/  
Öl- und Seifenpuree
  - 2.7. Fliesen (Gußschlacke)/graublau
  - 2.8. Fliesen (Porphyr)/dunkelrot
  - 2.9. Fliesen (Gußschlacke, Porphyr) und  
Beton/gelblich, rötlich, graublau
  - 2.10. Porphyrtrot/rötlich
  - 2.11. Hausschatten
3. Vegetationsflächen
  - 3.1. Rosen/dicht
  - 3.2. Baum- und Gebüschflächen/Schatten
4. Wasserflächen
5. Sonstiges  
Baustelle (Mischsubstrate)/verschiedenfarbig

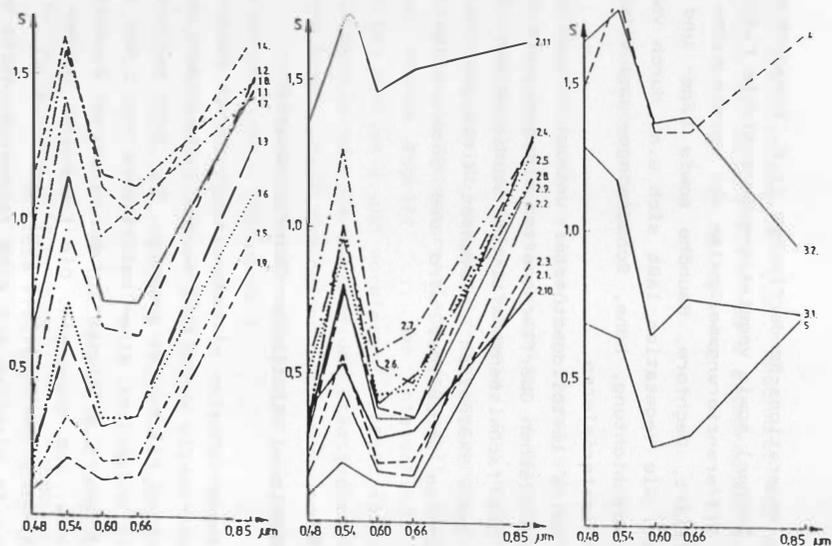


Abbildung 4: Schwärzungskurven für typische Oberflächenarten der Stadtregion Halle

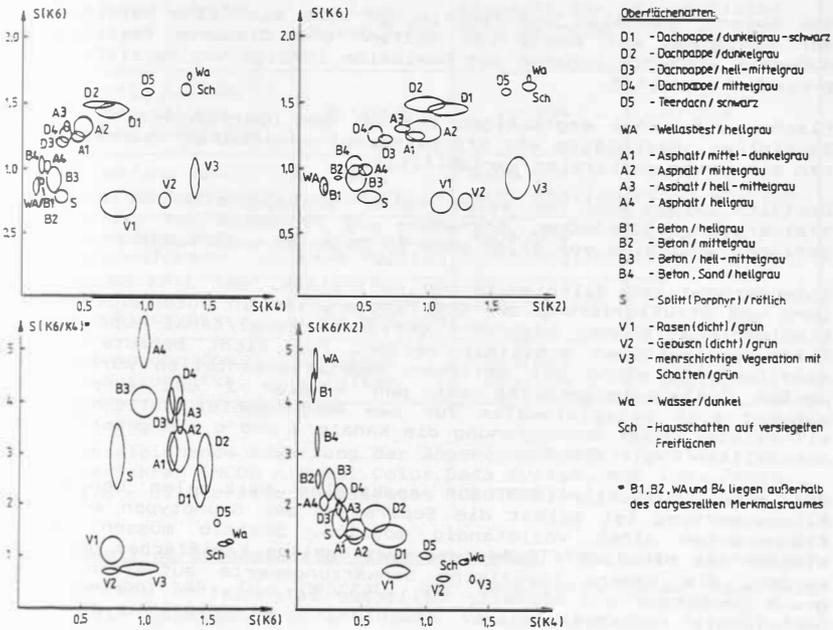


Abbildung 5: Schwärzungsverhalten der Oberflächenarten im 2-dimensionalen Merkmalsraum bei verschiedenen Merkmalskombinationen (Testgebiet Halle-Neustadt)

Schwärzung von Material, Oberflächenfarbe und baulichem Zustand der Untersuchungsobjekte festzustellen.

Die Schwärzungskontraste sind in der Regel in den Spektralbereichen von 520-560nm und 640-680nm am größten.

Von allen Dachmaterialien unterliegt die Dachpappe am stärksten Alterungs- und Verwitterungsprozessen, was sich in einer relativ hohen Streuung der Schwärzungswerte ausdrückt (vgl. Abb.4, Kurven 1.1. bis 1.5.).

Obwohl die Material-, Farb- und Zustandsvielfalt von versiegelten Freiflächen gegenüber Dachflächen größer ist, wirkt sich das nicht unbedingt auf einen höheren Gesamtkontrast der Schwärzung aus.

Bei Beton-, Asphalt- und Teerflächen läßt sich eine Verringerung der Remission auf Grund von Reifen- und Ölpuren feststellen. Außerdem wird die Zunahme der Remission infolge von Verwitterungsprozessen vermutet.

Flächen mit einem engräumigen Wechsel der Oberflächenarten (z.B. Baustellen, Parkplätze mit Kfz-Belegung) verursachen Mischsignaturen mit hoher spektraler Variabilität.

Deutlich lassen sich vor allem "reine" Schlagschatten in den Spektralbereichen 520-560nm, 640-680nm und 790-890nm auf Grund ihrer geringen Remission von allen anderen Objekten unterscheiden.

Entsprechend des differenzierten Auftretens der arealen Verteilung und Strukturierung der Oberflächenarten in unterschiedlichen Stadtgebieten können besonders geeignete Kanal/Kanal- und Kanal/Ratio-Kombinationen ermittelt werden. Für dicht bebaute innerstädtische Bereiche mit geringen Vegetationsanteilen wurden die besten Trennungsergebnisse mit den Kanälen 2 und 4 erzielt, während sich beispielsweise für das Neubaugebiet Halle-Neustadt mit relativ guter Durchgrünung die Kanäle 4 und 6 als günstig herausstellten (vgl. Abb.5).

Mit einer ausschließlich auf spektralen Merkmalen beruhenden Bildauswertung ist selbst die Separation der Grundtypen an Oberflächenarten nicht vollständig möglich. Deshalb müssen Mischklassen aus bebauten Flächen und versiegelten Freiflächen gebildet werden, die nahezu identische Schwärzungswerte aufweisen (z.B. graue Dachpappe und Asphalt; hellgraue Betonplatten und hellrote Dachziegel; Kopfsteinpflaster (Porphyr) und dunkelrote Dachziegel).

Auch innerhalb der Grundtypen an Oberflächenarten kann die aus ökologischer Sicht durchaus erstrebenswerte hohe thematische Differenzierung (z.B. für detaillierte Aussagen über Art der Bodenversiegelung) durch die multispektrale Bildauswertung nicht erreicht werden. Außerdem ist zu beachten, daß trotz hoher geometrischer Auflösung von 1m x 1m bei den digitalisierten Luftbildern nicht in jedem Fall von nach Material, Farbe und Zustand homogene Bedingungen repräsentierenden Pixeln ausgegangen werden kann. So kommt es von vornherein zur Abbildung von Mischsignaturen.

## 5.2. Interpretationsergebnisse

Im Zusammenhang mit der eingangs vorgestellten Struktur des Teil-datenspeichers "Landeskulturelle Hauptmerkmale" und unter Einbeziehung der Spektraluntersuchungen wurden sowohl analoge als auch erste digitale Auswerteverfahren angewandt. Eine zusammenfassende Einschätzung gibt Tabelle 3.

| Bewertungskriterien   | analoge Auswertung       | Klassifizierung am MCDS | Klassifizierung am BVS A6472 |
|---|--------------------------|-------------------------|------------------------------|
| Genauigkeit bei der Flächenermittlung (FAV, FABFF, FABBFF, FAW) | 90-100%                  | 70-95%                  | 60-95%                       |
| Ausgliederung von Vegetationsstrukturen                         | gut möglich              | kaum bis nicht möglich  | kaum bis nicht möglich       |
| Kennzeichnung von Vegetationsformen                             | gut bis kaum möglich     | kaum bis nicht möglich  | kaum bis nicht möglich       |
| Bestimmung des Bbauungsstrukturtyps                             | sehr gut bis gut möglich | gut möglich             | gut möglich                  |
| Ermittlung der dominanten Nutzungsfkt.                          | bedingt möglich          | bedingt möglich         | bedingt möglich              |

Tab.3: Vergleichende Bewertung der angewendeten Interpretationsverfahren (MCDS - Multi Color Data System, NAC Inc. Japan, BVS - Bildverarbeitungssystem ROBOTRON)

Die visuell-gerätegestützte Interpretation führt zu insgesamt guten Ergebnissen. Die Mehrzahl der benötigten Daten kann mit akzeptabler Genauigkeit erfaßt werden. Am geeignetsten für die Interpretation erweisen sich die Spektrazonalbilder und gezielt hergestellte Farbsynthesen. Umfangreiche Untersuchungen liegen dazu auch von RÖßNER (1990) vor.

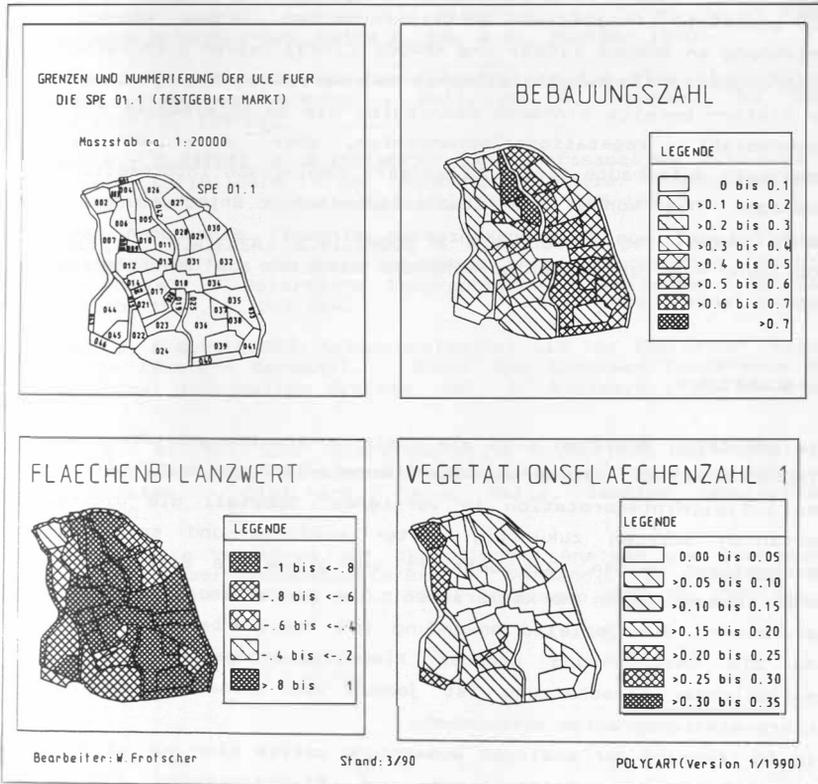
Allerdings sind nach den bisherigen Untersuchungen einer thematisch detaillierten Erfassung der Oberflächenarten z.B. nach Versiegelungstyp oder Materialart, zumindest im betrachteten Maßstabsbereich, eindeutige Grenzen gesetzt. Problematisch ist ebenfalls die inhaltliche Differenzierung von Schattenarealen, vegetationsüberschirmten Flächen und verdeckten Bildbereichen

infolge der radialen Bildpunktverlagerung. Nach empirischen Untersuchungen unter Zuhilfenahme von terrestrischen Vergleichskartierungen schlägt FROTSCHER (1990) die Anwendung von Korrekturgruppen vor. Danach erfolgt in Abhängigkeit von der Bebauungs- und Vegetationsstruktur die anteilmäßige Zuordnung der nicht interpretierbaren Areale zu entsprechenden Oberflächenarten. Für die so ausgewerteten Testgebiete wurde eine durchschnittlich 95%-ig genaue Bestimmung der Flächenanteile erreicht.

Um auch Nutzern ohne große Erfahrungen im Umgang mit Luftbildern die Interpretation zu erleichtern, erfolgte für die einzelnen Merkmale die Erarbeitung von Interpretationsschlüsseln. Sie sind als Beispielschlüssel aufgebaut und berücksichtigen neben dem Grauton und der Farbe auch Form, Größe, Textur und Lagemerkmale.

Erste Ansätze einer rechnergestützten Bildanalyse auf der Basis digitalisierter Luftbilder in den MKF-6-Kanälen 2, 4 und 6 zeigen, daß die areale Verteilung und Struktur der Grundtypen an Oberflächenarten im wesentlichen richtig wiedergegeben wird. Zeiteffektive Flächenbilanzierungen sind prinzipiell möglich. Mit durchschnittlich 70-95% iger Klassifizierungsgüte für eine bayes-optimierte Maximum-Likelihood-Klassifizierung und eine stark interaktiv gesteuerte Multidimensional density slicing bleiben die Resultate allerdings deutlich hinter den analog erzielten Interpretationsergebnissen zurück. Dabei werden die Vegetations- und Wasserflächen mit 90-95% iger Genauigkeit am besten klassifiziert (FROTSCHER 1990).

Die im Rahmen der Objekt-Abbild-Untersuchungen aufgezeigten Trennungsschwierigkeiten werden arealkonkret sichtbar. Auch bei der an sich ausreichenden Pixelauflösung von 1m x 1m ist eine differenzierte Erfassung der Oberflächenarten nicht möglich. Hinzu kommen die Mischpixel- und Schattenproblematik. Es müssen Mischklassen gebildet werden, die nur schwer nachzuinterpretieren sind. Zu ähnlichen Resultaten in anderen Stadtgebieten von Halle gelangt auch RÖBNER (1990).



Bebauungszahl

= Bebaute Fläche / Bezugsfläche

Vegetationsflächenzahl 1 = vegetationsbedeckte Freifläche / Bezugsfläche

Flächenbilanzwert = (biol. aktive Fl.-biol. inaktive Fl.) / Bezugsfläche

Abbildung 6: Computerkartographische Darstellung flächenstatistischer Kennwerte (Testgebiet Markt)

Damit stehen realflächenbezogene Daten zur Verfügung die durch GIS-gestützte Prozeduren weiterverarbeitet werden können. In Anlehnung an SCHULZ (1983) und KRAUSE (1989) lassen sich Datenverknüpfungen zu flächenstatistischen Kennwerten (Indizes) vornehmen. So liefern bereits einfache Kennzahlen wie beispielsweise die Bebauungszahl, Vegetationsflächenzahlen, aber auch der etwas komplexer aufgebaute Flächenbilanzwert ökologisch interpretierbare Aussagen. Sie können bei städteplanerischen Entscheidungen und beim Entwurf von Planungskonzepten sinnvoll einbezogen werden. Abbildung 6 zeigt ein entsprechendes Beispiel aus dem innerstädtischen Zentrum von Halle.

## 6. Ausblick

Die gemachten Aussagen sind als erste Untersuchungsergebnisse zur flächendeckenden Analyse der Oberflächenarten von Halle mit Hilfe der Luftbildinterpretation zu verstehen. Speziell die digitalen Verfahren sollten zukünftig weiter verfolgt und spezifiziert durchgeführt werden. Das betrifft vor allem die Betrachtung in höher dimensional Merkmalsräumen, die Einbeziehung von Texturparametern, die gezielte Anwendung von Vorverarbeitungstechniken und die Durchführung anderer Klassifizierungsstrategien. Bei realistischer Einschätzung ist jedoch von thematisch bedingten Interpretationsgrenzen auszugehen.

Die Fortführung der analogen Auswertung sollte sich vor allem der Untersuchung von Bildtexturen und Bildstrukturen zuwenden. Sinnvoll erscheint die systematische Auswertung von Hochbefliegungsaufnahmen (vgl. GIERLOFF-EMDEN, KRÜGER, PRECHTEL & STRATHMANN).

## Literatur

BREUSTE, J.: Methodische Ansätze und Problemlösungen bei der Erfassung der urbanen Landschaftsstruktur und ihrer ökologischen und landeskulturellen Bewertung unter Berücksichtigung von Untersuchungen in Halle/Saale. - Diss.8, Univ. Halle, Sektion Geographie, Halle 1986.

FROTSCHER, W.: Verfahren der Luftbildinterpretation zur Unterstützung urbanökologischer Untersuchungen in der Stadtregion Halle. - Diss.A, Univ. Halle, Sektion Geographie, Halle 1990.

**GIERLOFF-EMDEN, H.-G.; U. KRÜGER; N. PRECHTEL & F.-W. STRATHMANN:** Auswertung von Hochbefliegungen für Stadtregionen. - Münchener Geographische Abhandlungen, Reihe A, Bd. A 44, München 1990.

**KRAUSE, K.-H.:** Erfassung der Oberflächenarten für eine stadtoökologische Zustandsbeschreibung. - Hall. Jb. f. Geowiss., Bd. 14, Gotha 1989, S. 124-130.

**KUGLER, H.; C. RIEDEL & G. VILLWOCK:** Landschaftsanalyse mit multispektralen Luftbildern in der Umgebung von Halle. - Geographische Berichte, Jg. 29, H.3, Gotha/Leipzig 1984, S. 165-184.

**LEYKAUF, J.; H. NIEBER; G. VILLWOCK & W. WALOSSEK:** Der Aufbau eines Datenspeichers für ein Geographisches Informationssystem "Stadtregion Halle". - Petermanns Geographische Mitteilungen, Jg. 133, H.4, Gotha 1989, S. 245-254.

**LEYKAUF, J. & G. VILLWOCK:** Urban-ecological GIS for the urban region of Halle (Eastern Germany). - Proc. 2nd European Conference on Geographical Information Systems, vol. 1, Brussels 1991, p. 646-652.

**RÖBNER, S.:** Visuelle und rechnergestützte Auswertung multispektraler Luftbilddaufnahmen zur Bewertung des ökologischen Zustandes von Stadtgebieten. - Dipl.-arb., Univ. Halle, Sektion Geographie, Halle 1990.

**SCHULZ, A.:** Ein Verfahren zur ökologischen Analyse und Bewertung städtischer Oberflächenstrukturen. - Verhandl. d. Gesell. f. Ökolog., 11. Jahrestagung Mainz 1981, Göttingen 1983, S. 175-181.

**Application of remote sensing and of a Geo-expert system  
for soil evaluation in soil hazard mapping**

By Pham Trung Luong,  
Trinh Dinh Cuong etc.  
Remote Sensing Application Division  
NCSR, Nghia do, Tuliem, Ha noi, Vietnam

## 1. INTRODUCTION

Vietnam is a developing country situated in a tropical environment and it has 3/4 of total area of highland, problem of soil erosion is of major concern. From a study carried out in 1989 by Ministry of Forestry and General Department of Land Use and Management, it was estimated that every year more than 100.000 Ha ( about 1,2 % of total area of forest land ) had been encroached. Because of this reason ,the soil erosion in fact is a disaster, which causes a big damage to country's economic development and environment ,especially for midland and mountainous area.

Since 60 decade, several studies on problem related to soil erosion were carried out by traditional methods using data from some Soil Erosion Observation Stations , located in different geographical areas of the country. However the obtained results were limited in qualitative estimation of potential soil erosion and determination of relation between some natural conditions, involved in soil erosion process. The obtained results can be used only for small typical area.

In order to evaluate soil loss due to water erosion for hold territory of Vietnam in general and for midland and mountainous areas in particular, the modern techniques and methods must be applied.

The present study covers the application of remote sensing data (SPOT , TM, aerophotos ..) and Geo\_Expert System for Soil Evaluation ( GESSE ), based on Terrial Mapping Unit ( TMU ) conception in potential soil erosion hazard mapping developed by Remote Sensing Application Division, NCSR of Viet-nam in cooperation with Advanced Informatic-Technology Corporation ( AIC ).

## 2. METHODOLOGY

Remote sensing techniques have been used as an aid for soil survey in Vietnam since the 1970s. Most of the research dealing with the use of remote sensing data for soil erosion studies has been done in the con-text of soil survey. A well-known parametric equation, the Universal Soil Loss Equation ( USLE ) is currently used to assess soil loss due to water erosion. The USLE is written as :

$$A = RKLSCP$$

This equation, explained in detail in Wischmeier and Smith [7] describes soil loss (  $A$  ) as a function of rainfall (  $R$  ), its amount and intensity; soil erodibility (  $K$  ) related to the texture, percentage organic matter, structure and permeability of the soil; morphology, especially the slope gradient (  $S$  ) and the length of the slope (  $L$  ); the vegetation cover (  $C$  ) and the erosion control practices (  $P$  ).

Because of its simplicity, the relative ease of evaluating each factor and because in most parts of the world, including countries in the region like Thailand, China, India... it gives acceptable results [4,5,6], the USLE can be used in Vietnam to assess soil loss due to water erosion.

### 2.1. Procedure of Assessment Soil Erosion Using Remote Sensing

Based on mentioned back-ground, the assessment of soil erosion using remote sensing was carried out according to principle procedure developed by authors. The flow chart of this procedure is illustrated in Fig.1.

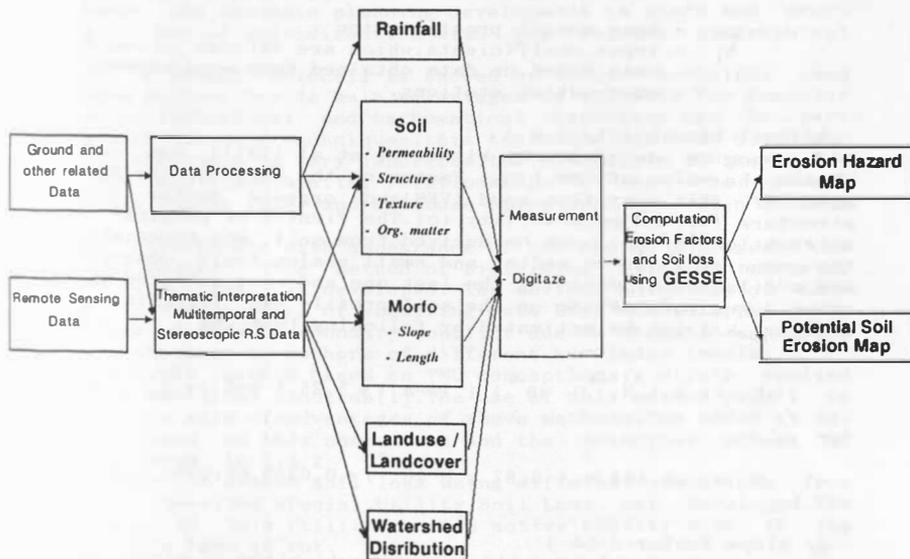


Fig.1 : FLOW CHART OF SOIL EROSION EVALUATION USING R.S

The five parameters of the USLE were evaluated for the study area using remote sensing, ground observation and existing map data. Remote sensing data are showed as main source used for establishment of Landuse/Landcover, Geology, Geomorphology, and Soil maps as well as for deriving scheme of watershed distribution using both digital image processing and visual interpretation. The rainfall amount and intensity maps are established based on observation data during some decades. The processing and/or interpretation work involved to derive each factor and the final potential soil erosion and soil erosion hazard maps are described below .

#### a/ Rainfall Factor ( R )

A number of rainfall erosion indices exist [3,7] but most require an enormous amount of data and considerable calculation time. In many developing countries, including Vietnam, where limited amounts of precipitation data are available, an index such as the modified Fournier's index [ 3 ] can be used to give satisfactory results. This index takes into account mean monthly or mean annual precipitation.

In this case, the general form of equation used for calculation rainfall factor is follow :

$$( R ) = \sum_{i=0}^n b_i ( p_i )^i$$

$p_i$  - mean annual precipitation

$b_i$  - input coefficients, which are defined in concrete case based on data obtained from soil erosion observation stations.

#### b/ Soil Erodability ( K )

A monogram developed by Wischmeier et al (1971) was used to obtain the value of the ( K ) factor on the basis of the percentages of silt, very fine sand (VFS) and organic matter (a); soil structure (b) and permeability (c). The first 3 of physical characteristics of soil can be derived from soil map, especially in the case of study on medial and small scales. Field observations are available for deriving the last one and were gathered in some cases when information on the soil profile was insufficient. The factor ( k ) can be estimated by following formulas :

$$K = 2,1 M^{1,4} ( 10^{-4} ) ( 12-a ) + 3,25 ( b-2 ) + 2,5 ( c-3 )$$

or

$$K = -0,145 + ( 6,87 \times M 10^{-5} ) + 0,034b + 0,038c - 0,157d$$

#### c/ Slope Factor ( LS )

The slope factor ( LS ) which is a combination of slope gradient and slope length, is presented in the following matrix and computed using :

$$( LS ) = \sqrt{1 + \sum_{i=2}^3 a_i s^i}$$

- l - slope length ( m )
- s - slope steepness ( % )
- a<sub>i</sub> - input coefficients, which are defined in concrete case base on data acquired from soil erosion observation stations.

The slope gradient and slope length are estimated and calculated according to the geologic and geomorphologic units in the study area using stereoscopic remote sensing data and topographic map.

d/Vegetation Cover( C )and Erosion Control Practice Factor( P )

The estimation of the factors ( C ) and ( P ) is carried out based on Landuse/Landcover map which is produced from multitemporal remote sensing data using both digital image processing and visual interpretation and research results obtained from field data in soil erosion observation stations situated in Vietnam territory as well as in other countries in the South-East region of Asia.

## 2.2. Computation of Soil Loss Using Geo-Expert System for Soil Evaluation ( GESSE )

Like other geographical problems, the particular of soil erosion estimation for territorial unit with the purpose of environmental management and economic planning development is store and processing a set of multidirection with big volumes geographical data.

Since 60 decade, Gridcell is showed as unique technique used for above purpose. Beside main advantages as suitable for computer processing, statistical and mathematical operations can be performed with standard techniques, this technique has some disadvantages as the input is very laborious, the dimensions of the grid-cell are arbitrary, spatial relationships between some natural components become fuzzy and database operations are often confusing.

Since 70s, together with appearance of peripheral equipments as digitizer, scanner... the method of Digitizing Existing thematic maps ( Overlaying ) is developed. The obvious advantage of this method is the rapidity of acquiring data base contents. The main disadvantage of this is boundary conflict due to thematic maps are often established by authors of different knowledge levels.

Nowadays, the method based on TMU conception is widely applied to solve mentioned problems[1]. The use of this method permit to overcome the main disadvantages of above methods. The GESSE is developed based on this conception and the principle scheme of GESSE is shown in Fig.2.

In order to assess soil loss using different equations from Knowledge Base, the special Utility Soil Loss was developed. The particular of this Utility is it's active ability even if the Graphic Data Base is out.

The Monitor and Display Function are managed by software CA-MAPS.

All functions of GESSE are managed in Common environment, by which the information exchange between User and computer can be

carried out.

All GESSE's software were written by C-language and can be used for all PC/AT.

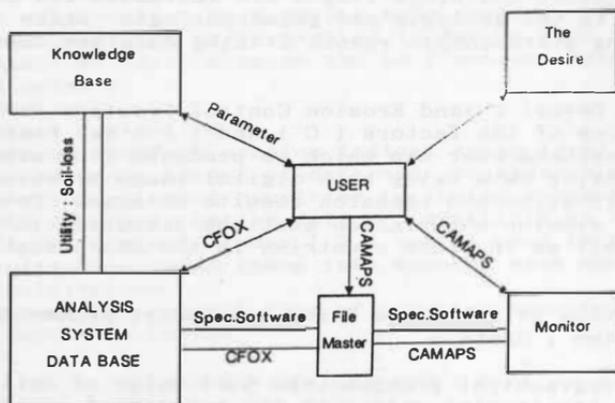


Fig 2: PRINCIPLE SCHEME OF GESSE

The data store and processing are carried out by Analysis System Data Base (ASDB), which contains two almost independent units: Graphic Data Base and Thematic Data Base (Fig.3). These data bases can be interacted using special software CFOX via File Master.

The flow chart of establishment of ASDB is given in Fig.4

In Graphic Data Base, input data such as TMU's distribution, topographic characteristics are digitized and stored in vector format but in the needed case they can be converted into raster format easily. Only TMUs have a stored geographic location.

The Thematic Data Base has main following characteristics :

- There are 3 levels of data infiltration :

MTMU - Geocode - Description File.

- Data attribute and description are stored in format DBF-standard so beside special software CFOX the well-known software like DBase, FoxBase, Fox-Pro can be used for their management and manipulation.

- The flexible and open-ended structure is allowed so the structure of Thematic Data Base can be changed and updated for

different research purposes and for those areas with different natural and social conditions.

The data processing for soil loss assessment is carried out in Thematic Data Base.

Thematic maps used in soil loss estimation as well as factors of USLE's parameters can be derived using GESSE. Examples of those GESSE's functions are illustrated on Fig.5 and Fig.6.

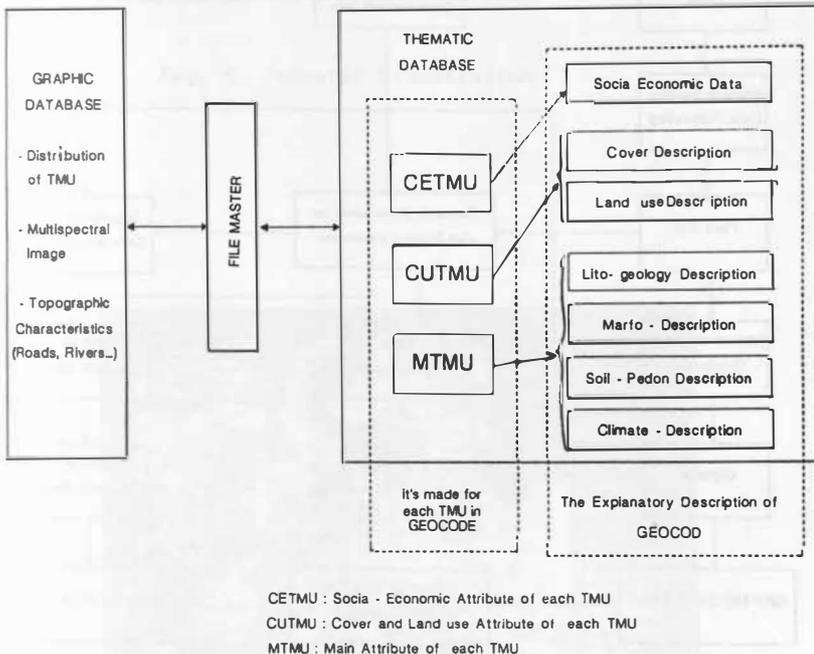


Fig 3 : PRINCIPLE SCHEME OF ANALYSIS SYSTEM DATA BASE

The use of GESSE for computation of soil loss not only permit to assess it quickly and accurately, but also to operative display the potential soil erosion and soil erosion hazard maps, to control input data and parameters as well as to correct them immediately in needed case.

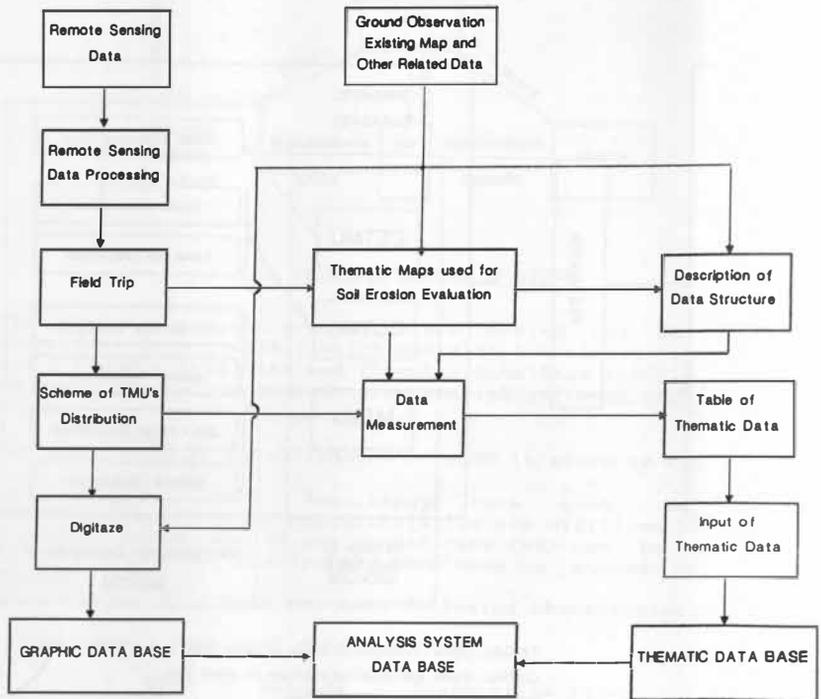


Fig 4 : FLOW CHART OF ESTABLISHMENT OF ANALYSIS SYSTEM DATA BASE

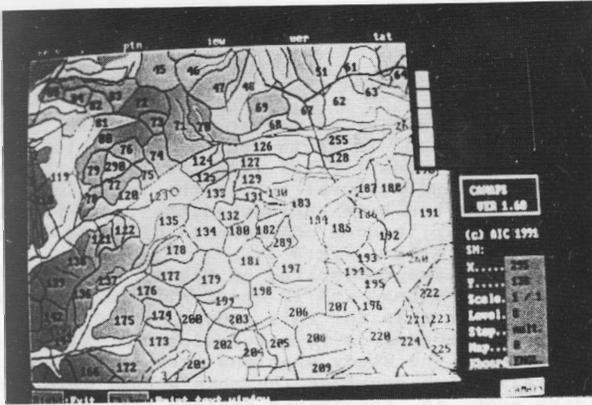


Fig. 5. Thematic Illustration

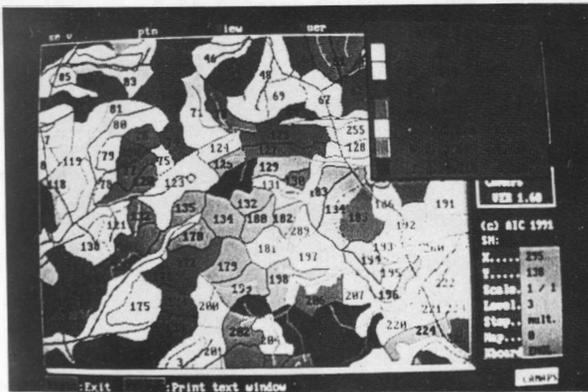


Fig. 6. Factor Calculation

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 Materials and Study Area

The Phong chau district, a particular midland area of Vietnam, which is located in North-West of about 100 Km from Hanoi, is chose as study area ( Fig.7 ). In this area, the land is intensively used for agricultural but in the last time due to a large area of forest had been encroached, the land is strongly eroded, that seriously influences on economic planning development and environment of the area ( Fig.8 )

The SPOT multiband image acquired on Feb.1989 and airphotos taken on March 1989 in visual and IR spectral regions are used as the main remote sensing data for this study.

Data records were taken from 19 meteorological stations distributed in and around the study area and they were brought in-to regression analysis which provided the mean annual rainfall.

Existing maps such as topography, geology, soil, geomorphologic origin maps are also available in this study.

#### 3.2 Soil Loss Assessment Using GESSE

Scheme of watersheds ( showed as TMUs ) produced from visual interpretation of IR airphoto with using topographic map and different topocharacteristics such as roads, rivers... were digitized and intergrated into the Graphic Data Base.

The thematic maps, which are established using remote sensing and ground observations and other related data were measured according to derived scheme of TMU's distribution and description of data structure. Then the measured data are integrated into Thematic Data Base.

The simple modeling function defined as a product of each factor was developed and applied to obtain the final soil loss assessment for every watershed. Soil erosion values are given in ton per hectare per year.

Eight erosion classes have been defined as follows:

| CLASS                 | SOIL LOSS ( T/Ha/Year ) |
|-----------------------|-------------------------|
| 1. Very slight        | < 5                     |
| 2. Slight             | 5 - 12                  |
| 3. Slight to Moderate | 12 - 25                 |
| 4. Moderate           | 25 - 50                 |
| 5. Moderate to Severe | 50 - 100                |
| 6. Severe             | 100 - 170               |
| 7. Very severe        | > 170                   |

The erosion classification was carried out based on technical preventient means and their implemental ability.

#### 3.3 Soil Erosion Analysis

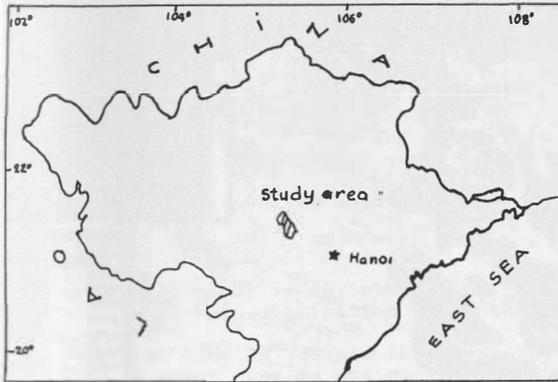


Fig. 7. Location of Study area

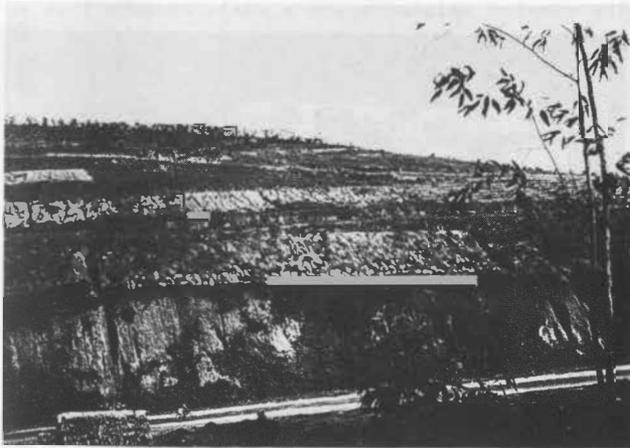


Fig. 8. Panorama view of Soil Erosion Hazard  
in Study area

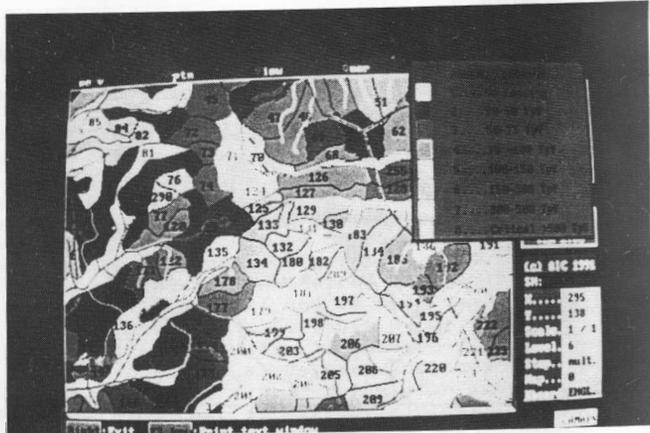


Fig. 9. Fragment of Potential Soil Erosion Map



Fig. 10. Fragment of Soil Erosion Hazard Map

It can be seen from the scene of potential soil erosion and soil erosion hazard maps in Fig.9 and Fig.10 that maximum erosion risk, as expected, occurs in the high hill regions, where the forest has been cleared to make place for the cultivation of field crops such as mamioc, maize... and upland rice.

All tree plantation, mostly tea and eucalyptus in the hill regions are noteworthy and should be verified for erosion control practices as a seeding pattern parallel to the perpendicular direction of the slope, a measure that is very erosion prone.

#### 4. CONCLUSION

This multithematic study is an interesting example of the use of remote sensing data in combination with observation data and existing map data.

There is the first time in Vietnam the quantitative estimation for soil loss by water erosion was carried out. The processing speed and accuracy of obtained results could be improved tremendously by using GESSE. Such a system is continuously developed, however, nowadays it has been made operational at the Remote Sensing Application Division, National Centre for Scientific Research of Vietnam and will be used to compare the results obtained so far with the manual technique and also to produce potential soil erosion and soil erosion hazard maps for other parts of Vietnam.

At present, soil erosion is a major concern in Vietnam, this demonstration study has shown that remote sensing combined with other data sources can provide unique and useful information to determine soil erosion risks a scale ranging between 1:50.000 to 1:250.000.

The Geo-Expert System for Soil Evaluation used conjunction with the widely accepted Universal Soil Loss Equation allows an efficient identification of the erosion prone areas.

The results obtained from this study can be served as a good example of application of remote sensing and GESSE for soil erosion mapping. The type of work is a most economic way to solve this problem and can be done in any part of the country for development of land resources and environmental management.

#### 5. ACKNOWLEDGEMENT

The authors gratefully wish to acknowledge the support of National Committee for Space Research and Application for implementation of this study. Authors are also thankful for invaluable cooperation of Institute of Forestry, Institute for Agricultural Planning, Institute for Pedology and Fertilizes, Institute of Physics and Forestry Data Processing Centre.

## R E F E R E N C E S

1. Allard M. J Meijerink, 1982 , Data Acquisition and Data Capture Through Terrain Mapping Units.
2. El Swaify, SA, 77, Susceptibility of Certain Tropical Soil to Erosion by Water.  
From Soil Conservation and Management in the Humid Tropics.  
John Wiley and Sons.
3. Fournier, F, 1960, Climat et Erosion. Presses Universitaires de France, Paris.
4. Ma Ai Nai, Zhang Xuding, Liang Zhengya and Yiqing, Study on the Soil Erosion Information System, Proc. of Inter. Workshop on GIS, Beijing, China, 1987.
5. Manu Omakupt, 1989. Soil Erosion Mapping Using R.S Data and GIS. Proc. of 10th Asian Conference on Remote Sensing, Kuala-Lumpur. 1989.
6. Singh B.M, 1984, Soil Conservation Survey Mahashwar Project, I.I.R.S India .
7. Smith D.D and Whishmier, 1972, Rain Fall Erosion ,Agronomy 109-148 w.

Bilanz zur Erkundung der Landnutzung mit  
Fernerkundungsdaten am Institut für Geo-  
graphie und Geoökologie Leipzig (IGG)

Rudolf Krönert

Institut für Geographie und  
Geoökologie Leipzig

Zusammenfassung

Es wird ein vollständiges Verzeichnis der in der Gruppe Fernerkundung am IGG entstandenen Arbeiten veröffentlicht. In den kurzen Erläuterungen werden die Arbeiten gewertet. Der Schwerpunkt der Forschungen lag seit 1976 auf der visuellen und digital-automatischen Auswertung von Multispektralaufnahmen. Originär sind die Studien zur Analyse von Stadtstrukturen mit DFE. Seit 1986 erfolgte ein allmählicher Übergang zu stadtökologischen Forschungen mit Hilfe von DFE.

Резюме

Результаты исследования использования земли с помощью дистанционных методов в Институте географии и геоэкологии, Лейпциг

Публикуется полный список работ, которые были разработаны в группе "Дистанционные методы и землепользование" в институте географии и геоэкологии.

В кратком обзоре оцениваются эти работы. В центре внимания исследований с 1976ого года находилось визуальное и автоматическое дешифрирование мультиспектральных снимков. С научной точки зрения оригинальными являются анализы городских структур с помощью дистанционного зондирования. С 1986ого года имеется постепенный переход к урбано-экологическим исследованиям с помощью методов дистанционного зондирования.

Mit dem RADUGA-Experiment 1976 begann am IGG unter der Leitung von GUNTER HAASE und HEINZ SCHLÜTER die Auswertung von MKF-6-Flugzeugaufnahmen. Mitte 1979 wurde die Leitung einer Arbeitsgruppe Fernerkundung dem Autor übertragen. Die Forschungen waren in die Kooperation naturwissenschaftlicher Einrichtungen der DDR zur Fernerkundung und in die Interkosmoskooperation eingebunden. Mitte 1989 erfolgte die Umwandlung der Gruppe in eine Abteilung Stadtökologie und Landnutzung am IGG. Seitdem sind die fernerkundungsmethodischen Studien auf ein Minimum reduziert. Sicher ist es nützlich, nochmals kritische Bilanz zu ziehen und darzulegen, welcher Beitrag zur Erkundung der Landnutzung mit DFE geleistet wurde und welche Ansätze es wert sind, bewahrt und fortgeführt zu werden. Aus diesem Grunde wird erstmalig ein vollständiges Verzeichnis der veröffentlichten und unveröffentlichten Arbeiten der Gruppe publiziert.

Bereits 1981 wurde dargelegt, daß Landnutzungsforschungen so vielfältiger Art sind, daß sie mit Fernerkundungsmethoden allein nicht betrieben werden können. Daraus ergab sich die Feststellung, daß die Geofernerkundung vor allem Mittel zur Problemlösung in geographischen Arbeiten sein sollte, wobei selbstverständlich die Klärung von Objekt-Abbild-Beziehungen eigenständiger Arbeitsgegenstand sein kann und sein muß. Zu letzterem leistete die Gruppe Beiträge zur Entwicklung von Klassifikationsalgorithmen und zum Aufbau von Interpretationsschlüsseln.

Mit fortschreitender Erkenntnis wurde immer klarer, daß bei der Anwendung von DFE unterschieden werden muß zwischen

- Bildbeschreibung
- Bildanalyse
- Objektanalyse mit DFE
- Projektbearbeitung mit DFE.

Diese Reihenfolge ist auch eine Rangfolge und entspricht der Erkenntnishierarchie. Jede Bearbeitung in einer höheren Stufe setzt die Beherrschung der vorangehenden voraus.

Neben der methodischen Zielstellung zur Erschließung des Informationsgehaltes von Multispektralaufnahmen für die Erkundung und Kartierung der Landnutzung insbesondere von Siedlungen wollten wir

- die Anwendung der Fernerkundung in der Raumplanung und im Städtebau initiieren und unterstützen sowie

- ein thematisches Kartenwerk zur Landnutzung im Maßstab 1:50 000 vorbereiten.

Bereits 1983/84 kam die Zielsetzung hinzu, die gewonnenen Flächennutzungsdaten in ein Geographisches Informationssystem zu überführen, wobei Felderformate auf der Grundlage von Gauß-Krüger-Koordinaten vorgesehen waren.

Was konnte erreicht werden und welche Schlußfolgerungen sind zu ziehen?

Zunächst zur analogen Luftbildauswertung und zur Flächennutzungskartierung: Zahlreiche Einzeluntersuchungen von städtischen Nutzungsstrukturen haben die Nützlichkeit von Luftbildern für viele Aufgabenstellungen belegt. Hingewiesen sei auf die Kartierung der Partheaue im Stadtgebiet von Leipzig (I. SCHMIDT) als Vorarbeit zur Umstrukturierung zu einem gestalteten Grünzug, auf die Kartierung von Industrieflächen zur Aufdeckung von Flächenreserven in Industriegebieten (STOYE), auf die Erfassung von städtischen Umgestaltungsgebieten mit Vorschlägen zur Durchgrünung (I. SCHMIDT; G. SCHUMANN) sowie auf die Erfassung von Veränderungen in der Landnutzung und der Vegetationsdecke im Zusammenhang mit der Neuanlage eines Parkes im Süden von Leipzig (A. SCHEFFLER). Derartige, meist kleinere Studien im Rahmen des Gesamtkonzeptes haben zu einer breiteren Anwendung des Luftbildes beigetragen, insbesondere im Städtebau, leider weniger in der Raumplanung. Anfragen, die uns gegenwärtig immer wieder erreichen, zeigen, daß diese Arbeiten ihren Zweck erfüllt haben. Die gesammelten methodischen Erfahrungen sind eine wichtige Grundlage zur flächendeckenden Kartierung der Altlastverdachtsflächen in der Stadt Leipzig innerhalb der Gruppe Stadtökologie.

Die methodischen Arbeiten zur Kartierung des Zustandes der Flächennutzung im Maßstab 1:50 000 sind vor allem von SCHUBERT und B. BREITFELD vorangebracht worden. Das Blatt Leipzig-Nord liegt als farbiger Andruck, das Blatt Leipzig-Süd als Autorenoriginal vor. Die Auswertung erfolgte im Rahmen der Forschungen zur Stadtregion Leipzig im Zusammenwirken mit Kollegen des Bereiches Ökonomische Geographie. Die genannten Kartenblätter waren eine wichtige Arbeitsgrundlage für die Entwicklung von Vorschlägen zur künftigen Regionsentwicklung. Um so bedauerlicher ist es, daß der gemeinsam mit dem ehemaligen Kombinat für Geodäsie und Kartographie propagierte Vorschlag zur Erarbeitung eines Kartenwerkes 1:50 000 zur Flächennutzung von der damaligen Territorialplanung

um 1983 nicht aufgegriffen wurde, zumal auch an einer Überführung der Daten in ein GIS gedacht war. Wir meinten, was für Japan gut ist, sollte auch für die DDR sinnvoll sein. Die Arbeiten wurden in beschränktem Umfang im Rahmen von Dissertationen weitergeführt. Unter anderem erfolgte eine Rasterdigitalisierung von Teilen der Flächennutzungskarte Leipzig-Nord per Hand und die Entwicklung von Software für die Analyse von Flächennutzungsveränderungen. Diese Arbeiten dienten der weiteren Vorbereitung eines GIS. Eine bereits 1984 von SCHUBERT und GÄRTNER ausgeführte Parallelschardigitalisierung der Flächennutzungskarte Leipzig-Nord wurde nicht weiter ausgewertet. GÄRTNER hat diese Daten erst 1991 entzerrt und für das GIS der Stadtregion Leipzig verfügbar gemacht.

Der Ansatz zur Kartierung der Flächennutzung mit DFE ist dem Herangehen zum Aufbau eines Statistischen Informationssystems zur Bodennutzung (STABIS) des Statistischen Bundesamtes im Maßstab 1:25 000 sehr ähnlich gewesen. STABIS verfolgt die digitale Datenerfassung allerdings nach Polygonen. Eine Polygon-Rasterwandlung halten wir allerdings für erforderlich, insbesondere für Gefügeanalysen und für rasterbezogene Modellrechnungen z. B. zur Bestimmung von Kompartimenten des Wasserhaushaltes. Kompliziert ist die Bestimmung von Flächenfunktionen nach Luftbildern. Moderne Flächennutzungskarten verlangen aber die Darstellung von Kombinationsformen aus Flächenbedeckung und Flächenfunktion. Deshalb sind Kontrollen im Gelände stets erforderlich und in Methodiken der Flächennutzungskartierungen fest einzubauen. Die Kosten dafür sind zu berücksichtigen.

Die von B. BREITFELD ausgeführten Studien zur Kartierung von Flächennutzungsveränderungen einschließlich der Kartierung des Blattes Leipzig-Süd im Maßstab 1:50 000 mit Kartenandruck in zwei Varianten erwiesen sich als sehr zeitaufwendig. Dennoch ist die erzeugte Karte nicht nur als Zeitdokument wertvoll, sondern kann als Grundlagenmaterial für die Gestaltung der Region verwendet werden.

Aus der analogen Flächennutzungskartierung ergeben sich noch einige weitere Schlußfolgerungen. Eine Flächennutzungskartierung sollte mit der Bearbeitung eines konkreten Flächennutzungsproblems gekoppelt sein. Standardisierte Legenden sind notwendig (z.B. STABIS). Sie müssen aber in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung und von regionalen Besonderheiten ergänzbar sein. Die

Untersuchung von Flächennutzungsveränderungen sollte bei fortgeschrittenem technologischen Stand mit der digitalen Datenspeicherung und -verarbeitung verbunden werden. Eine ausgereifte Technologie gibt es hierfür noch nicht.

Überschaut man rückblickend die in der Literatur zahlreich vertretenen Arbeiten zur digital-automatischen Klassifikation von Luft- und Satellitenaufnahmen, so muß leider festgestellt werden, daß der Anteil von Studien nach der Methode von Versuch und Irrtum recht hoch ist. Die Ursache dürfte in einer unzureichenden Verschmelzung von Theorien und Wissen aus der Physik, der Informatik und Geowissenschaften liegen. Auch wir erlagen anfangs einem pragmatischen, nachahmenden Vorgehen, das dem autodidaktischen Lernprozeß geschuldet war. Im Bestreben, praxisrelevante Flächennutzungskarten zu erzeugen, wurden zunächst Lernstichproben für die Spektralklassifikation gewählt, welche die Flächenbedeckung und Flächenfunktionen kombinieren, wie dichte Wohnbebauung, dichte Industriebebauung, Kleingartenanlagen usw. Damit waren Fehlklassifikationen vorprogrammiert, weil Spektralklassifikationen die Flächenfunktionen nur dann erfassen, wenn die Flächenbedeckung mit der Flächenfunktion korrespondiert. Oder, warum wurden eigentlich Hauptkomponenten berechnet, die physikalisch kaum interpretierbar sind und das Ergebnis gegenüber zweikanaligen Rot-Nahinfrarot-Klassifikationen nur unwesentlich verbessert haben?

In der Arbeitsgruppe wurden, bezogen auf Stadtflächen, seit 1978 Erfahrungen gesammelt zur digital-automatischen

- Spektralklassifikation
- Mischpixelanalyse
- Spektral-Textur-Klassifikation
- geographischen Raumstrukturanalyse.

Aufgrund regelhafter und charakteristischer Verteilungen und Muster von Grün- und Nichtgrünflächen in Städten widerspiegelt jede Spektralklassifikation von Stadtkörpern eine räumliche Struktur. Zwischen den großflächigen Grün- und Nichtgrünflächen liegen Mischflächen verschiedenster Art, die in den Bildelementen in Kombination erfaßt werden. Deshalb sind Mischpixelanalysen wertvoll. Angeregt von HENGELHAUPT wurde eine Mischpixelanalyse von HENKER ausgeführt. Trotz Kritik an den Spektralklassen (Kombination von Bedeckung und Funktionen) konnte mit einer Stich-

probe von 5 % aller Pixel aus der Stadtregion Leipzig eine gute Annäherung an die realen Nutzungen erzielt werden. Es könnten Indizes für jedes Pixel für charakteristische Nutzungen errechnet werden, z. B. der Erholungsflächenindex, der Wohngebietsflächenindex usw. Damit wird es auch möglich, die Nutzflächenanteile für Landschaftseinheiten oder administrative Einheiten zu berechnen. Das Verfahren der Mischpixelanalyse sollte bei Berücksichtigung der heutigen Algorithmen für die Spektralklassifikation erneut erprobt und weiterentwickelt werden.

Die Spektral-Texturklassifikationen sind offenbar geeignet, die reinen Spektralklassifikationen zu verbessern (HENKER, STOYE), wobei verschiedene Texturmaße, bezogen auf spezifische Nutzungen, unterschiedlich gut greifen. Meines Erachtens sollten Nutzungsarten, die durch die Spektralklassifikation hinreichend erfaßt werden, nach der Spektralklassifikation ausmaskiert werden. Um Texturklassifikationen sicher anwenden zu können, sind weitere Experimente erforderlich. Diese Experimente sollten in jedem Falle mit einer exakten Analyse der real existierenden Struktur etwa von Einzelhaussiedlungen, Kleingartenanlagen, Friedhöfen, Fichten- und Kiefernforsten usw. kombiniert werden, um zu prüfen, welche geometrische und spektrale Auflösung erforderlich ist, um Texturanalysen überhaupt erfolgreich einsetzen zu können. Zu begründen ist, welche Texturmaße die inneren Strukturen von Flächennutzungsgefügen am besten abzubilden vermögen.

Forschungen zur Texturanalyse bis hin zu einer ausgereiften Methodik sind dringend erforderlich, weil der volle Informationsgehalt von geometrisch und radiometrisch hochauflösenden Sensoren ohne Texturanalysen nicht ausgeschöpft werden kann. Wird dieses Problem nicht gelöst, nützt auch eine gute und teure Sensorik wenig.

Ein wesentlicher Arbeitsgegenstand der Geographie ist die Strukturanalyse geographischer Räume. Originär war der Ansatz von HENGELHAUPT, an die primäre Spektralklassifikation eine Sekundärklassifikation über eine Menge klassifizierter Bildpunkte bei Beachtung des Inventars und der Anordnung der erst klassifizierten Bildpunkte anzuschließen. Die Sekundärklassen lassen sich durch Graphen veranschaulichen, und sie lassen sich nach ihrem inhaltlichen Gefüge charakterisieren. Dabei können auch Flächenfunktionen, soweit sie sich in räumlichen Strukturen manifestie-

ren, angesprochen werden.

Die Visualisierung der Sekundärklassen ergibt ein generalisiertes Bild, das die tatsächliche städtebauliche Strukturierung der Stadtregion Leipzig recht gut wiedergibt. Leider ist mit dem Weggang von BACINSKI und HENGELHAUPT aus dem Institut die Methode versandet. Mir scheint sie aber wert, wieder aufgegriffen zu werden.

Auf die analoge Satellitenbildauswertung zur geographischen Raumanalyse will ich nicht näher eingehen. Hingewiesen sei lediglich darauf, daß SCHLÜTER als Biologe, aufbauend auf der Auswertung von Satellitenaufnahmen, den Natürlichkeitsgrad der Landschaft flächendeckend für das Gesamtgebiet der DDR kartiert und nach ökologischen Merkmalen charakterisiert hat. Ich selbst habe mich mehrmals zur Landschaftsgliederung mittlerer Ordnung geäußert. Die Satellitenbildauswertung hat die theoretischen Vorstellungen von den Landschaftseinheiten als natürlich-technischer Kategorie, die sich in der Flächennutzungsstruktur widerspiegeln, nachhaltig gestützt.

Mit dem Interkosmosexperiment GEOEX-86 beginnend, erfolgte ein allmählicher Übergang von der fernerkundungsmethodischen zur stadtoökologischen Forschung. Charakteristisch dafür ist auch ein methodisch ergänzendes Herangehen. Neben der flächenhaften Darstellung von Deciffrierungsergebnissen, etwa zur Flächenbedeckung durch USBECK oder zum thermischen Verhalten von Stadtflächen durch I. SCHMIDT und B. GROSSER, wurden diese Daten verwendet, um typische Nutzflächengefüge hinsichtlich bestimmter ökologischer Wirkungen zu charakterisieren. Einfache kartographische Darstellungen unterstützen die thematische Interpretation. Auf diese Weise werden Informationen aus der Fernerkundung zunehmend Mittel zum Zweck geographischer landschaftsökologischer Forschung.

## Literaturverzeichnis

- Atlas zur Interpretation von kosmischen Scanneraufnahmen. Multi-spektralsystem Fragment. Methoden und Ergebnisse, Berlin/Moskau 1989, engl., russ., deutsch, 124 Blatt; Herausgeber: Sagdeev, R.Z., Salisčev, K.A., Kautzleben, H., Lüdemann, H.; wiss. Leitung: Ziman J.L., Knižnikov, J.F., Marek, K.H., Krönert, R.; Wiss. Redaktion: Kravcova, V.I., Friedlein, G., John, K.-H.
- Bach, E., Krönert, R. und F. Plischke: GEOEX-86  
in: URANIA, Berlin, (1987) 6, S. 28-32
- Barsch, H., Krönert, R.: Remote Sensing in Landscape Diagnosis.  
in: GeoJournal, Dordrecht u. Boston, 8 (1984) 1, S. 81-89
- Barsch, H., Haase, G., Krönert, R. u. H. Kugler: Anwendung der Geofernerkundung in Territorialplanung, Landnutzung und Landeskultur.  
Geofernerkundung. 13. Lehrheft, Dresden 1984
- Barsch, H., Söllner, R., Stoye, H., Schubert, L. u. H. Weichelt: Opredelnie produktivnosti agrotehničeskich sistem na osnove spektralnych charakteristik.  
in: Issledovanie Zemli iz kosmosa, Moskau, (1985) 5, S. 44-51
- Barsch, H., Söllner, R. u. Mitarb. von Stoye, H., Schubert, L. u. H. Weichelt: Erfassung von Komponenten der Ertragsbildung in agrotechnischen Geosystemen auf der Grundlage spektraler Signaturen - Ergebnisse des Interkosmos-Experimentes KURSK-85.  
in: Petermanns Geogr. Mitt., Gotha, 131 (1987) 1, S. 41-50
- Barthel, H., Pelz, E., Pietscher, J., Schmidt, I. u. P. Gerlach: "Stadt-, Dorf- und Landschaftsplanung".  
Geofernerkundung, 14. Lehrheft, Dresden 1988
- Benedict, E., Krönert, R.: Möglichkeiten zur Nutzung von Fernerkundungsdaten für einen Nationalatlas.  
in: Veröff. d. Zentralinst. f. Physik d. Erde, Potsdam, 106/1 (1989), S. 257-265
- Blaurock, K.-H., Breitfeld, B. u. W. Rösner: Nutzungsmöglichkeiten multispektraler Flugzeugaufnahmen für die Veränderungen der Flächennutzung.  
in: Veröff. d. Zentralinst. f. Physik d. Erde, Potsdam, 82 (1986), S. 58-65
- Breitfeld, B.: Flächennutzungsveränderungen in der Großstadtregion Leipzig. Erfassung, Darstellung, Interpretation.  
in: Wiss. Mitt. d. Inst. f. Geogr. u. Geoökologie, Leipzig, 30 (1989), S. 41-51
- Gärtner, W., Schubert, L.: Überführung von dechiffrierten Daten der Fernerkundung (DFE) in einen digitalen geographischen Datenspeicher.  
in: Veröff. d. Zentralinst. f. Physik d. Erde, Potsdam, 82 (1986), S. 195-201
- Gärtner, W.: Investigation and Representation of Land use Changes from Data of a Geographic Information System.

- in: Proceedings EURO-CARTO VI of the International Cartographic Association, Brno 1987
- Gärtner, W.: Ermittlung von Flächennutzungsveränderungen aus Rasterdateien der Flächennutzung.  
in: Wiss. Mitt. d. Inst. f. Geogr. u. Geoökologie, Leipzig, 30 (1989), S. 53-64
- Gärtner, W.: Methodische Prinzipien für die rechnergestützte Erfassung, Speicherung, Verarbeitung und Ausgabe von Flächennutzungsdaten im Rahmen eines Geographischen Informationssystems. Diss. A, Leipzig, 1989
- Gerlach, P., Schmidt, I.: Areal photographs for supervisory planning of municipal partial areas.  
in: Trade Technical Review, Berlin, 7 (1986) 7/8, S. 40-41
- Gerlach, P., Schmidt, I.: Einsatz von Luftbildern im Rahmen der städtebaulichen Leitplanung für städtische Teilgebiete.  
in: Architektur der DDR, Berlin, 36 (1987) 4, S. 48-53
- Haase, G., Schubert, L.: Geographische Forschungen mit Hilfe der Fernerkundung der Erde.  
in: Zeitschr. f. d. Erdkundeunterricht, Berlin, 29 (1977) 10, S. 368-378
- Hengelhaupt, U., Bacinski, E., Krönert, R. u. L. Schubert: Digitale Bildverarbeitung mit EC 1040 zur Dechiffrierung der Hauptarten der Flächennutzung mit Multispektralfotos.  
in: Veröff. d. Zentralinst. f. Physik d. Erde, Potsdam, 74 (1982), S. 130-134
- Hengelhaupt, U., Henker, S.: Probleme der geographischen Interpretation von Ergebnissen digital-automatischer Flächennutzungsdechiffrierungen.  
in: Veröff. d. Zentralinst. f. Physik d. Erde, Potsdam, 76 (1983), S. 62-71
- Hengelhaupt, U.: Rechnergestützte Analyse von Nutzflächenstrukturen auf der Grundlage dechiffrierter kosmischer Multispektraldaten.  
in: Wiss. Abhandlungen d. Geogr. Gesellschaft d. DDR, Gotha, 18 (1985), S. 300-307
- Hengelhaupt, U.: Zu einigen Grundfragen bei der rechnergestützten Interpretation kosmischer Multispektraldaten zur Analyse der Flächennutzung.  
in: Veröff. d. Zentralinst. f. Physik d. Erde, Potsdam, 82 (1986), S. 100-106
- Hengelhaupt, U.: Experimentelle Anwendung von Methoden der digitalen Bildverarbeitung zur geographischen Analyse und kartographischen Darstellung der Flächennutzung.  
Diss. A, Leipzig, 1987
- Henker, S.: Methodische Untersuchungen zur rechnergestützten kartographischen Analyse und Bilanz der Flächennutzung auf der Grundlage kosmischer Multispektralaufnahmen.  
Dipl.-Arbeit, Dresden 1983

- Henker, S.: Ausnutzung des spezifischen Charakters kosmischer Multispektraldaten für die Kartierung und Bilanzierung der Flächennutzung.  
in: Wiss. Abhandlungen d. Geogr. Gesellsch. d. DDR, Gotha, 18 (1985), S. 290-299
- Henker, S.: Ableitung planungsrelevanter Flächennutzungsinformation aus digital-automatisch dechiffrierten kosmischen Multispektraldaten.  
in: Veröff. d. Zentralinst. f. Physik d. Erde, Postdam, 82 (1986), S. 106-110
- Henker, S.: Untersuchungen zur Verbesserung der Qualität rechnergestützter Flächennutzungsdechiffrierungen und -kartierungen aus kosmischen Daten der Fernerkundung durch den Einsatz von Texturmerkmalen.  
Diss. A, Dresden 1986
- Henker, S.: Ableitung planungsrelevanter Flächennutzungsinformation aus automatisch klassifizierten kosmischen Multispektraldaten.  
in: Petermanns Geogr. Mitt., Gotha, 131 (1987) 4, S. 279-282
- Henker, S.: Untersuchungen zur Einbeziehung von Texturmerkmalen in Verarbeitungskonzepte zur rechnergestützten Flächennutzungsdechiffrierung aus kosmischen Daten der Fernerkundung.  
in: Vermessungstechnik, Berlin, 37 (1989) 1, S. 22-25
- Kautzleben, H., Barsch, H. u. R. Krönert: Geofernerkundung im Rahmen des Interkosmosprogramms - Geographische Aspekte einer interdisziplinären Forschungsk Kooperation.  
in: Petermanns Geogr. Mitt., Gotha, 134 (1990) 1, S. 55-65
- Krönert, R.: Geographischer Hintergrund für die Untersuchung der Flächennutzung mit Methoden der Geofernerkundung.  
in: Wiss. Mitt. d. Inst. f. Geogr. u. Geoökologie, Leipzig, 5 (1981), S. 47-56
- Krönert, R.: Die Geofernerkundung als Mittel für das Studium regionaler Strukturen und Prozesse.  
in: Pädagogische Hochschule Dresden. Symposium zur Ökonomischen und Sozialen Geographie. Dresden 3.-5.11.1983, S. 51-54
- Krönert, R.: Daten der Fernerkundung im Informationssystem der Geographie. Diskussionsbeitrag zum Aufbau territorialer Datenbanken.  
in: Gerlands Beiträge zur Geophysik, Berlin, 92 (1983), S. 171-185
- Krönert, R., Hengelhaupt, U., Schmidt, I. u. L. Schubert: Geographisch-kartographische Analyse der Flächennutzung nach multispektralen Luftbildern und Satellitenaufnahmen.  
in: Petermanns Geogr. Mitt., Gotha, 127 (1983), S. 181-190
- Krönert, R.: Dechiffrierung von Siedlungsflächen nach aerokosmischen Aufnahmen.  
in: Wiss. Mitt. d. Inst. f. Geogr. u. Geoökologie, Leipzig, 7 (1983), S. 111-118

- Krönert, R.: Nutzung von Daten der Fernerkundung in der Geographie.  
in: Geographische Berichte, Gotha, 29 (1984) 3, S. 153-163
- Krönert, R. Schubert, L.: Predstavlenija dlja sozdanija kart zemlepol'zovanija dlja praktičeskogo ispol'zovanija na osnove dannyh distancionnogo zondirovanija; soderžanie, masštaby i varianty izgotovlenija.  
in: Českoslovačkaja Akademija Nauk, Institut Geografii. Sbornik Statej, Brno, 2 (1984), S. 80-83 i priloženija
- Krönert, R.: Gegenwärtige und künftige Bedeutung der Fernerkundung für die Geographie.  
in: Technisch-ökonomische Information der zivilen Luftfahrt, Berlin, 21 (1985) 6, S. 238-240
- Krönert, R.: Ermittlung von Landschaftseinheiten mittlerer Ordnung nach Satellitenaufnahmen und deren Interpretation nach Karten des Atlas DDR.  
in: Wiss. Abhandlungen d. Geogr. Gesellsch. d. DDR, Gotha, 18 (1985), S. 229-236
- Krönert, R.: Nutzung von Daten der Fernerkundung in der Geographie.  
in: Veröff. d. Zentralinst. f. Physik d. Erde, Potsdam, 82 (1986), S. 12-21
- Krönert, R., Schmidt, I. u. B. Großer: GEOEX-86. Leipzig im Wärmebild.  
in: URANIA, Berlin, (1987) 9, S. 38-43
- Krönert, R.: Informationsgewinnung für geographische Räume durch Geofernerkundung.  
in: Wiss. Mitt. d. Inst. f. Geogr. u. Geoökologie, Leipzig, 27 (1988), S. 33-43
- Krönert, R., Breitfeld, B.: Luft- und Satellitenaufnahmen als Quelle für die Kartierung von Landschaftsveränderungen durch den Braunkohlenbergbau.  
in: Wiss. Abhandlungen d. Geogr. Gesellsch. d. DDR, Gotha, 20 (1989), S. 309-314
- Krönert, R.: Anthropogen modifizierte Landschaften. Harz und Thüringer Becken.  
in: Atlas zur Interpretation von kosmischen Scanneraufnahmen. Multispektralsystem FRAGMENT. Methodik und Ergebnisse. Berlin/Moskau 1989, Blatt 121
- Krönert, R., Scheffler, A. u. I. Schmidt: Multispektrale Luftbilder und Thermalaufnahmen als Mittel für die Analyse von Flächennutzungsstrukturen in einem Park.  
in: Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, Gotha, 15 (1990), S. 57-65
- Krönert, R.: Stadtansicht aus höherer Perspektive.  
in: Spektrum, Berlin, (1990) 10, S. 15-17
- Krönert, R.: Erkundung von städtischen Siedlungsstrukturen mit Fernerkundungsmethoden.

- in: Zeitschr. f. Photogrammetrie u. Fernerkundung, Karlsruhe, i. Druck
- Krönert, R.: Ansätze zur Bestimmung von Landschaftselementen und Landschaftseinheiten durch Geofernerkundung.  
in: Internationales Jahrbuch f. Kartographie, Ulm, i. Druck
- Reuter, B., Schmidt, I.: Ansätze einer geoökologischen Einschätzung des landeskulturellen Zustandes für die Reproduktionsbedingungen in Stadtregionen.  
in: Nachrichten Mensch - Umwelt, Berlin, (1990) 2, S. 39-55
- Schmidt, I., Stoye, H.: Identifikacija struktur zemlepol'zovanija na mnogozonal'nych aerokosmičeskich snimkach s pomošči cifrovoj obrabotki dannyh.  
in: Issledovanie Zemli iz kosmosa, Moskau (1984) 3, S. 89-96
- Schmidt, I.: Zur Bestandsaufnahme von Freiflächen in Siedlungen mit Hilfe visueller Luftbildinterpretation.  
in: Landschaftsarchitektur, Berlin, 13 (1984) 3, S. 75-78
- Schmidt, I.: Die Anwendung der Luftbildinterpretation zur Analyse von Freiflächen in Siedlungen.  
in: Wiss. Abhandlungen d. Geogr. Gesellsch. d. DDR, Gotha, 18 (1985), S. 251-261
- Schmidt, I.: Zur Interpretation von Multispektral-Flugzeugaufnahmen für Fragen der Flächennutzung, dargestellt am Beispiel der Stadt Leipzig.  
in: Petermanns Geogr. Mitt., Gotha, 130 (1986) 3, S. 203-212
- Schmidt, I., Hillmann, S. u. B. Usbeck: Nutzungsmöglichkeiten multispektraler Luftbilder für die Generalbebauungsplanung an den Beispielen Wohnbebauung und Freiflächen.  
in: Veröff. d. Zentralinst. f. Physik d. Erde, Potsdam, 82 (1986), S. 46-53
- Schmidt, I., Großer, B.: Über einige Beziehungen zwischen städtischer Flächennutzung und geoökologischen Parametern.  
in: Schriften d. Hochsch. f. Arch. u. Bauwesen, Weimar, 56 (1989), S. 158-166
- Schmidt, I., Großer, B., Krönert, R. u. G. Rudowski: Erfassung des thermischen Verhaltens städtischer Grünflächen mit Fernerkundungsmethoden. Ergebnisse vom Interkosmosexperiment GEOEX-86 im Testgebiet Leipzig.  
in: Geogr. Berichte, Gotha, 33 (1988), 2 S. 111-125
- Schmidt, I.: Methodik zur thermischen Kennzeichnung von städtischen Nutzflächengefügen.  
in: Wiss. Mitt. d. Inst. f. Geogr. u. Geoökologie, Leipzig, 30 (1989), S. 19-26
- Schmidt, I., Großer, B.: Thermisches Verhalten von städtischen Nutzflächengefügen - Ergebnisse des Experiments GEOEX-86.  
in: Veröff. d. Zentralinst. f. Physik d. Erde, Potsdam, 106/1 (1989), S. 109-118
- Schmidt, I., Usbeck, B.: Kennzeichnung des geoökologischen Zustandes der Stadtregion Leipzig mit Hilfe von Fernerkundungs-

- aufzeichnungen.  
in: *Wiss. Mitt. d. Inst. f. Geogr. u. Geoökologie, Leipzig*, 34 (1990), S. 175-192
- Schmidt, K., Stoye, H.: *Texturparameter zur Diskriminierung städtischer Geosysteme.*  
in: *Veröff. d. Zentralinst. f. Physik d. Erde, Potsdam*, 106/1 (1989), S. 99-108
- Schubert, L.: *Herstellung und Einsatz nutzergerechter Farbmischbilder.*  
in: *Jenaer Rundschau, Berlin*, 28 (1983) 4, S. 180-181
- Schubert, L.: *Herstellung und Einsatz nutzergerechter Farbmischbilder.*  
in: *Geogr. Berichte, Gotha*, 28 (1983) 1, S. 43-46
- Schubert, L.: *Probleme der Übernahme von flächennutzungsbezogenen Fernerkundungsdaten in einem geographischen Datenspeicher und deren Darstellung mittels rechnergestützter Kartierungsverfahren.*  
in: *Wiss. Abhandlungen d. Geogr. Gesellsch. d. DDR, Gotha*, 18 (1985), S. 283-289
- Söllner, R., Stoye, H. u. K. Weise: *Methodische Untersuchungen zur Dechiffrierung der Pflanzendecke und des Bodens durch Klassifizierung von multispektralen radiometrischen Daten auf Flugtrassen.*  
in: *Archiv Acker- und Pflanzenbau Bodenkunde, Berlin*, 31 (1987) 9, S. 583-587
- Stoye, H., Golzsch, G.: *Nutzungsmöglichkeiten multispektraler Flugzeugaufnahmen für die territoriale Rationalisierung der Produktion.*  
in: *Veröff. d. Zentralinst. f. Physik d. Erde, Potsdam*, 82 (1986), S. 54-58
- Stoye, H., Schmidt, I.: *Interpretation multispektraler Luftbilder für städtebauliche und territorialplanerische Zwecke.*  
in: *Vermessungstechnik, Berlin*, 34 (1986) 10, S. 337-341
- Stoye, H., Schmidt, I.: *Interpretation multispektraler Luftbilder für städtebauliche und territorialplanerische Zwecke.*  
in: *Technisch-ökonomische Information der zivilen Luftfahrt, Berlin*, 22 (1986) 1, S. 22-25
- Stoye, H., Usbeck, B.: *Rechnergestützte Dechiffrierung der Nutzungsflächenstruktur in Siedlungen mit digitalisierten MS-Luftbildern.*  
in: *Veröff. d. Zentralinst. f. Physik d. Erde, Potsdam*, 93 (1987), S. 337-343
- Stoye, H., Schmidt, I.: *Analyse der Flächennutzung mit Methoden der Geofernerkundung.*  
in: *Mitt. d. Fachverbandes d. Berufsgeogr. d. Geogr. Gesellsch. der DDR, Leipzig*, 1988
- Stoye, H.: *Kennzeichnung städtischer Nutzungsflächenstrukturen mit Texturmaßen.*

- in: *Wiss. Mitt. d. Inst. f. Geogr. u. Geoökologie, Leipzig*, 30 (1989), S. 27-40
- Stoye, H., Schmidt, K.: *Texturparameter zur Diskriminierung städtischer Geosysteme.*  
in: *Vermessungstechnik, Berlin*, 38 (1990) 1, S. 16-18
- Stoye, H., Schmidt, K. u. G. Weissflog: *Einsatz von Texturparametern zur Verbesserung von Flächennutzungsstrukturanalysen mit MSU-E-Daten.*  
in: *Petermanns Geogr. Mitt., Gotha*, 134 (1990) 4, S. 275-278
- Usbeck, B.: *Klassifizierung städtischer Nutzflächenarten aus multispektralen Luftbildern.*  
in: *Hall. Jb. f. Geowiss., Gotha*, 14 (1989), S. 65-73
- Usbeck, B.: *Rechnergestützte Analyse des Zustandes der Flächennutzung in der Stadtregion Leipzig im großen und mittleren Maßstab.*  
in: *Wiss. Mitt. d. Inst. f. Geogr. u. Geoökologie, Leipzig*, 30 (1989), S. 7-18
- Usbeck, B.: *Gewinnung geoökologischer Informationen über Wohnquartale durch digitale Verarbeitung gescannter Luftbilder.*  
in: *Veröff. d. Zentralinst. d. Physik d. Erde, Potsdam*, 106/2 (1989), S. 363-374
- Weissflog, G., Stoye, H.: *Hochpräzisionsvisualisierung von kosmischen Scannerdaten mit dem FEAG-200.*  
in: *Jenaer Rundschau, Berlin*, 33 (1988) 4, S. 190-193
- Weissflog, G., Stoye, H.: *Digitale Bildanalyse von Satellitenscannerdaten zur Dechiffrierung von Wald- und Siedlungsgebieten.*  
in: *Jenaer Rundschau, Berlin*, 35 (1990) 3, S. 131-135

Unveröffentlichte Forschungsberichte und Studien  
(in chronologischer Reihenfolge)

- ohne Autor (Haase, G. u.a.): *Bericht zum Experiment RADUGA 1976 im Testgebiet Bitterfeld - Halle - Leipzig (Dübener Heide).*  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Sektion Geographie der MLU Halle Wittenberg,  
Inst. f. Wasserwirtschaft - Bereich Umweltschutz - beim Ministerium für Umweltschutz u. Wasserwirtschaft Berlin.  
Leipzig, Mai 1977
- Schlüter, H., Schubert, L. (verantwortl. Bearbeiter) u.a.: *Geographische und thematisch-kartographische Auswertung aerokosmischer Aufnahmen aus dem Experiment RADUGA 76, Zwischenbericht.*  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Leipzig,  
Dezember 1977

- Baudis, T.: Zur Anwendung von Methoden der Fernerkundung bei ökonomisch-geographischen Untersuchungen.  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Leipzig,  
Februar 1978
- Bacinski, E., Hengelhaupt, U. u. L. Schubert: Bericht zur digital-automatischen Kartierung der Flächennutzung auf der Grundlage kosmischer Multispektralaufnahmen. F/E-Bericht (G2/Teil4).  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Leipzig,  
Dezember 1978
- Haase, G., Schlüter, H., Barsch, H., Kugler, H., Jänkel, R., Markuse, G., Hengelhaupt, U. u. L. Schubert: Aufgabenstellung und erste Erfahrungen bei der Dechiffrierung und Interpretation von Multispektralaufnahmen für die geographische Landschaftsforschung.  
Forschungsrichtung 5.06.01 Geographie, Arbeitsrichtung Physische Geographie, Forschungsmaterial 79/19, Leipzig, Juni 1979
- Krönert, R. (verantw. Bearb.) Bacinski, E., Baudis, T., Hengelhaupt, U., Schubert, I. u. H. Stoye: Interpretation von Multispektralaufnahmen (Hochbefliegung, Satellit) für Flächennutzungsanalyse und Naturraumerkundung im Testgebiet Bitterfeld/ Leipzig. F/E-Bericht (G2).  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Leipzig,  
Januar 1980 m. Anlage:  
Bacinski, E., Hengelhaupt, U.: ESER-Programme zur rechen-technischen Dechiffrierung von MS-Videodaten
- Baudis, T., Schubert, L.: Kartographische Bearbeitung großmaßstäbiger Farmbilder - eine Lösungsvariante zur Herstellung von Flächennutzungskarten im Maßstab 1:10 000.  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Leipzig,  
Dezember 1980
- Hengelhaupt, U., Bacinski, E. (verantw. Bearb.), Krönert, R., Schmidt, I., Schubert, L. u. H. Stoye: Digital-automatische Dechiffrierung der Satellitenaufnahme vom 1.8.1978 für das Beispielsgebiet Bitterfeld - Leipzig und Interpretation der Ergebnisse. F/E-Bericht (G3).  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Leipzig,  
August 1981
- Schubert, L. (verantw. Bearbeiter), Frey, L. (Komb. Geodäsie u. Kartogr.): Erster Entwurf der Methodik zur Herstellung von Flächennutzungskarten 1:50 000 auf der Grundlage von Luftbildern (mit Beispielskartierung). F/E-Bericht (G3).  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Leipzig,  
Oktober 1981
- Stoye, H., Breitfeld, B. u. L. Schubert: Methodenvergleich zur Erfassung von Veränderungen der Flächennutzung nach Luftbildern mit Autorenoniginal einer Karte der Flächennutzungsveränderungen im Raum Leipzig-Nord 1972-1979 (Karte AV 1106-4, Maßstab 1:50 000). F/E-Bericht (G3).  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW DDR, Leipzig,  
Oktober 1982

- Katalog zur Flächennutzungskartierung auf der Grundlage der visuellen Auswertung von Materialien der Geofernerkundung.  
Herausgeber: VEB Komb. Geod. u. Kartographie, Forschungszentrum Leipzig; Inst. f. Geogr. u. Geoökologie, Leipzig; Pädagogische Hochschule, Potsdam; Zentralinst. f. Physik d. Erde d. AdW d. DDR, Potsdam.  
Berlin, 1982
- Schröder, H.: Zur geomorphologischen Interpretation kosmischer Aufnahmen vom Horn von Afrika (Nordost-Somalia). Studie.  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Leipzig, Mai 1983
- Schmidt, I., Breitfeld, B., Stoye, H. u. B. Usbeck: Geographische Auswertung des Flugzeugexperimentes Leipzig-Nordost und vergleichende Prüfung des Informationsgehaltes von MKF-6 und weiteren Farbaufnahmen für die Dechiffrierung und Interpretation von Flächennutzungsstrukturen. F/E-Bericht (G3).  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Leipzig, Oktober 1983
- Schröder, H.: Methodische Untersuchungen zur Erkundung arealer Verteilungsmuster aus multispektralen Luftbildern unter Standortbedingungen des Mittelsächsischen Lösshügellandes.  
F/E-Bericht (G4).  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Leipzig, August 1984
- Hengelhaupt, U. (verantw. Bearb.), Gärtner, W. u. L. Schubert: Nutzungsmöglichkeiten des DIGG für die Laufendhaltung von Flächennutzungsinformationen. F/E-Bericht (A3).  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Leipzig, Oktober 1984
- Krönert, R. (verantw. Bearb.), Bacinski, E., Breitfeld, B., Gärtner, W., Hengelhaupt, U., Henker, S., Schmidt, I., Schubert, L., Stoye, H. u. B. Usbeck: Rahmentechnologie zur Erkundung von Flächennutzungsstrukturen sowie Prinzipien zur Herstellung von Flächennutzungskarten aus Luft- und Satellitenbildern.  
F/E-Bericht (G4).  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Leipzig, Mai 1985  
Anlagen, u. a.: Farbdruck der Flächennutzungskarte 1:50 000 Leipzig-Nord (Autoren: Schmidt, I., Schubert, L., Stoye, H.)
- Krönert, R.: Metodika vyjavlenija form i zakonomernostej dinamiki ispol'zovanija territorij i zemel'nogo fonda dlja territorial'nogo i landsaftnogo planirovanija s ispol'zovaniem aekosmiceskich sredstv. Itogovyj otčet po teme 8.2. Rabočaja gruppa socialističeskich stran po distancionnomu zondirovaniju Zemli s pomošč'ju aerokosmičeskich sredstv programmy "Interkosmos".  
Leipzig, 1985
- Krönert, R. (verantw. Bearb.), Breitfeld, B., Großer, B., Scheffler, A., Schmidt, I., Stoye, H., Usbeck, B. u. L. Schubert: Geoökologischer Zustand von Geosystemen - Ergebnisse des Interkosmosexperimentes GEOEX-86 im Testgebiet Leipzig.  
F/E-Bericht (G4).  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Leipzig, Oktober 1987

- Breitfeld, B. (inhaltl. Bearb.): Flächennutzungsveränderungen Leipzig-Süd 1973-1983. Farbdruck Karte 1:50 000.  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Leipzig, 1987
- Stoye, H., Usbeck, B.: Methodische Grundlagen der digitalen Verarbeitung großmaßstäbiger Fernerkundungsinformation für Aufgaben des Städtebaus. Studie im Auftrag der Bauakademie.  
Inst. f. Städtebau und Architektur, IGG Leipzig, 1987
- Stoye, H., Usbeck, B.: Erkundung der Struktur und des Zustandes städtischer Geosysteme mit simulierten Scannerdaten - TOMAS. Eröffnungsleistung G1.  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Leipzig, Mai 1988
- Stoye, H., Usbeck, B.: Charakterisierung und Separierung städtischer Geosysteme mit ausgewählten fernerkundungsspezifischen Merkmalen. Anforderungen an die Datenbereitstellung, -vorverarbeitung und -reduktion des Scannersystems TOMAS. Zwischenbericht.  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Leipzig, November 1988
- Krönert, R. (Gesamtverantwortung), Schmidt, I. (wiss. Redaktion) u.a.: Itogovyi otčet po meždunarodnomu aerekosmičeskomu eksperimentu "Geoeks-86".  
Leipzig 1988, mit Anlagen
- Scheffler, A.: Strukturschlüssel zur Dechiffrierung und Interpretation von städtischen Nutzflächengefügen.  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Leipzig, 1988.  
Manuskriptdruck
- Scheffler, A.: Dokumentation zur Anwendung des Kartenergänzungsgerätes KARTOFLEX. Kartierung und Bilanzierung von Flächennutzungsveränderungen nach multispektralen Luftbildern. Darstellung von Zustand und Zustandsänderungen städtischer Freiflächen.  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Leipzig, 1988
- Schmidt, I.: Geoökologische Einschätzung ausgewählter Stadtstrukturen und Schlußfolgerungen für die Stadtplanung. Anlage 8 im FE-Bericht "Großstadtregion Leipzig" (Ökonom. Geographie).  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Leipzig, 1988
- Schmidt, I., Schuhmann, G.: Hinweise zur städtebaulichen Planung bis 1995 der Leipziger Umgestaltungsgebiete aus geoökologischer Sicht. Studie im Auftrag der Bezirksplankommission.  
Inst. f. Geogr. u. Geoökologie d. AdW d. DDR, Leipzig, 1989

Schritte zur Nutzbarmachung der Satellitenfernerkundung  
für die amtliche Statistik

LRD Dr. Rudolf Stadler

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg  
-Abtg. Wirtschaftsanalysen, Umweltbeobachtung, Agrarwirtschaft-

Zusammenfassung

Die Satellitenfernerkundung fand bisher in der amtlichen Flächen- und Agrarstatistik - trotz potentiellen Bedarfs - keinen Eingang, weil geeignete operationelle Verfahren fehlten. Der Verfasser empfiehlt die Stichprobenparzellen der Besonderen Ernteermittlung als Trainingsflächen für die Klassifizierung der Nutzungsarten auf dem Ackerland und berichtet über Verfahrensansatz und erste Erfahrungen eines gemeinsam mit dem Institut für Navigation (Universität Stuttgart) begonnenen Forschungsauftrags. Die Ergebnisse einer Maximum-likelihood-Klassifikation auf Basis multitemporal und multispektral verknüpfter SPOT-XS- und Landsat-TM-Szenen sind ermutigend.

Summary

Satellite remote sensing is not yet acknowledged by the official agricultural and land use statistics because there is no suitable operational procedure. The author recommends to use the sampling fields of the "Besondere Ernteermittlung" as training areas for the classification of field use and reports the starting points and first experiences of a common project with the Institute of Navigation (University Stuttgart). The results of a multitemporal and multispectral classification by Maximum likelihood on connected scenes of SPOT XS and Landsat TM are promising.

1. Amtliche Statistik: ein potentieller Anwender der  
Satellitenfernerkundung

Die amtliche Flächen- und Agrarstatistik ist seit jeher offen für moderne statistische Methoden und Erhebungstechniken. Bei der permanenten Ressourcenknappheit der Statistik konnte bisher nur so dem tendenziell wachsenden Bedarf an Agrardaten entsprochen werden, der Aufwand für die Datengewinnung bei Auskunftsgewebenden und Erhebungsstellen erträglich gestaltet und eine gleichmäßig hohe Datenqualität sichergestellt werden. Beispiele für dieses Bemühen waren in der Vergangenheit die sehr frühe, konsequente Umstellung der Datengewinnung und -verarbeitung auf EDV, die Einführung moderner Zufalls-Stichproben bei der Bodennutzungserhebung, Viehzählung, Arbeitskräfteerhebung und Landwirtschaftszäh-

lung sowie die Entwicklung arbeitssparender Verfahrenskombinationen bei der Agrarberichterstattung.

Nachdem seit dem Verfassungsgerichtsurteil zur Volkszählung vom Dezember 1983 die Auskunftsbereitschaft der Befragten tendenziell abgenommen hat, werden neue Erhebungstechniken auch vermehrt mit dem Ziel eingesetzt, die Akzeptanz der statistischen Erhebungen bei den Auskunftspflichtigen zu verbessern. Die Satellitenfernerkundung bildet in diesem Zusammenhang einen aussichtsreichen methodischen Neuansatz. Umso erstaunlicher ist es, daß sich die amtliche Statistik bisher nur zögernd diese reichhaltige, objektive Datenquelle erschließt.

## 2. Vorbehalte der Statistik gegenüber der Satellitenfernerkundung

Die Gründe für die auffallende Zurückhaltung der amtlichen Flächen- und Agrarstatistik gegenüber der Satellitenbilddatenauswertung sind nur teilweise berechtigt. Insbesondere sind die Argumente wenig stichhaltig, daß

- die Leistungsfähigkeit der optischen Systeme zu gering sei; mit der bei SPOT erzielbaren geometrischen Auflösung ( $10 \times 10 \text{ m}^2$ ) und dem spektralen Auflösungsvermögen von LANDSAT-TM sind über multitemporale Auswertungen schon sehr detaillierte Aussagen möglich und in Bälde ist mit weiteren Verbesserungen zu rechnen;
- großflächige systematische Bilddatenfolgen fehlen; schon vor einiger Zeit konnte am sogenannten "Siedlungsschnitt Baden-Württemberg" gezeigt werden [1], daß auch großflächige Landnutzungsauswertungen aus hochauflösenden Satellitenbilddaten operationell möglich sind, und mittlerweile sind auch Aufträge für eine Landnutzungs klassifizierung von Baden-Württemberg ausgeschrieben worden.

Nur bedingt berechtigt sind die Einwände, daß

- die für unser Gebiet oft vorherrschende Bewölkung eine zu-

verlässige, termingerechte Datengewinnung ausschließe; durch die häufigen Repetitionsraten der Satellitenbildflüge ist die Wahrscheinlichkeit für einige brauchbare Aufnahmen innerhalb einer Vegetationsperiode in fast jedem Jahr gegeben; weiterhin können additiv wirkende Stichprobenverfahren entwickelt und/oder Radartechniken eingesetzt werden [2];

- die Verknüpfungsmöglichkeiten mit Sachdaten eingeschränkt seien; mit dem zu erwartenden flächendeckenden Automatisierten Liegenschaftskataster (ALK) erschließt sich vielmehr eine Fülle von Verknüpfungsmöglichkeiten mit anderen Datenbanksystemen, wie dem Landesinformationssystem beim Statistischen Landesamt (LIS) bzw. dem UIS beim Umweltministerium Baden-Württemberg [3].

Ernster zu nehmen ist allerdings der Einwand, daß

- die Satellitenfernerkundung verfahrensmäßig bisher bei Großforschungseinrichtungen und Universitätsinstituten, nicht aber bei den Statistischen Landesämtern entwickelt wird, die auch kaum mit den nötigen technischen und personellen Kapazitäten ausgestattet werden, und daß
- die traditionellen statistischen Methoden der Befragung immer noch bessere und billigere Ergebnisse bringen als die Satellitenfernerkundung - Ergebnisse vor allem, die auch flächendeckend und wiederholbar sind, während manches Forschungswissen der Institute mit dem Wechsel des jeweiligen Mitarbeiters unwiederbringlich verlorengeht.

Tatsächlich verfügen die Statistischen Landesämter derzeit nur in Ausnahmefällen über geographische Arbeitsplätze (Statistisches Bundesamt) zur eigenständigen Satellitenbilddauswertung. Es ist auch kaum anzunehmen, daß sich dies ändert, solange die Satellitenbilddauswertung kein operationales Verfahren ist, das in den Datengewinnungsprozeß der statistischen Ämter organisch eingebunden werden kann.

Andererseits werden für umwelt- und raumbezogene Problemlösungen immer stärker statistische Ergebnisse mit exaktem

geographischen bzw. lokalem Bezug benötigt. Die Nachweissysteme der amtlichen Statistik werden daher künftig vor allem im Bereich der Flächen-, Agrar- und Umweltstatistik um raumbezogene und punktuelle Nachweisungen unterhalb der Gemeindeebene ergänzt werden müssen, was die Einrichtung geographischer Informationssysteme und damit eine stärkere Nutzung der Satelliten- bzw. Luftbildaufnahmen voraussetzt. Es kommt hinzu, daß mittels der Satelliten die Datengewinnung auf eine objektivere Grundlage gestellt und damit die oft hohen Antwortvariabilitäten statistischer Befragungen vermieden werden können [4].

Für die Einführung der Satellitenfernerkundung in die amtliche Statistik bestehen somit trotz aller Vorbehalte gute Chancen, wenn es gelingt, sie operationell in den Datengewinnungsprozeß der Statistik einzubinden oder - anders ausgedrückt - wenn diese Technik zur anwendungsreifen Routine wird.

### 3. Methodisch-theoretische Verfahrensansätze

Bei der Suche nach dem geeigneten Weg sind zwei bereits existierende Modelle nicht zu übersehen, nämlich das "STABIS-Projekt" des Statistischen Bundesamtes [5] und die "Regionalinventur" der Europäischen Gemeinschaft [6].

3.1 Dem STABIS-Projekt, das die bundesweite Einrichtung eines statistischen Informationssystems über die Bodennutzung zum Ziel hat, liegen keine Satellitenbilder, sondern schwarz-weiß-Stereo-Luftbilder im Maßstab 1:32000 zugrunde, die mit der topographischen Karte M 1:25000 (TK 25) verknüpft werden, wobei Flächen homogener Realnutzung mit einer Mindestgröße von einem Hektar erfaßt und anhand eines Katalogs von etwa 80 Nutzungsarten unterschieden werden. Die Praktikabilität des Verfahrens steht heute außer Zweifel, doch trifft die Realisierung in großem Umfang (z.B. für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland oder eines Bundeslandes) noch auf Schwierigkeiten, weil der mit der Digitalisierung der Luftbildda-

ten verbundene Aufwand sehr hoch, eine Differenzierung nach einzelnen Nutzungsarten bei kleineren Flächeneinheiten (unter 1 ha) nicht möglich ist und der Darstellungsschwerpunkt weniger auf den landwirtschaftlich genutzten als auf den Siedlungs- und Verkehrsflächen liegt. Mittlerweile ist daher das Statistische Bundesamt bemüht, das STABIS-Projekt auch auf Satellitenbilddaten abzustellen. Bei den gegebenen Vorteilen von Satellitenbilddaten gegenüber Luftbildern (vgl. Abb. 1) dürfte dies von erheblichem Vorteil sein. Der Nutzen hochauflösender Luftbilder für regional begrenzte Spezialbeobachtungen wird keineswegs verkannt, doch geht es hier in erster Linie um die operationale Einbindung in den statistischen Dienst, für den das Satellitenbild größere Vorteile bietet.

3.2 Bei dem vom Joint-Research-Center der Europäischen Gemeinschaft in Ispra seit 1988 verfolgten Ansatz einer Regionalinventur handelt es sich um ein Zehnjahresprogramm, das verschiedene Aktionen umfaßt, unter denen die

Abb. 1  
**Satellitenbild contra Luftbild**

| Merkmal                                   | Satellitenbild               | Luftbild                         |
|---|------------------------------|----------------------------------|
| Verfügbarkeit der Bilder                  | frei für jedermann           | genehmigungsbedürftig            |
| Maßstababhängigkeit                       | gleichbleibend               | höhenabhängig                    |
| Flugbahnstabilität                        | sehr groß                    | schwankend                       |
| Aufnahmefrequenz                          | laufend, in Intervallen      | nur begrenzt wählbar             |
| Repetitionsrate                           | alle 16 bzw. 26 Tage, starr  | alle 5 Jahre oder auf Bestellung |
| Größe des Erfassungsgebiets               | relativ groß                 | relativ klein                    |
| Zeitidentität bei großflächigen Aufnahmen | voll gegeben                 | kaum realisierbar                |
| Datengenauigkeit                          | geringer, verbesserungsfähig | größer                           |
| Verarbeitungs- und Kombinationsfähigkeit  | Rasterdaten                  | Vektordaten                      |
| Kosten                                    | relativ billig               | relativ teuer                    |

regionale Flächenerfassung derzeit wohl am weitesten fortgeschritten ist. Sie wurde in fünf verschiedenen Testregionen der Europäischen Gemeinschaft angewandt, unter anderem auch in der Bundesrepublik Deutschland, (Niederbayern); die Arbeiten hierfür lagen 1988 bis 1990 in der Hand der GAF München, die darüber verschiedentlich gesondert berichtet hat [7]. Im Mittelpunkt des Verfahrens steht eine in enger Anlehnung an das für Entwicklungsländer konzipierte "Area Frame Sampling" durchgeführte Flächenstichprobe aufgrund von Bodenbegehungen. Die Ergebnisse dieser repräsentativen Bodenerhebung werden einer korrespondierenden Abschätzung der Nutzungsarten aus hochauflösenden Satellitenbildern gegenübergestellt und anhand von Regressionsschätzungen verbessert. Der Grad der Genauigkeitsverbesserung der Schätzung, d.h. die Effizienz der Regression, hängt von der Stärke der Korrelation zwischen den Ergebnissen der Bodenerhebung und der Satellitenbilddauswertung ab; die Effizienz wird somit als statistische Maßzahl für die Beurteilung des Nutzens des Satelliteneinsatzes angesehen. Die Operationalität des Verfahrens ist gegeben. Die für die Jahre 1988 und 1989 bekanntgewordenen Untersuchungsergebnisse brachten gebietsweise durchaus ermutigende Resultate, vor allem bei Wintergetreide und insbesondere für Länder mit weniger entwickelter Agrar- und Flächenstatistik (vgl. Abb. 2). Jedoch wurde das Pilotprojekt in der BRD mit dem Jahr 1990 eingestellt, weil es mit der Bodennutzungsaufnahme der amtlichen Statistik aufgrund einer Betriebsbefragung nicht konkurrieren konnte: Bei geringerer Genauigkeit entstehen jährlich zusätzliche Kosten für die Feldarbeit (Bodenerhebung), die bei der konventionellen Betriebsbefragung nicht anfallen.

- 3.3 Bei der Konzeption eines Alternativverfahrens wurde daher nach einer Lösung gesucht, die die Probleme der beiden genannten Ansätze vermeidet, also
- ohne zusätzliche Bodennutzungsaufnahme auskommt,
  - sich in das bestehende System der konventionellen statistischen Datengewinnung integrieren läßt,

Abb. 2  
EG-Flächeninventur mittels Fernerkundung 1989  
a) Erzielte Effizienzen

| Fruchtart     | Untersuchungsgebiete |                   |        |                |               |
|---------------|----------------------|-------------------|--------|----------------|---------------|
|               | Mazedonien           | Zentralfrankreich | Bayern | Emilia Romagna | Castilla Leon |
| Weizen        | 1.99                 | 1.80              | 2.10   |                | 1.83          |
| Hartweizen    | 2.13                 |                   |        |                |               |
| Wintergerste  | 1.67                 | 1.03              | 2.07   |                | 2.11          |
| Sommergerste  |                      |                   | 1.73   |                |               |
| Hulsenfruchte |                      | 1.53              |        |                |               |
| Raps          |                      | 1.98              | 7.50   |                |               |
| Mais          | 3.11                 | 2.17              |        | 1.45           | 1.60          |
| Reis          | 18.86                |                   |        | 1.67           |               |
| Kartoffeln    | 7.61                 |                   |        |                |               |
| Zuckerruben   | 7.16                 |                   |        | 2.46           | 3.33          |
| Sonnenblumen  | 1.41                 | 2.76              |        |                |               |
| Tabak         | 2.21                 |                   |        |                |               |
| Baumwolle     | 3.19                 |                   |        |                |               |
| Soja          |                      |                   |        | 2.14           |               |

b) Flächenschätzungen und Standardfehler der Regression

| Fruchtart     | Mazedonien |      | Zentralfrankreich |      | Bayern  |     | Emilia Romagna |     | Castilla Leon |      |
|---------------|------------|------|-------------------|------|---------|-----|----------------|-----|---------------|------|
|               | 1000 ha    | SfF  | 1000 ha           | SfF  | 1000 ha | SfF | 1000 ha        | SfF | 1000 ha       | SfF  |
| Weizen        | 164        | 11.0 | 566               | 15.4 | 151     | 4.7 |                |     | 107           | 6.9  |
| Hartweizen    | 161        | 10.0 |                   |      |         |     |                |     |               |      |
| Wintergerste  | 65         | 5.5  | 87                | 7.4  | 85      | 3.4 |                |     | 548           | 13.0 |
| Sommergerste  |            |      |                   |      | 72      | 4.6 |                |     |               |      |
| Hulsenfruchte |            |      | 72                | 6.0  |         |     |                |     |               |      |
| Raps          |            |      | 44                | 4.1  | 26      | 1.3 |                |     |               |      |
| Mais          | 22         | 2.0  | 143               | 8.0  |         |     | 70             | 6.0 | 9             | 1.3  |
| Reis          | 10         | 0.5  |                   |      |         |     | 16             | 4.2 |               |      |
| Kartoffeln    | 1          | 0.7  |                   |      |         |     |                |     |               |      |
| Zuckerruben   | 14         | 1.2  |                   |      |         |     | 119            | 5.4 | 29            | 2.0  |
| Sonnenblumen  | 4          | 1.2  | 70                | 5.6  |         |     |                |     |               |      |
| Tabak         | 18         | 2.2  |                   |      |         |     |                |     |               |      |
| Baumwolle     | 60         | 4.0  |                   |      |         |     |                |     |               |      |
| Soja          |            |      |                   |      |         |     | 54             | 5.3 |               |      |

DOI: <https://doi.org/10.2312/zip.1991.118.01>

- voll operationabel und von nachprüfbarer Zuverlässigkeit ist.

Die Lösung sehe ich in der Heranziehung der Stichprobenparzellen der "Besonderen Ernteermittlung" als Trainingsflächen [8].

Bei der Besonderen Ernteermittlung (BEE) handelt es sich um ein terrestrisches Stichprobenverfahren, das sich seit fast einem halben Jahrhundert zur Ermittlung der Hektarerträge von Getreide und Kartoffeln hervorragend bewährt hat, weil es auf exakten Ertragsfeststellungen beruht. Grundlage der BEE sind selbstgewichtende, mehrstufige Stichproben für jede einbezogene Fruchtart, wobei in der ersten Auswahlstufe aus der in bestimmter Anordnung kumulierten Anbauflächensumme systematisch und zufällig die Stichprobenbetriebe, in der zweiten Auswahlstufe durch Los das Stichprobenfeld und in der dritten Auswahlstufe nach vorgegebenen Gleichverteilungsregeln 5 Probeparzellen von je  $1 \text{ m}^2$  ausgewählt werden. In den Probequadraten wird kurz vor der Ernte unter Verwendung eines Quadratmeterrahmens das Getreide sorgfältig herausgeschnitten, ausgedroschen und das Gewicht sowie der Feuchtigkeitsgehalt der Probe analytisch festgestellt und auf dt/ha umgerechnet. Da die Stichprobe selbstgewichtend ist, gibt das ermittelte Durchschnittsgewicht aller Probeschnitte einer Fruchtart den Durchschnitt der Bruttoernte eines Landes an. Die Nettoernte, die sich davon durch Randflächen- und Ernteverluste unterscheidet, ergibt sich aus der Gegenüberstellung mit sogenannten Volldruschen in einer Unterstichprobe von 15 % der Probeschnitte. Diese Volldruschparzellen bieten sich als Trainingsfelder für die Satellitenbilddauswertung an.

Dieser Ansatz ermöglicht eine echte Zufallsauswahl von Trainingsflächen für den Untersuchungsraum und bildet somit eine hervorragende Grundlage für eine verallgemeinernde Klassifizierung sowohl der einzelnen Nutzungsar-

ten als auch der durchschnittlich erzielten Hektarerträge im gegebenen Untersuchungsraum.

Dem Verfahrensansatz liegt die Erwartung zugrunde, daß die Zahl der Trainingsfelder und Stichprobenparzellen gegenüber dem derzeitigen Stand der BEE mittelfristig reduziert werden kann, weil über die Satellitenbilddaufnahmen wesentlich breitere Beobachtungsgrundlagen gegeben sind und die Verknüpfung mit einer Reihe von ergänzenden Sachdaten im Rahmen eines Geoinformationssystems möglich wird [9].

#### 4. Verfahrensbeschrieb

Eine praktische Erprobung des Verfahrensansatzes wurde durch einen Forschungsauftrag des Ministeriums für Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg an das Institut für Navigation der Universität Stuttgart (INS) und das Statistische Landesamt Baden-Württemberg ermöglicht [10]. Im ersten Untersuchungsjahr 1990 wurde zunächst ein eng begrenzter Raum (Landkreis Ludwigsburg) und die Nutzungsart "Winterweizen" zugrunde gelegt, die Flächenfeststellung als erstes Hauptziel formuliert und der Verfahrensablauf wie folgt strukturiert:

- Feststellung der Trainingsflächen (BEE-Parzellen) je Fruchtart durch das Statistische Landesamt,
- Übergabe der Koordinateneckpunkte dieser Trainingsfelder an das INS zur Übertragung auf die Satellitenbilder,
- Weiterverarbeitung beim INS: Klassifikation und Flächenstatistik,
- Übermittlung der für die Trainingsfelder festgestellten Spektralinformationen an das Statistische Landesamt zur Ertragsanalyse.

Mit der Durchführung des Verfahrens war die Klärung weiterer methodischer Fragen erforderlich, so insbesondere der Fragen nach

- der Mindestzahl von Trainingsflächen für die Klassifizierung,
- der Mindestgröße der Trainingsparzellen,
- der Genauigkeitsverbesserung durch multitemporale Auswertungen,
- der Abhängigkeit der Varianz der Spektralsignaturen einzelner Nutzungsklassen vom Standort und der Bewirtschaftungsintensität,
- der notwendigen Erweiterung auf großräumige Trainingsgebiete, um auch Nutzungsklassen mit inhomogener spektraler Signatur hinreichend genau zu klassifizieren, u.a.m.

Die Auswahl der Stichprobenbetriebe erfolgte zentral im Statistischen Landesamt zufällig systematisch aus der kumulierten Winterweizenfläche der letzten totalen Bodennutzungshaupterhebung 1987. Zu jedem Stichprobenbetrieb wurden zwei Ersatzbetriebe ausgelost, auf die in 10 % der Fälle zurückgegriffen werden mußte, weil Betriebe seit 1987 aufgegeben wurden, den Anbau von Winterweizen eingestellt hatten oder dgl. Gründe vorlagen.

Nach schriftlicher Vorinformation der ausgelosten Landwirte erfolgte die Auswahl, Besichtigung und Kennzeichnung sowie das Abschreiten von Länge und Breite der Probefelder durch Beauftragte des Statistischen Landesamtes. Zusätzlich wurde eine Skizze mit Lagebeschreibung, Gewinn und Flurstücksnummer gefertigt; sofern letztere dem Betriebsinhaber nicht bekannt war, wurde sie bei der Gemeinde oder dem Flurbereinigungs-, Vermessungs- bzw. Grundbuchamt ermittelt. Die Größe der auf diese Weise ausgelosten Stichprobenparzellen variierte zwischen 14 Ar und 6 Hektar bei einem Durchschnittswert von 1,6 ha. Für die ausgelosten Felder wurden die einschlägigen Flurkarten gezogen, Lichtpausen erstellt, die Probefelder eingezeichnet und im Statistischen Landesamt die Koordinatenwerte nach Gauß-Krüger ermittelt und dem INS übergeben.

Die Durchführung der Feldarbeiten verlief im wesentlichen reibungslos: Die Bauern waren aufgeschlossen und kooperativ, von den 150 ausgelosten und einbezogenen Stichprobenbetrieben beteiligten sich alle bei der Felderauswahl, bei 143 konnten auch korrekte Ertragsfeststellungen durchgeführt werden. Es dürfte daher auch eine landesweite Anwendung keine Schwierigkeiten bereiten, zumal dann versierte Kreisvertreter der Landwirtschaftsämter einzuschalten sind. Der für die Berechnung der Koordinatenwerte entstandene Aufwand entfällt, wenn die automatisierte Liegenschaftskarte (ALK) der Vermessungsverwaltung mit den Parzellennummern der Probefelder vorliegt.

Im zweiten Forschungsjahr sollen bei der Feldarbeit auch die das jeweilige Probefeld umgebenden Grundstücke anderer Nutzung mit erfaßt werden; das einzelne Stichprobenfeld wird dann gewissermaßen zu einem größeren Beobachtungs- und Trainingsareal erweitert, so daß auch für andere Fruchtarten -quasi nebenbei - zusätzliche Trainingsinformationen gewonnen und das Zusammenwirken verschiedener Fruchtarten als Erfassungskomplex berücksichtigt werden kann.

Über die Aufbereitung und ersten Ergebnisse der Flächen- daten wird in den nachfolgenden Referaten berichtet [11]. Bezüglich der Resultate der Ertragsfeststellungen wird zur gegebenen Zeit an anderer Stelle referiert. Immerhin hat das erste Forschungsjahr gezeigt, daß eine operationale Feststellung der auf dem Ackerland angebauten Kulturart Winterweizen grundsätzlich auf dem eingeschlagenen Weg möglich ist. Allerdings sind noch weitere Untersuchungen erforderlich, um das Verfahren im Hinblick auf die Übertragbarkeit auf andere Fruchtarten, auf das gesamte Land, die Ergebnissicherung bei Bewölkung und die Verbesserung der Genauigkeit zu stabilisieren.

Literatur

- [1] Klaedtke, Qui Li, Ziemann: Größflächige Landnutzungsbestimmung aus LANDSAT 5-TM Daten, in: Jaeschke, A; Geiger, W; Page, B. (Hrsg): Informatik im Umweltschutz (Proc.), S. 63-72.
- [2] Hartl, Ph.: Bönsch, E.; Cheng, F.: Klaedtke, H.-G.; Smiatek, G.; Ziemann, H.: Weiterentwicklung der Technik und aktuelle Nutzenanwendung der Fernerkundung im Bereich Umweltschutz, Endbericht zum Studienauftrag 92411/17 des Umweltbundesamtes, Vorhabensleiter: Fischer, D., Stuttgart, 1990, Teil 6.
- [3] Stadler, R.: Informationssysteme aus der Sicht der amtlichen Statistik, Zeitschr. GEO-Informationssysteme, 2. Jg. (1989), Heft 1, S. 11 ff.
- [4] Strecker, H.; Wiegert, R.: Die Antwortvariabilität bei statistischen Erhebungen, in: Österreichische Zeitschrift für Statistik und Information, Wien 1986, 16. Jg. H.3, S. 99-130.
- [5] Radermacher, W.: Pilotstudie Statistisches Bodennutzungssystem, Heft 2 der Schriftenreihe des Statistischen Bundesamts über ausgewählte Arbeitsunterlagen zur Bundesstatistik, Wiesbaden 1987.  
Deggau, M.; Radermacher, W.: Systematik der Bodennutzungen, Heft 6 der Schriftenreihe des Statistischen Bundesamts über ausgewählte Arbeitsunterlagen zur Bundesstatistik, Wiesbaden 1989.  
Stralla, H.: Ein raumbezogenes Informationssystem in der Statistik, Vortrag im wissenschaftlichen Kolloquium am 26.9.1990 in Wiesbaden.
- [6] Gallego, F.J.; Acreage Estimation of annual crops with the help of remote sensing, Vortragsmanuskript vom 19.9.1990 (Institut für Angewandte Fernerkundung, Gemeinsame Forschungsstelle (GFS), Ispra.  
Meyer-Roux, J.: Pilotprojekt Nutzung der Fernerkundung für die Agrarstatistik, Bericht des Instituts für Angewandte Fernerkundung, Gemeinsame Forschungsstelle (GFS), Ispra.
- [7] Haydn, R.: Testprojekt zur Einführung der Fernerkundung in die EG-Agrarstatistik, in: Zeitschrift GIS (1989) Heft 3.  
Gangkofner, V.; Relin, A.; Saradeth, S.: Regional Inventory 1988/89 in Bavaria (Manuskript).
- [8] Stadler, R.: Stand, Entwicklungsperspektiven und Grenzen der Datenbeschaffung und Erhebungsmethoden in der amtlichen Agrarstatistik, in: Neue Forschungskonzepte und -methoden in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues, Bd. 25 der Schriftenreihe der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Münster und Hilstrup 1989, S. 153 ff.

- [9] Stadler, R.: Satellitenfernerkundung und amtliche Statistik, in: Baden-Württemberg in Wort und Zahl, 39 Jg. (1991), H. 3, S. 127 ff.
- [10] Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg: Forschungsauftrag "Einsatz der Satellitenbilddauswertung zur Bestimmung der Bodennutzung und Ertragsermittlung" Fortsetzungsantrag und Ergänzungsantrag (Az.: 9551.13/4-1).
- [11] Klaedtke, H.-G.; Kleyer, M.; Kaifel, A.; Kunz, S.; Mauser, W. und Stadler, R.: Einsatz von Satellitendaten zur Bestimmung der Bodennutzung in Baden-Württemberg, Bericht 1990/91, Institut für Navigation der Universität Stuttgart (Leiter Prof. Dr. Hartl) und des Statistischen Landesamts Baden-Württemberg (Leiter: Prof. Dr. Wingen).

Fernerkundungs- und GIS-Technologien zur Überwachung der  
Landnutzung eines tropischen Gebietes in Vietnam

P. V. Cuong, H. Wirth

Zentralinstitut für Physik der Erde, Potsdam

Zusammenfassung

Das ökologische Gleichgewicht von Landschaften in monsunfeuchten tropischen Gebieten kann infolge der intensiven Witterungsabläufe bereits durch geringfügige Änderungen einzelner Komponenten erheblich gestört bzw. verändert werden. In den bevölkerungsreichen Gebieten Vietnams ist die unkontrollierte und extensive landwirtschaftliche Nutzung des Landes für die drastischen Veränderungen des Erosions- und Sedimentationsprozesses der Böden sowie des Wasserhaushaltes der entscheidende Faktor.

Die Kontrolle und Bewertung des Zustandes der Landschaft erfordert somit in erster Linie die Überwachung und eine ökologisch stabilisierende Steuerung der Landnutzung zur Sicherung und gezielten Erweiterung der Ernährungsbasis der Bevölkerung. Mit Hilfe von Fernerkundungsdaten können aktuelle Informationen über die Landnutzung gewonnen werden. In Kombination mit zusätzlichen Daten wie Relief, Klima, Bodenarten und landwirtschaftliche Produktionskennziffern, die in einem Geoinformationssystem abgelegt sind, können Strategien für eine ökologisch verträgliche landwirtschaftliche Produktion entwickelt werden.

Summary

The economical balance of landscape in monsoon tropical region can be affected and changed respectively by the intensive processes through insignificant changes of several components. In high-density population areas of Vietnam, the uncontrolled and extensive agricultural use is a decided factor for drastic changes of erosion and sediment processes of soils as well as water resources.

Checking and evaluating landscape conditions require, in first line, the supervision and ecological stable steering land use to secure and extend the nutritional base for population. The actual informations on land use can be obtained with the help of remote sensing data. In combination with additional data, such as relief, climate, soil types and agricultural production index, which have been put in geoinformation system, strategy for an ecological compatible agricultural production can be developed.

## 1. Einleitung

Das ökologische Gleichgewicht von Landschaften in monsunfeuchten tropischen Gebieten kann infolge der intensiven Witterungsabläufe bereits durch geringfügige Änderungen einzelner Komponenten erheblich gestört bzw. verändert werden. In den bevölkerungsreichen Gebieten Vietnams ist die kontrollierte extensive landwirtschaftliche Nutzung des Landes der entscheidende Faktor für teilweise drastische Veränderungen des Erosions- und Sedimentationsprozesses der Böden sowie des Wasserhaushaltes. Das Ziel dieser Untersuchungen ist daher, eine Methodik zur Gewinnung flächendeckender Informationen über die aktuelle Landnutzung und die Ableitung von Trendaussagen über Veränderungen zu entwickeln.

## 2. Untersuchungsgebiet und Fernerkundungsdaten

Für die beabsichtigten Untersuchungen wurde der Landkreis Bavi etwa 50 km südlich von Hanoi ausgewählt (Abb. 1).



Abb. 1: Untersuchungsgebiet

In dem Gebiet sind großräumig die Landschaftstypen tropisches Mittelgebirge, Bergland, Hügelland und alluviale Ebenen im Bereich des Roten Flusses ausgebildet. Um den Berg Bavi mit dem

1296 m höchsten Tanvien-Gipfel breiten sich viele Hügel in Richtung Westen, Norden und Osten aus.

Die durchschnittliche Temperatur beträgt im Sommer 27,3°C, im Winter 19,3°C. Der jährliche Niederschlag beträgt 1600-2000 mm, im Gebirge sind es sogar 2500 mm.

Die zwei großen Flüsse Roter Fluß und Schwarzer Fluß besäumen zusammen mit dem Berg Bavi das Testgebiet.

Die Natur ist geeignet für land- und forstwirtschaftliche Produktion sowie als Sport- und Erholungsgebiet des Ballungszentrums Hanoi. Grüne Regenwälder bedecken den Berg und teilweise auch das Hügelland. Es dominiert in typischen landwirtschaftlichen Flächen der Reisanbau auf den bewässerten Feldern und Getreide auf trockeneren Feldern (Abb. 2).



Abb. 2: Landschaft in Bavi

Rodungen im Hügelland zur Gewinnung neuer Landwirtschaftsflächen für Reis und Getreide bergen die Gefahr sehr starker Erosion.

Die Erosion kann durch Abspülung so stark sein, daß die Neulandgewinnung zum Mißerfolg wird und ausschließlich eine ökologische Schädigung der Landschaft die Folge ist (Abb. 3).

Als Datenmaterial für die Gewinnung synoptischer Informationen über die Landnutzung sind vom Kreis Bavi seit mehreren Jahren Luft- und multispektrale Satellitenbilder verfügbar.

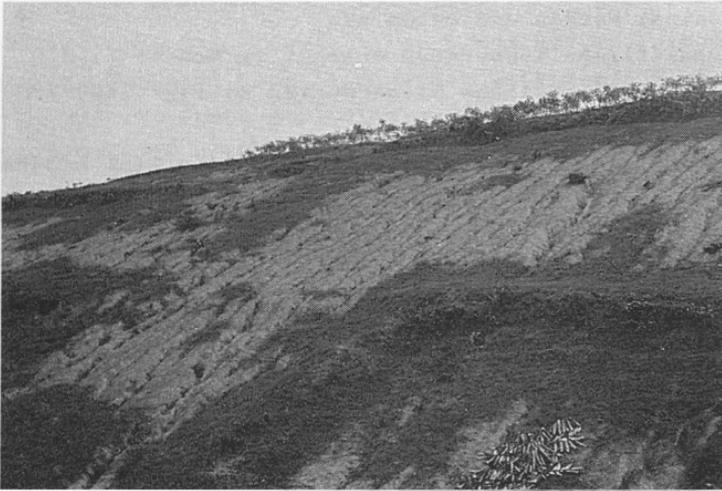


Abb. 3: Bodenerosion

Luftbilder im Maßstab von 1:38000 wurden 1970 aufgenommen. Deutlich auf dem Luftbild zu erkennen sind die Landwirtschaftsflächen, Grünwälder, Büsche und Siedlungsstrukturen im Übergangsbereich vom Hügelland zur Flußebene. Satellitenbilder, die für die Untersuchung benutzt wurden, sind SPOT, 269-308, vom 28. 01. 1987 und Landsat 4, 127-145, vom 08. 05. 1984. Neben den hier gezeigten Daten stehen auch Karten der Hangneigung, des Bodens und der Landnutzung aus dem Jahr 1985 zur Verfügung. Die Karten sind im Maßstab 1:50000 dargestellt. Feldbesichtigungen mit Auswahl der Testflächen für Bildverarbeitung sowie Sammlung der statistischen Daten der Erträge und Nutzungsflächen wurden durchgeführt.

### 3. Arbeitsmethodik

Als einheitliche topographische Arbeitsgrundlage wurde die topographische Karte im Maßstab 1:50000 aus dem Jahr 1978 ausgewählt. Die Fernerkundungsdaten wurden rechnergestützt mit Programmen der digitalen Bildverarbeitung geometrisch in die Kartengrundlage transformiert. Dabei konnte das in tropischen Gebieten schwierige Problem der Paßpunktbestimmung dadurch gelöst werden, daß die langzeitlich stabilen Deiche des Roten

Flusses in den Fernerkundungsdaten deutlich erkennbar waren. Für die Satellitenbilddaten wurde ein mittlerer Fehler von  $\pm 2$  Pixeln Lageidentität erreicht.

Auf der Grundlage der Dokumentationen von terrestrischen Erkundungen im Gelände erfolgte eine erste visuelle Analyse der Daten zur Festlegung von Interpretationsschlüsseln, Trainings- und Testgebieten für eine spätere rechnergestützte Klassifizierung von Landnutzungsarten. In diesem Arbeitsschritt erfolgte die Einbeziehung zahlreicher weiterer Zusatzinformationen aus verschiedenen Quellen (Tabelle 1):

- Niederschlag
- Bodenart / Bodenmächtigkeit
- Hangneigung
- Landwirtschaftskalender / Ertragsstatistik

Tabelle 1: Landwirtschaftskalender

| Kulturarten    | MAR   | APR | MAI   | JUN | JUL | AUG | SEP   | OKT   | NOV | DEZ | JAN   | FEB | Ertrag<br>t/ha |
|----------------|-------|-----|-------|-----|-----|-----|-------|-------|-----|-----|-------|-----|----------------|
| Frühlings-Reis | ----- |     |       |     |     |     |       |       |     |     |       |     | 2,4            |
| Herbst-Reis    |       |     |       |     |     |     | ----- |       |     |     |       |     | 2,6            |
| Mais           |       |     |       |     |     |     |       | ----- |     |     |       |     | 2,2            |
| Süßkartoffel   |       |     |       |     |     |     |       | ----- |     |     |       |     | 4,6            |
| Kartoffel      |       |     |       |     |     |     |       | ----- |     |     |       |     | 7,6            |
| Maniok         |       |     | ----- |     |     |     |       |       |     |     |       |     | 6,1            |
| Bohnen         |       |     |       |     |     |     |       | ----- |     |     |       |     | 0,3            |
| Sojabohnen     |       |     |       |     |     |     |       | ----- |     |     |       |     | 0,8            |
| Gemüse         |       |     |       |     |     |     |       |       |     |     | ----- |     | 10,1           |
| Erdnuß         |       |     |       |     |     |     |       |       |     |     |       |     | 1,0            |
| Sesam          |       |     |       |     |     |     |       |       |     |     |       |     | 0,2            |
| Tabak          |       |     |       |     |     |     |       |       |     |     |       |     | 0,8            |
| Rizinusstaude  |       |     |       |     |     |     |       |       |     |     |       |     | 0,5            |
| Zuckerrohr     |       |     |       |     |     |     |       |       |     |     |       |     | 43,2           |
| Ananas         |       |     |       |     |     |     |       |       |     |     |       |     | 10,1           |

LS-Aufnahme
SPOT-Aufnahme  
Regenzeit

Die Erfassung aller Informationen in der gleichen Kartengrundlage erleichtert deren Übernahme in ein rechnergestütztes Geoinformationssystem außerordentlich und beschleunigt deren gemeinsame Verarbeitung. Allerdings ist der manuelle Digitalisierungsaufwand dennoch erheblich.

Die Daten sind als Datenbasis im Integrierten Raumbezogenen Informationssystem IRIS des ZIPE abgelegt worden und stehen für Korrelationsrechnungen zur Verfügung.

#### 4. Ergebnisse

Die Landnutzungskarte für das Jahr 1987 wurde auf der Grundlage der Bildklassifizierung von SPOT-Daten erarbeitet (Abb. 4). Die Landsatdaten und Zusatzinformationen wurden für die Interpretation der Nutzungsflächen ergänzend herangezogen.

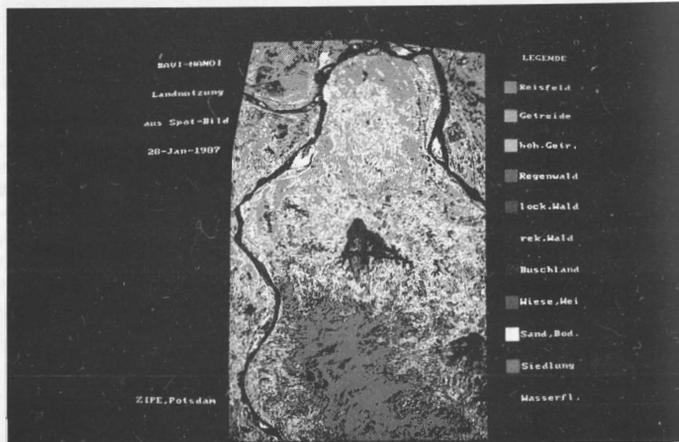


Abb. 4: Bavi - Landnutzung aus SPOT-Bild vom 28. 01. 1987

Das Ergebnis der Flächenberechnung der Landnutzungsarten wurde mit dem Ergebnis aus der Interpretation der Luftbilder im Jahr 1970 verglichen (Tabelle 2).

|                                       |        |
|---------------------------------------|--------|
| - Im Jahr 1987 beträgt der Anteil der |        |
| landwirtschaftlichen Nutzfläche:      | 19,9 % |
| forstwirtschaftlichen Nutzfläche:     | 34,7 % |
| nichtnutzbaren Fläche:                | 36,4 % |
| Siedlungs- u. Wasserfläche:           | 9,0 %. |

Die Nutzungsflächenänderung von 1987 zu 1970 zeigt eine Abnahme von Getreide, Naturwald, Buschland und Wasserflächen zugunsten von Reis, Getreide, Rekultivierungswald, Siedlung sogar von 1,2 bis 120,2 %.

Die Änderung der Landnutzungsarten wurde mit der Erfassung der Karte von 1970 und 1987 im Geoinformationssystem genauer beurteilt. In Tabelle 3 sind die konstant bleibenden Flächen jeder Art unterstrichen.

Tabelle 2: Darstellung der Ergebnisse der Landnutzungsarten

| Landnutzungsarten   | 1970   |       | 1987   |       | Flächen-<br>änderung |       | konstan-<br>te Flä-<br>che [ha] |
|---------------------|--------|-------|--------|-------|----------------------|-------|---------------------------------|
|                     | in ha  | %     | in ha  | %     | ha                   | %     |                                 |
| Reisfeld            | 920    | 6,1   | 990    | 6,6   | 70                   | 7,6   | 880                             |
| Getreide            | 1381   | 9,2   | 1631   | 10,9  | 250                  | 18,1  | 1221                            |
| hohes Getreide      | 605    | 4,0   | 360    | 2,4   | -245                 | 40,5  | 325                             |
| Regenwald           | 2205   | 14,7  | 1931   | 12,9  | -274                 | 12,4  | 1788                            |
| Lockerer Wald       | 2462   | 16,4  | 2282   | 15,2  | -180                 | 7,3   | 1652                            |
| rekultivierter Wald | 450    | 3,0   | 991    | 6,6   | 541                  | 120,2 | 450                             |
| Buschland           | 2032   | 13,5  | 1506   | 10,0  | -526                 | 25,9  | 1069                            |
| Wiese, Weide        | 3885   | 25,9  | 3932   | 26,2  | 47                   | 1,2   | 3267                            |
| Sand, Boden         | 22     | 0,2   | 31     | 0,2   | 9                    | 41,0  | 22                              |
| Siedlung            | 920    | 6,1   | 1254   | 8,3   | 334                  | 36,4  | 885                             |
| Wasserfläche        | 134    | 0,9   | 108    | 0,7   | -26                  | 19,4  | 80                              |
|                     | 15 016 | 100,0 | 15 016 | 100,0 | 0                    | 100,0 | 11639<br>= 77,5 %               |

Tabelle 3: Landnutzungsänderung in ha

| 1970                 | 1987       | RF          | GE         | HG          | RW          | LW         | ReW | BL          | WW          | SB        | SL         | WF  | SUMME<br>1970 |
|----------------------|------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|-----|-------------|-------------|-----------|------------|-----|---------------|
| Reisfeld (RF)        | <u>880</u> |             |            |             |             |            |     |             | 20          |           |            | 20  | 920           |
| Getreide (GE)        |            | <u>1221</u> | 35         |             |             |            |     |             |             |           | 125        |     | 1381          |
| Hohes Getreide (HG)  |            |             | <u>325</u> |             |             |            |     |             | 240         |           | 40         |     | 605           |
| Regenwald (RW)       |            |             |            | <u>1788</u> | 180         | 22         | 125 | 90          |             |           |            |     | 2205          |
| Lockerer Wald (LW)   |            | 127         |            | 143         | <u>1652</u> | 125        | 312 | 103         |             |           |            |     | 2462          |
| Rekultiv. Wald (ReW) |            |             |            |             |             | <u>450</u> |     |             |             |           |            |     | 450           |
| Buschland (BL)       |            |             | 119        |             |             | 450        | 202 | <u>1069</u> | 192         |           |            |     | 2032          |
| Wiese, Weide (WW)    | 85         | 129         |            |             |             | 192        |     |             | <u>3267</u> |           | 204        | 8   | 3885          |
| Sand, Boden (SB)     |            |             |            |             |             |            |     |             |             | <u>22</u> |            |     | 22            |
| Siedlung (SL)        |            |             | 35         |             |             |            |     |             |             |           | <u>885</u> |     | 920           |
| Wasserfläche (WF)    |            | 25          |            |             |             |            |     |             | 20          | 9         |            | 80  | 134           |
| SUMME, 1987          |            | 990         | 1631       | 360         | 1931        | 2282       | 991 | 1506        | 3932        | 31        | 1254       | 108 | 15016         |

Die insgesamt konstante Nutzungsfläche von 1970 bis 1987 beträgt 11639 ha, das sind 77,5 % der gesamten Fläche des untersuchten Gebietes. Die nicht unterstrichenen Zahlen sind Änderungsflächen von einer zur anderen Landnutzungsart.

Beispiel aus Tabelle 3:

Spalte RF (Reisfeld):

Die Fläche der Reisfelder betrug 1987 990 ha, davon waren ursprünglich 1970 880 ha Reisfeld, 85 ha Wiese, 25 ha Wasserfläche.

Zeile Reisfeld:

Von 920 ha Reisfeld 1970 sind 880 ha Reisfeld geblieben. 20 ha änderten sich zur Wiese und andere 20 ha zur Wasserfläche.

Tabelle 4: Überblick über die Landschaft

| Klima<br>Unterzonen                | Gelände<br>Relief   | Bodentyp           | Landnutzung in ha |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|------------------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|                                    |                     |                    | RF                | GE   | HG  | RW   | LW   | ReW  | Bl   | WW   | SB   | SL   | WF   | Summe |
| Ebene-Fl. S.<br>T 19,3' 27,3'      | < 20 m<br>Angeschw. | Angeschw. Sand     |                   |      |     |      |      |      |      |      | 31   |      | 31   |       |
|                                    |                     | Ang. All. Boden    | 139               | 131  |     |      |      |      |      |      |      | 97   | 427  |       |
| Σ<br>N 134 - 1505<br>nn            | ≥ 20 m - < 50 m     | Roter Fluß All.-B. | 15                | 77   |     |      |      |      |      | 147  |      | 18   | 257  |       |
|                                    |                     | Perrallite-All.    | 57                | 37   |     |      |      |      |      | 23   |      | 18   | 135  |       |
| LP: 84 %                           | < 20 m              | Alluv. mit Gley    | 53                | 23   |     |      |      |      |      |      | 51   |      | 127  |       |
|                                    |                     | Sumpfboden         | 30                |      |     |      |      |      |      |      | 7    |      | 37   |       |
| Fl. - Hüg.l. S.<br>T 19,2' 27,2'   | ≥ 50 m - < 200 m    | Perr. auf Neogen   | 146               | 390  |     |      |      |      | 117  | 146  | 804  | 428  | 2031 |       |
|                                    |                     | Perr. auf Tonmin.  | 15                | 774  | 360 |      |      | 1554 | 766  | 587  | 2063 | 672  | 6791 |       |
| Σ<br>N 138 - 1749<br>nn            | ≥ 20 m - < 50 m     | Umgest. Ferr. m.   | 331               | 199  |     |      |      |      |      |      | 252  | 22   | 864  |       |
|                                    |                     | Gley               |                   |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| LP: 83 %                           | Fuß, Tal            | Bach-Alluviale     | 85                |      |     |      |      |      |      |      | 37   |      | 122  |       |
|                                    |                     |                    |                   |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| Bergl. - M.Ge. S.<br>T 14,7' 26,3' | ≥ 600 - < 1500 m    | Perr. Humus Akk.   |                   |      |     |      | 322  |      |      |      |      |      | 322  |       |
|                                    |                     | Perr. Magm. Baser  |                   |      |     |      | 1609 | 216  |      |      |      |      | 1825 |       |
| Σ<br>N 144 - 1858<br>nn            | ≥ 200 - < 600 m     | Perr. Magm. Baser  |                   |      |     |      |      |      | 486  | 412  |      |      | 898  |       |
|                                    |                     | Perr. auf Tonmin.  |                   |      |     |      |      | 513  | 108  | 287  | 125  |      | 1033 |       |
| LP: 87 %                           | Tal < 200 m         | Sumpfboden         |                   |      |     |      |      |      |      |      | 11   |      | 11   |       |
|                                    |                     | See, Teich         |                   |      |     |      |      |      |      |      |      | 108  | 108  |       |
| Summe                              |                     |                    | 990               | 1631 | 360 | 1931 | 2282 | 991  | 1506 | 3932 | 31   | 1254 | 108  | 15016 |

Wesentlich für die Überwachung und Bewertung der Landnutzung im Kreis Bavi ist auch die Feststellung von gesicherten Zusammenhängen zwischen den Landnutzungsarten und den naturräumlichen Gegebenheiten wie Klima, insbesondere Niederschlag und Temperatur, Geländehöhe und Hangneigung sowie vorhandener Bodenarten. Tabelle 4 zeigt einen Überblick über die Landschaft. Es wird deutlich, daß derartige Zusammenhänge existieren:

- Reis, Getreide werden meistens auf Ebenen, Flachland in einer Höhe von 0 - 100 m und wenig auf Hügelland angebaut. Reis befindet sich auf feuchten und bewässerten Feldern, Getreide aber auf trockenen Feldern.
- Regenwald bedeckt das Bergland und Mittelgebirge, lockerer Wald sowie Rekultivierungswald sind auf Berghänge und auf Hügel konzentriert.

In monsunfeuchten tropischen Regionen sind im Bereich großer Flüsse schon innerhalb relativ kurzer Zeiträume (1984-1987) merkliche Veränderungen der Landschaft festzustellen. Durch Überlagerung von zwei Bildverarbeitungsergebnissen von Landsat 4 (1984) und SPOT 1 (1987) sind diese Veränderungen deutlich zu erkennen.

Abb. 5 zeigt die

- Verlagerung des Roten Flusses,
- Unterschiede des Wasserhaushaltes während der Regenzeit

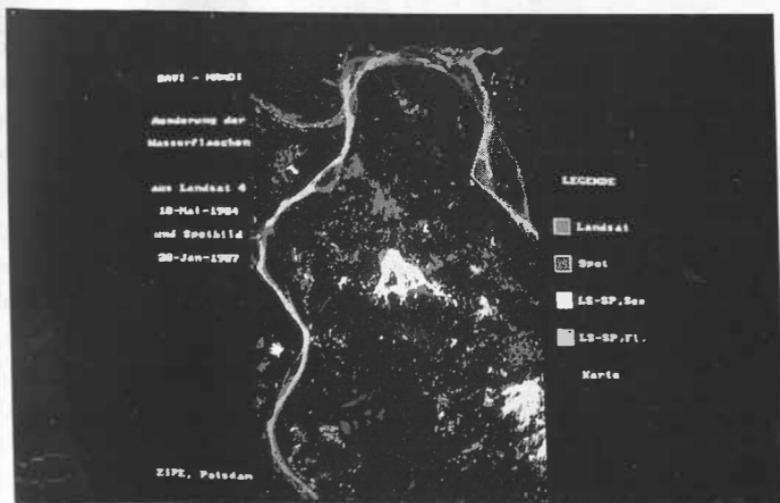


Abb. 5: Bavi - Änderung der Wasserflächen

aus der Landsataufnahme 5/1984 und aus der SPOT-Aufnahme der Trockenzeit 1/1987. Man sieht mehr blaue (Regenzeit) als rote Farbe auf dem Bild. Weiße bzw. hellgraue Farbe zeigt die konstante Wasserfläche. Die Ergebnisse aus den Tabellen 2, 3 und 4 können den Agronomen und landwirtschaftlichen Planern bei der rationelleren Nutzung der Naturressourcen helfen.

#### 4. Schlußfolgerungen

Mit Hilfe von Fernerkundungstechnologien können aktuelle Informationen über die Verteilung von Landnutzungsarten in feuchten tropischen Gebieten gewonnen werden.

In Kombination mit Daten über die räumliche Verteilung von natürlichen Gegebenheiten in der Region (Klima, Boden, Relief) sind enge Zusammenhänge mit der Verteilung der Landnutzungsarten festzustellen. Dabei erweisen sich GIS-Technologien der gemeinsamen Verarbeitung zukunftsorientiert, insbesondere auch im Hinblick auf die Feststellung von Veränderungen in der Landschaft und der zielgerichteten Steuerung einer ökologisch stabilisierend wirkenden Landnutzung.

#### Literatur

- [1] YAMAMOTO, H.: Land resources evaluation for agricultural development by the use of remote sensing and geographic information systems. GIS: Geographic Information System, 1988, Bangkok, Thailand
- [2] CUONG, P. V.: Interpretationskey of multispectral aerial photographs for landuse. Conference of the tenth Asian on Remote Sensing, 1980, Kuala Lumpur, Malaysia

Ermittlung der Schadstufen an Kiefernbeständen im Flachland der  
ehemaligen DDR

E. JUNG

Zusammenfassung

Zur Erfassung von Immissionsschäden auf den Bioindikator Wald mit Methoden der Fernerkundung wurde ein praxisreifes Verfahren der digitalen Bildbearbeitung von kosmischen Aufnahmen entwickelt. Anhand vorher ausgewählter Etalonflächen - Kiefernbestände unterschiedlicher Altersklassen und Schädigungsstufen - wurden nach dem Verfahren der überwachten Klassifizierung Gebiete von einigen Forstwirtschaftsbetrieben bearbeitet. Das über einen Plotter ausgedruckte Ergebnis wurde in eine topographische Karte im Raster 500 x 500 m bzw. 250 x 250 m übertragen, als thematische Karte gedruckt und den Betrieben als Arbeitsgrundlage übergeben.

Резюме

Для определения иммиссионных повреждений с помощью методов дистанционного зондирования на биоиндикатор лес был разработан способ цифровой обработки космических снимков для практического применения. Предварительно отобранные тестовые участки - сосновые насаждения различных возрастных классов и степеней повреждения - служили примером обработки районов некоторых лесхозов путем контрольной классификации. Отпечатанный на плотере результат переносился на топографическую карту в растре 500 x 500 м или 250 x 250 м и печатался в качестве тематической карты, которая передавалась лесхозам для практического применения.

Der von Jahr zu Jahr wachsende Eintrag von Fremdstoffen in die Waldbestände hat den Einfluß der natürlichen Standortfaktoren zurückgedrängt und zu sehr differenzierten Schadensymptomen geführt. Der Charakter der Waldschäden ist komplexer Natur und erfordert so auch komplexe Untersuchungsmethoden bei der Überwachung und Kontrolle unserer Waldökosysteme. Dafür bieten sich Methoden der Fernerkundung geradezu an. Informationen aus dem Kosmos erfassen zeitgleich großflächig ganze Territorien. Der Informationserhalt erfolgt unter gleichen physikalischen Bedingungen, und außerdem wird eine Senkung der Kosten im Vergleich zu anderen Untersuchungen erreicht. Das Ziel unserer Untersuchungen war, eine praxisreife Methode für den routinemäßigen Einsatz zu entwickeln. Für unsere Arbeiten zur Erfassung der Schadensymptome an der Kiefer dienten:

- Aufzeichnungen aus dem operativen System Fernerkundung der Erde (OSFE) der UdSSR, des Aufnahmesystems MSU-E in 3 Kanälen (500-600, 600-700, 800-1100 nm) mit einer Bodenauflösung von 34 m und einer Schwadbreite von 45 km;
- Aufnahmen der Meßkammer AFA KATE-200 im Format 18 x 18 cm und einem Bildmaßstab von 1:1370 000 in 3 Kanälen (510-600, 600-700, 700-850 nm) aus einer Höhe von 275 km mit einer erfaßten Fläche von 247 x 247 km und einer Bodenauflösung von ca. 55-60 m;
- Aufnahmen der Meßkammer KFA-1000 mit einem Bildformat von 30 x 30 cm und einem Maßstab von 1:275 000, der eine Fläche von 75 x 75 km abdeckt, auf Spektrozonalnegativfilm SN-10.

Terrestrisch erfolgte auf der Grundlage der Revierwirtschafts- und -Standortkarten im Maßstab 1:10 000 und des Datenspeichers Waldfond eine Vorauswahl von geeigneten Flächen als Etalonmuster. Danach wurden gemeinsam mit den Revierförstern Ansprache und Einschätzung der Vitalitätsstufen vor Ort vorgenommen, die sich auf die von der Forstprojektierung Potsdam herausgegebenen Richtlinien stützten.

Entscheidend bei der Auswahl der Testflächen war die Einheitlichkeit der Bestände, d.h. gleichaltrige Monokulturen mit annähernd gleicher Vitalität.

Je nach ihrer Größe konnten die durch Geländebegehung ausgewählten Flächen im Bild mehr oder weniger gut geortet werden. Terrestrische Meßergebnisse und Daten des Biomonitoring und der ökologischen Waldzustandskontrolle flossen in das Auswertergebnis mit ein. Dabei handelte es sich um:

- Analysenwerte der Deposition in der Kiefernborke: S- und Ca-Gehalt, pH, elektrische Leitfähigkeit;
- Werte der Nadelanalysen:
  - reaktive Parameter - Benadelungsgrad, Nekrosegrad, Chlorophyll -a -Gehalt,
  - akkumulative Parameter - Gehalt an Zn, Pb, Cu, S, Ca, Cl und Gesamt N, pH, elektrische Leitfähigkeit.

Der von der rechnergestützten Kartographie erhaltene Ausdruck wurde in situ überprüft. Es ergab sich, daß die digitale kosmische Schadzonenklassifizierung ohne große Abweichungen der terrestrischen Einstufung in Schadzonen entspricht. Aufgetre-

tene Abweichungen liegen wohl in der unterschiedlichen Art der Erhebung der Daten. Die terrestrische Ansprache schätzt Einzelbäume ein, während die kosmische Aufnahme integrale Werte über eine gesamte Fläche hinweg erfaßt. In der Natur erfolgt ohnehin kein sprunghafter Übergang von einer Schadstufe in die nächste. Der Übergang ist fließend, unterschiedlich von Baum zu Baum, ja selbst innerhalb der Krone eines Baumes.

Bei der Klassifizierung wurden insgesamt 9 Klassen gebildet, von denen 3 Klassen den Nadelwald (Schädigungsstufen 1, 2 und 3) und 1 Klasse den Laubwald kennzeichnen. Weitere 4 Klassen betreffen landwirtschaftliche Nutzflächen, bebautes Gelände, Wasser und Straßen. Die 9. Klasse umfaßte Flächen, die lt. Wirtschaftskarten sowohl Kiefernjungbestände als auch junge Laubholzbestände umfaßten. Eine Unterscheidung von 5 Schädigungsstufen innerhalb des Nadelholzes liegt im Bereich des Möglichen. Jedoch wurde aufgrund des Auflösungsvermögens des z. Zt. vorliegenden Bildmaterials und der in der Dübener Heide und im Fläming vorhandenen zu kleinflächigen Bestände ohne jegliche Schadsymptome und auch sehr stark geschädigter bzw. toter Bestände auf ein Ausscheiden von 5 Schädigungsstufen verzichtet. So beinhaltet die abgegrenzte Stufe 1 gleichzeitig Bestände der Stufe 0 - also ungeschädigt, die Stufe 3 umfaßt die Kategorie 3 und 4.

Als hier gezeigtes Beispiel ergab sich für den Fläming folgende Verteilung: Stufe 1 - 15,3%, Stufe 2 - 43,3%, Stufe 3 - 41,4%.

Beim Betrachten der Karte fällt auf, daß die südlich gelegenen Waldbestände im Fläming überwiegend stark geschädigt sind. Auffallend ergibt sich eine starke Schädigung für westliche und südliche Randlagen der Waldgebiete an Nichtwaldflächen. Einzelne starke Schädigungen innerhalb geschlossener Waldkomplexe weisen eine windexponierte Lage auf. Von Westen nach Osten ist eine deutliche Abnahme der Schädigung zu erkennen. Die nur schwach geschädigten Bestände liegen östlicher und innerhalb größerer Komplexe.

Die ausgedruckte Karte hat ein Raster von 500 x 500 m bzw. 250 x 250 m. Die Klassenzuordnung innerhalb eines Rasters erfolgte nach einer Häufigkeit  $\geq 70\%$ . Als thematische Karte mit den topographischen Grunddaten dient sie den Revierförstern und Waldbauern als Arbeitsgrundlage.

## Zur Erfassung von Waldschäden mit Satellitendaten - ein Beispiel aus dem Land Brandenburg

Barsch, H.; Weichelt, H.; Hoffmann, K.; Herr, W.

Zentralinstitut für Physik der Erde Potsdam  
und  
Universität Potsdam

### Zusammenfassung

An einem Beispiel aus dem Land Brandenburg werden Ergebnisse zur Erfassung von Waldschäden durch eine Vitalitätsanalyse auf der Grundlage von Landsat-TM-Daten vorgestellt. Dabei wurden die bei vorangegangenen Arbeiten an Fichtenbeständen im Erzgebirge erarbeiteten Methoden zur Vitalitätsbewertung genutzt. Eine terrestrische Verifizierung der auf der Satellitendatenauswertung beruhenden Ergebnisse ergab Übereinstimmungen von über 80%.

### Summary

Results of the recognition of forest damages based on a vitality analysis with Landsat-TM data on a test site in Brandenburg were presented. To this purpose the methods for the assessment of the vitality of vegetation worked out during former experiments on spruce stands in the Erzgebirge-mountains were used. A terrestrial verification of the results of the satellite data interpretation shows a coincidence of more than 80%.

Grundlage der im Vortrag vorgestellten Arbeiten zur Erfassung der Vitalität von Kiefernwaldbeständen waren die in den Jahren 1987 bis 1989 von der Abteilung Fernerkundung des Zentralinstitutes für Physik der Erde gemeinsam mit der damaligen Sektion Geographie der Pädagogischen Hochschule Potsdam und dem ehemaligen VEB Forstprojektierung Potsdam durchgeführten und mehrfach publizierten Arbeiten /1,2,3/ zur Erfassung und Bewertung von Waldschäden in Fichtenbeständen mit Hilfe multispektraler Fernerkundungsdaten. Durch diese Arbeiten, bei denen im Raum Altenburg und Carlsfeld (Erzgebirge) Spektromettermessungen am Boden und vom Hubschrauber aus durchgeführt und im Vergleich zu digitalisierten CIR-Aufnahmen ausgewertet wurden, konnte u.a. nachgewiesen werden, daß das im Zusammenhang mit den Untersuchungen der spektralen Eigenschaften von Vegetation bei den INTERKOSMOS-Komplexexperimenten zur Untersuchung von Geosystemen mit Fernerkundungsmethoden abgeleitete spektrale Vitalitätsmerkmal VM2 /4,5/ auch zur Erfassung der Vitalität von Waldbeständen geeignet ist.

Bei der Übertragung der aus den Spektromettermessungen gewonnenen methodischen Ergebnisse auf die Analyse der CIR-Aufnahmen, deren geometrische Auflösung eine Ansprache und Bewertung von Einzelkronen ermöglichte, ergaben sich jedoch Stabilitätsprobleme der benutzten Spektralmerkmale, deren Ursache in erster Linie in unterschiedlichem Verhalten von beleuchteten und abgeschatteten Zonen der Baumkronen sowie im Untergrund-

einfluß bei nicht hundertprozentigem Kronenschlußgrad zu suchen waren /6/. Dieses Verhalten ist insbesondere für photographische Fernerkundungsmaterialien typisch, da durch die Nichtlinearitäten der Gradationskurve bei den in Schattenzonen sehr geringen Signalen der Normierungseffekt der abgeleiteten Spektralmerkmale, z.B. des Vitalitätsmerkmals VM2, verlorengeht.

Ausgehend von diesen Ergebnissen wurde in der hier vorgestellten Untersuchung versucht, auf der Grundlage von Landsat-TM-Daten mit einer deutlich größeren Integrationsfläche eine Vitalitätsbewertung von Waldflächen vorzunehmen. Dabei konnten die vorangegangenen methodischen Untersuchungen im Erzgebirge insbesondere auch deshalb gut verwendet werden, weil die dort durchgeführten Spektrometeruntersuchungen genau den Spektralkanälen des Landsat-TM-Systems entsprachen. Durch die größere Integrationsfläche und die Nutzung eines elektronischen Aufnahmesystems mit weitgehend linearer Charakteristik konnte auf Grund der Normierungseigenschaften der verwendeten komplexen Spektralmerkmale wie z.B. VM2 erwartet werden, daß der Schatteneinfluß eine untergeordnete Rolle spielen würde. Der Einfluß des Untergrundes wurde durch die Konzentration auf Flächen mit geringer bis mittlerer Schädigung, bei denen entsprechend den Ergebnissen der Voruntersuchungen durch die noch weitgehend intakten Kronen das Untergrundsignal vernachlässigbar ist, und die vorläufige Ausklammerung von jüngeren Beständen (unter 20 Jahre) minimiert. Gerade die Erfassung von geringen bis mittleren Schäden wurde dabei vom Praxispartner als vorrangig zu lösendes Problem bezeichnet.

Als Testgebiet dafür wurde der Raum Rathenow-Premnitz ausgewählt; insbesondere östlich und nordöstlich von Premnitz befinden sich ausgedehnte Kiefernwaldbestände, die insgesamt nur geringe bis mittlere Schäden aufweisen. Interessanter Aspekt für die Vitalitätsuntersuchungen war hier die Frage, ob sich ausgehend von Premnitz mit seinem Chemiebetrieb in der Hauptwindrichtung Nordost eine Vitalitätsbeeinflussung nachweisen läßt. Zur Verfügung standen für die Untersuchungen zwei Landsat-TM-Szenen vom 6. Mai 1990 und vom 2. August 1990. Bereits die visuelle Auswertung des aus den Kanälen 2, 3 und 4 berechneten Vitalitätsmerkmals (Abb. 1) bestätigte die aus den Unterlagen der Forstbetriebe erkennbare weitgehend geringe Schädigung (grüne Farbtöne) des überwiegenden Anteiles der Waldflächen des Testgebietes. Deutlich sind auch die Flächen erkennbar, auf denen durch R-odungen kein Waldbestand gegenüber der aus der Topographische Karte 1:100.000 abgeleiteten Waldmaske vorhanden war (rote Farbtöne). Zonen mit verminderter Vitalität waren darüber hinaus vorrangig ausgehend von Premnitz in nordöstlicher Richtung konzentriert (gelbe, braune und blaue Farbtöne), was entsprechend der angenommenen Aufgabenstellung tatsächlich auf eine von Premnitz ausgehende Schädigung der Waldbestände hinweisen könnte. Dies wird auch dadurch unterstützt, daß die Gebiete in der Nähe von Premnitz die geringsten Vitalitätswerte aufweisen und mit zunehmender Entfernung in Zonen mit immer geringerer Schädigung übergehen. Zur genauen Klärung der Ursachen sind dafür natürlich detaillierte Bodenuntersuchungen zu den einzelnen die Vitalität



Fernerkundungszentrum  
 Potsdam  
 Landsat-TM 194/23/4  
 Rathenow  
 Vitalitätsanalyse  
 (2.8.1990)

Abb. 1: Vitalitätsanalyse der Waldflächen Rathenow-Premnitz

beeinflussenden Parametern erforderlich, wobei auf der Grundlage der Fernerkundungsergebnisse eine optimale Festlegung der Untersuchungsgebiete und Probestellen wesentlich unterstützt wird.

Ausgehend von dem berechneten spektralen Vitalitätsmerkmal und weiteren die Vitalität eines Pflanzenbestandes charakterisierenden spektralen Merkmalen, wie der aus dem Thermalkanal ableitbaren Bestandestemperatur und dem die Pflanzenfeuchte und damit die Wasserversorgung der Pflanzen beschreibenden Spektralmerkmal WM<sub>2</sub>, wurden durch ein unüberwachtes Klassifizierungsverfahren auf der Basis einer Histogrammsegmentierung Vitalitätsklassen gebildet und diese der aus einer Bodeneinschätzung durch Mitarbeiter des Forstbetriebes vorgenommenen terrestrischen Schadensbewertung gegenübergestellt (Tabelle 1). Wie die Tabelle zeigt, sind von den ca. 50 in die Bewertung einbezogenen zufällig ausgewählten Waldabteilungen über 80% richtig bewertet worden. Bei nur 5 Waldabteilungen betrug die Abweichung der terrestrischen von der auf Fernerkundungsdaten basierenden Bewertung mehr als eine Schadstufe. Dieses Ergebnis kann als befriedigend eingeschätzt werden, wenn man berücksichtigt, daß die Analyse ausschließlich auf Fernerkundungsdaten beruhte und eine Einbeziehung von Zusatzinformationen, die die Genauigkeit deutlich steigert, hier noch nicht erfolgen konnte. Zur Weiterführung der Arbeiten ist jedoch zunächst eine Integration der hier vorgestellten speziell für die Waldschadensbewertung entwickelten Methoden in ein GIS, das die für die Waldabteilungen relevanten Informationen enthält und für den Auswerteprozess bereitstellt, erforderlich.

Tabelle 1: Waldschadensuntersuchung im Raum Rathenow-Premnitz  
(terrestrische Verifizierung von Hedebrück)

| Schadstufen aus<br>Landsat-TM-Daten | Schadstufen nach terrestrischer Ansprache |     |   |     |    |
|-------------------------------------|---|-----|---|-----|----|
|                                     | 0   | 0-1 | 1 | 1-2 | 2  |
| 0                                   | 4   |     |   |     |    |
| 0-1                                 |   | 2   |   |     |    |
| 1                                   | 2   |     | 8 |     | 1  |
| 1-2                                 |   |     | 3 | 2   |    |
| 2                                   |   | 1   | 4 | 3   | 13 |
| 2-3                                 |   |     | 3 | 3   | 1  |
| 3                                   |   |     |   | 1   | 1  |

## Literatur:

- /1/ Barsch,H.; Herr,W.; Jänicke,A.; Weichelt,H.: Schadstufenerfassung an Waldbeständen auf der Grundlage spektraler Signaturen. Tag. Ber. Akad. d. Landwirtschaftswissenschaften d. DDR, 270 (1988), S. 197-211.
- /2/ Barsch,H.; Kaden,K.; Weichelt,H.; Herr,W.; Schröder,E.: Früherkennung von Waldschäden auf der Grundlage von Fernerkundungsdaten. 5. Fernerkundungskonferenz Karl-Marx-Stadt, Juni 1988, in: Veröffentl. d. Zentralinst. f. Physik d. Erde 106 (1989), S. 173- 180.
- /3/ Barsch,H.; Schwarzkopf,U.; Weichelt,H.: Zur Kontrolle der arealen Differenzierung von Waldschadenssymptomen. ZPF 58 (1990) 4, S. 120-124.
- /4/ Weichelt,H.; Herr,W.: Zur Vorverarbeitung multispektraler Daten. Vermessungstechnik 35 (1987) 8, S. 270-272.
- /5/ Barsch,H.; Itzerott,S.; Söllner,R.; Weichelt,H.: Kontrolle des Zustandes agrotechnischer Geosysteme auf der Grundlage spektraler Signaturen - Ergebnisse des INTERKOSMOS-Experimentes GEOEX-86. PGM 133 (1989) 1, S. 47-58.
- /6/ Schwarzkopf,U.: Methodische Ansätze zur arealen Differenzierung von Waldschäden auf der Grundlage von Fernerkundungsdaten. Brandenburg. Landeshochschule Potsdam 1991, Diss. A.

Das Forschungsvorhaben wurde von der Deutschen Agentur für Raumfahrtangelegenheiten (DARA) GmbH unter dem Förderkennzeichen 50 DO 3190 gefördert.

**Institut für Forsteinrichtung und Forstliche Betriebswirtschaft**  
**Abteilung Luftbildmessung und Fernerkundung**  
**Werderring 6, 7800 Freiburg**

**Untersuchung zur Anwendung von Satellitendaten zur Erfassung und Kartierung von  
 Sturmschäden**

Steffen Kuntz und Helmut Rählmann

**Zusammenfassung**

Die Untersuchung hatte die Aufgabe, ein auf modernen Fernerkundungsmethoden beruhendes Inventurverfahren für großflächig auftretende Sturmwurfschäden zu erarbeiten. Eine Forstverwaltung soll damit in die Lage versetzt werden, sich bei zukünftigen Schadereignissen schnell und effektiv einen Überblick über Art und Ausmaß der Schäden zu verschaffen.

Es wurde die Eignung von Landsat-TM-Satellitenszenen untersucht. Dabei wurden verschiedene Verfahren der Bildoptimierung getestet.

Nach der Erarbeitung von Interpretationsschlüsseln für die optimierten Colorcompositen konnte festgestellt werden, daß in multitemporalen Satellitenszenen Sturmwurfflächen auch in sehr heterogenen Wäldern visuell eindeutig erkannt werden können.

Die Qualität der Bildprodukte war für die Forstverwaltung so überzeugend, daß bei zukünftigen großflächigen Schadereignissen an einen Einsatz dieser Technologie gedacht wird.

**1. Einleitung**

Die Orkane zu Anfang des Jahres 1990, insbesondere die Wirbelstürme "Vivian" (26.02.1990) und "Wiebke" (28.02. bis 01.03.1990), führten zu den größten Sturmschäden in Mitteleuropa seit Menschengedenken. Insgesamt fielen allein in den westlichen Bundesländern ca. 72 Mio. m<sup>3</sup> Sturmholz an. Dies entspricht annähernd dem Doppelten des normalen Jahreseinschlags.

In den westlichen Bundesländern finden sich die gravierendsten Schäden in Bayern (23 Mio. m<sup>3</sup>), in Baden-Württemberg (15 Mio m<sup>3</sup>), in Hessen (14 Mio m<sup>3</sup>) und Rheinland-Pfalz (12 Mio m<sup>3</sup>), in denen etwa 90 % des Sturmholzes anfielen.

Die Fichte, die auf ca. 37 % der gesamten Waldfläche stockt, ist mit etwa 77 % des angefallenen Holzes am stärksten betroffen.

Einer der wichtigsten Schritte nach einer Katastrophe ist die Bestimmung des Schadausmaßes im Rahmen einer Inventur.

Bedingt durch das Ausmaß der Schäden, der Größe des Schadegbiets sowie der akuten Gefährdung des Forstpersonals war es nicht möglich, direkt nach der Katastrophe die betroffenen Bestände zu begehen. Die meisten Landesforstverwaltungen setzten daher Fernerkundungsmethoden ein, um rasch einen Überblick über das Schadausmaß und die Einsatzplanung zu erhalten.

Das Land Baden-Württemberg führte eine Befliegung mit Schwarz-Weiß-Luftbildern im Maßstab 1 : 18.200 flächendeckend für alle Schadgebiete durch. Diese Befliegung konnte jedoch aus verschiedenen Gründen für das ganze Bundesland erst im Spätsommer 1990 abgeschlossen werden.

## 2. Aufgabenstellung

Da Befliegungen mit Luftbildern hohe Kosten verursachen, die Flugplanung eine gewisse Vorlaufzeit benötigt und zur Auswertung geschultes Personal und Geräte erforderlich sind, wurden auch andere Fernerkundungsverfahren in Erwägung gezogen.

Bei so großflächig auftretenden Schäden stellen Satellitendaten heutzutage eine ernstzunehmende Alternative zu kleinmaßstäblichen Luftbildaufnahmen dar. Deshalb wurde daran gedacht, Satellitendaten der hochauflösenden Sensoren SPOT und Landsat-TM in die Inventur einzubeziehen.

Bei der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg lag auf dem Gebiet der Satellitenbildanalyse allerdings nur wenig Erfahrung vor. Es waren auch keinerlei technische Voraussetzungen für die digitale Bildverarbeitung gegeben. Im Spätsommer 1990 wurde daher die Abteilung Luftbildmessung und Fernerkundung der Universität Freiburg beauftragt, die Möglichkeiten der Satellitenfernerkundung für Zwecke der Sturmschadenskartierung zu prüfen.

Wenn möglich, sollte ein auf modernen Fernerkundungsverfahren beruhendes Inventurverfahren für zukünftige Schadereignisse erarbeitet werden, das es der Forstverwaltung ermöglicht, sich bei zukünftigen Schadereignissen schnell und effektiv einen Überblick über Lage und Ausmaß der Schäden zu verschaffen.

Der Lösungsansatz sollte mehreren Vorgaben Genüge tun:

1. Eine Inventur nach einer Sturmkatastrophe mittels Satellitendaten muß schnell sein, um rasch einen Überblick über die Situation zu vermitteln.
2. Sie muß für die Forstverwaltung nachvollziehbar bzw. von ihr selbst durchführbar sein, damit bei der Umsetzung der Ergebnisse keine Reibungsverluste erfolgen.
3. Sie muß des weiteren in einem bestimmten Rahmen verlässliche Ergebnisse liefern.
4. Es sollte eine Zeit- und Kostenkalkulation durchgeführt werden, die auch ein Variantenstudium umfaßt, um der Verwaltung fundierte Planungsunterlagen für zukünftige Ereignisse zu geben.

Da die Auswertungen der Daten zur Zeit noch in vollem Gange sind, können an dieser Stelle nur erste Ergebnisse vorgelegt werden, die einer weitergehenden Vertiefung bedürfen. Insbesondere die zeitaufwendige Fehleranalyse von erzielten Inventurergebnissen und die computergestützte Klassifizierung der Daten wird erst Mitte 1991 abgeschlossen sein. Daher werden an dieser Stelle die bisher erzielten Ergebnisse der visuellen Interpretation der Satellitendaten vorgestellt.

## 3. Methodik

### 3.1 Untersuchungsgebiet und verwendetes Datenmaterial

Obwohl vom Untersuchungsgebiet eine SPOT- und mehrere Landsat-TM- Szenen des Jahres 1990 zur Verfügung standen, wurden in der Studie nur zwei Szenen eingesetzt:

- 1 Landsat-TM-Szene vom Juli 1987
- 1 Landsat-TM-Szene vom März 1990 (18 Tage nach dem Schadereignis).

Da kurz nach einer Katastrophe unter hohem Zeitdruck Ergebnisse produziert werden müssen, kann die Acquisition und Verarbeitung weiterer Szenen i.d.R. nicht abgewartet werden. Auf Wunsch der Forstverwaltung und des Instituts für Navigation, im Rahmen einer engen interdisziplinären Kooperation, konzentrierten sich die Auswertungen auf den Großraum Stuttgart und hier insbesondere auf das Forstamt Bebenhausen.

Zum einen fielen hier ca. 130.000 fm Sturmholz an, zum andern beschäftigt sich das Institut für Landespflege der Universität Freiburg seit mehreren Jahren intensiv mit diesem Forst-

amt, so daß auf bereits vorliegende Daten und Ergebnisse (digitale Karten) dieses Instituts zurückgegriffen werden konnten.

In der Abteilung Luftbildmessung und Fernerkundung liegen zur Datenanalyse darüber hinaus noch

- digitale Forsteinrichtungsdaten des FA Bebenhausen in einer DBASE-Datenbank
- digitalisierte Forstkarten (forstliches Einteilungsnetz, Wegenetz, Wasserläufe)
- die Ergebnisse der terrestrischen Begehungen

vor.

Zur Überprüfung der Ergebnisse der Satelliteninventur konnte zudem auf die Schwarz-Weiß-Luftbilder 1 : 18.200 der Sturmschadensbefliegung 1990 der Forstverwaltung zurückgegriffen werden.

### 3.2 Vorgehensweise bei der Datenanalyse

Im Vordergrund der Untersuchung stand die Absicht, ein Inventurverfahren zu erarbeiten, das nach einer eingetretenen Katastrophe sehr rasch einen Überblick über Schadausmaß und -verteilung vermittelt. Es wurde daher zuerst versucht, mit nur einem Satellitendatensatz auszukommen.

In Anbetracht der Wetterlage in Mitteleuropa kommt es einem Glücksfall gleich, daß kurz nach dem Ende der Stürme Anfang März 1990 eine mehrtägige Schönwetterperiode folgte und somit rasch Landsat-TM-Daten über Baden-Württemberg zur Verfügung standen.

Die im folgenden beschriebenen Auswertungen konzentrierten sich daher zunächst auf die Märzszene des TM vom 18.03.1990 über dem Großraum Stuttgart. In einer zweiten Phase wurde mit multitemporalen Datensätzen gearbeitet.

Durch die Herstellung optimierter Bildprodukte und deren visuelle Interpretation sollte die Forstverwaltung, die keine Bildverarbeitungsmöglichkeiten besitzt, in die Lage versetzt werden, die notwendigen Kartierungen in Eigenregie durchzuführen.

Eine der Hauptaufgaben der durchgeführten Untersuchung war somit die Bildoptimierung zur visuellen Erkennung und Abgrenzung sturmeschädigter Bestände, die es auch dem "Fernerkundungslaien" ermöglicht, geschädigte Flächen zu delinieren.

Nach dem Test verschiedener Bildoptimierungsverfahren (Ratio, Tasseled-Cap- und IHS- und Hauptkomponenten-Transformation, Filterung) wurde für das beste Bild ein Interpretationschlüssel erarbeitet.

Zur Lokalisation und zur Einschätzung der Sturmwürfe nach Flächengröße, Baumart und Kronenschlußgrad diente eine erste Interpretation der panchromatischen Luftbildaufnahmen vom 13. Juli 1990 im Bildmaßstab von 1 : 18.200. Darüber hinaus standen durch terrestrische Begehungen und Karten zusätzliche Informationen über die Bestockungsverhältnisse zu Verfügung.

Da die Sturmwurfflächen durchweg leicht aus den Luftbildern unter dem Spiegelstereosko erkennbar waren, konnten sie in einem weiteren Arbeitsschritt im Satellitenbild erkannt und deliniert werden.

Bei der genaueren Betrachtung der Satellitenszene vom März 1990 stellte sich heraus, daß die Farbzuordnung zu den Sturmflächen nicht einheitlich erfolgte.

Die Sturmwurfflächen mußten daher in sieben "Sturmwurffklassen" unterschiedlicher Farbausprägung eingeteilt werden (Tab. 1).

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>Wurfklasse I</b>   | <b>Baumart:</b> Fichtenreinbestand vollständig<br>geworfen<br><b>Exposition:</b> Ebene<br><b>Höhenstufe:</b> > 500 m<br><b>Hangneigung:</b> 0 - 10 %   |
| <b>Wurfklasse II</b>  | <b>Baumart:</b> Fichten und sonstiges Nadelholz<br>vollständig geworfen<br><b>Exposition:</b> Ebene<br><b>Höhenstufe:</b> > 500 m<br><b>Hangneigung:</b> 0 - 10 %  |
| <b>Wurfklasse III</b> | <b>Baumart:</b> Auf dieser Fläche befindet sich nach<br>dem Sturm eine Restbestockung mit<br>einem Bestockungsgrad von 03 mit den<br>Baumarten Fichte, Lärche, Kiefer<br>Birke<br><b>Exposition:</b> Ebene<br><b>Höhenstufe:</b> > 500 m<br><b>Hangneigung:</b> 0 - 10 % |
| <b>Wurfklasse IV</b>  | <b>Baumart:</b> Fichtenreinbestand vollständig<br>geworfen<br><b>Exposition:</b> Nord<br><b>Höhenstufe:</b> < 500 m<br><b>Hangneigung:</b> 10 - 20 %   |
| <b>Wurfklasse V</b>   | <b>Baumart:</b> Fichtenreinbestand vollständig<br>geworfen<br><b>Exposition:</b> Ebene<br><b>Höhenstufe:</b> > 500 m<br><b>Hangneigung:</b> 0 - 10 %   |
| <b>Wurfklasse VI</b>  | <b>Baumart:</b> Fichtenreinbestand vollständig<br>geworfen<br><b>Exposition:</b> West<br><b>Höhenstufe:</b> > 500 m<br><b>Hangneigung:</b> 10 - 20 %   |
| <b>Wurfklasse VII</b> | <b>Baumart:</b> Fichtenreinbestand<br><b>Exposition:</b> Ebene<br><b>Höhenstufe:</b> > 500 m<br><b>Hangneigung:</b> 0 - 10 %   |

Tab. 1: Beschreibung der visuell unterscheidbaren Sturmwurfklassen  
(Erläuterung im Text)

Die Beschreibung der ausgewiesenen Sturmwurfklassen erfolgt in Anlehnung an die vom Forstamt Bebenhausen durchgeführte Schadinventur vom 1. März 1990 nach den Parametern: Baumart, Exposition, Höhenstufe, Hangneigung in % und der Bestandestypenkarte des Forstbezirks Bebenhausen.

Gleichzeitig wurden zum Vergleich mit den geworfenen Flächen "Musterklassen" gebildet, die aus Beständen ausgewählt wurden, von denen zu erwarten war, daß sie besonders durch Windwurf gefährdet sind. Als weiteres Kriterium wurden unbeeinflusste Flächen ausgewählt, die sich visuell gar nicht oder nur schwer von den Sturmwurfklassen differenzieren ließen. Die Beschreibung der Musterklassen erfolgte ebenfalls in Anlehnung an die Bestandestypenkarte des Forstbezirks Bebenhausen (Tab. 2).

|                |   |
|----------------|---|
| Musterklasse 1 | Baumart: Kiefernreinbestand<br>Altersklasse: mittleres Baumholz<br>BHD: 39 - 50 cm  |
| Musterklasse 2 | Baumart: Schönbuchtyp führende Baumart Forche<br>Altersklasse: mittleres Baumholz<br>BHD: 39 - 50 cm  |
| Musterklasse 3 | Baumart: Buchenreinbestand<br>Altersklasse: mittleres Baumholz<br>BHD: 39 - 50 cm   |
| Musterklasse 4 | Baumart: Fichtenreinbestand<br>Altersklasse: Übergang Fichtenstangenholz /<br>geringes Baumholz<br>BHD: ab Erreichen der Derbh Holzgrenze von<br>7 cm Durchmesser bis 14 cm<br>Durchmesser / 14 - 38 cm |
| Musterklasse 5 | Baumart: Fichtenreinbestand<br>Altersklasse: starkes Baumholz<br>BHD: > 50 cm   |
| Musterklasse 6 | Baumart: Buchenreinbestand<br>Altersklasse: starkes Baumholz<br>BHD: > 50 cm  |

Tab. 2: Beschreibung der visuell unterscheidbaren Waldmusterklassen.

BHD = Brusthöhendurchmesser; ein Maß für die durchschnittliche Dicke der Bäume eines Bestandes.

#### 4. Ergebnisse

##### 4.1 Visuelle Interpretation der Farbkomposite vom März 1990

Als optimale Bandkombination erwies sich eine RGB-Darstellung mit je einem Kanal aus dem sichtbaren Spektralbereich B3 (rot) einem aus dem nahen Infrarot B4 (nIR) und einem Kanal aus dem mittleren Infrarot B5 (mIR).

Tab. 3 zeigt die Differenzierungsmöglichkeiten bei der visuellen Interpretation der entsprechenden Colorcomposite zwischen den Musterklassen und den Wurfklassen.

| Wurfklasse | Musterklasse |   |   |   |   |   |
|------------|--------------|---|---|---|---|---|
|            | 1            | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| I          | -            | o | + | + | + | + |
| II         | o            | - | + | + | + | + |
| III        | +            | + | - | + | + | + |
| IV         | o            | + | + | + | + | + |
| V          | +            | + | + | + | + | + |
| VI         | +            | + | + | + | + | + |
| VII        | +            | + | - | + | + | + |

Tab. 3: Trennbarkeit von Wurfklassen gegenüber den Musterklassen bei der visuellen Interpretation der Landsat-TM-Szene vom März 1990

- + = gute Differenzierung möglich  
 o = Differenzierung schwierig  
 - = keine Differenzierung möglich

Zusammengefasst lassen sich die Interpretationsmöglichkeiten der Märzszene so beschreiben:

- Die Nadel- und Laubholzbestände sind eindeutig voneinander zu trennen.
- Eine eindeutige Trennung der Wildwiesen gegenüber vergrasteten Kulturen ist nicht möglich. Wildwiesen sind jedoch gegenüber allen Sturmwurfklassen abgrenzbar.
- Die Sturmwurfflächen zeigen kein einheitliches Farbspektrum, daher mußten unterschiedliche Sturmwurfklassen gebildet werden.
- Stark durch Sturm aufgelichtete Bestände haben im Gegensatz zu vollständig geworfenen Beständen ein sehr breites Farbspektrum.
- Die Sturmwurfklassen sind, bis auf Wurfklassen V und VI zu differenzieren.
- Gesunde Fichtenreinbestände lassen sich eindeutig von allen ausgewiesenen Wurfklassen trennen. Damit sind Sturmschäden innerhalb von Fichtenreinbeständen mit nur einer Satellitenszene erkennbar.

#### 4.2 Bildoptimierungen

Während sowohl die Ratioberechnung, die Tasseled-Cap-Transformation als auch die Hauptkomponenten-Transformation keinen Informationsgewinn für die Fragestellung boten, verbesserten sich mit der IHS-Transformation die Differenzierungsmöglichkeiten zwischen den Wurfklassen und Musterklassen erheblich.

Allerdings konnte eine vollständige Trennung zwischen dem Kiefernreinbestand und der Wurfklasse I und II nicht erreicht werden. Des Weiteren ließen sich der Buchenreinbestand und die Wurfklasse VII sowie der Fichtenreinbestand und die Wurfklasse IV nicht von ein-

ander trennen. Zwischen den übrigen Wurfklassen und Musterklassen traten keine Verwechslungsprobleme mehr auf.

Zu einer weiteren Verbesserung der Interpretierbarkeit führte die Filterung mittels eines optimierten Kantentfilters.

#### **4.3 Darstellung der multitemporalen Auswertung.**

Seit 1984 liegen Landsat-TM-Daten z.T. mehrfach flächendeckend von dem gesamten Bundesgebiet vor, die in kürzester Zeit zur Verfügung stehen können. Es lag daher der Gedanke nahe, eine Satellitenszene vor der Katastrophe mit der ersten verfügbaren Szene nach dem Schadereignis zu kombinieren, um die Interpretierbarkeit der Daten zu steigern.

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Datensatz erstellt, der aus TM-Daten vom März 1990 sowie vom Juli 1987 bestand.

Zuerst erfolgte die geometrische Korrektur der Daten. Dann wurde die optimale Kanalkombination für die RGB-Darstellung bestimmt, wobei die höchsten Informationsgehalte die Kanäle aus dem infraroten Bereich aufwiesen.

Eine für die Aufgabenstellung gute Kanalkombination für die RGB-Darstellung setzt sich beispielsweise aus den Kanälen B4 (nahes Infrarot Juli 1987), B5 (mittleres Infrarot März 1990) und B5 (mittleres Infrarot Juli 1987) zusammen.

Bei der Verwendung dieser Kanalkombination und einer einfachen Kontraststreckung ließen sich visuell alle Musterklassen eindeutig von den Wurfklassen trennen (Tab. 4). Damit erweisen sich die multitemporalen Datensätze als ein sehr geeignetes Mittel, die Sturmwurfklassen von den ausgewiesenen Musterklassen zu unterscheiden. Einige Wurfklassen (I, II, IV und V) konnten zudem zusammengefasst werden, da sie im multitemporalen Datensatz eine einheitliche Farbgebung aufwiesen.

| Wurfklasse     | Musterklasse |   |   |   |   |   |
|----------------|--------------|---|---|---|---|---|
|                | 1            | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| I, II, IV<br>V | +            | + | + | + | + | + |
| III            | +            | + | + | + | + | + |
| VI             | +            | + | + | + | + | + |
| VII            | +            | + | + | + | + | + |

Tab. 4: Trennbarkeit von Wurfklassen gegenüber den Musterklassen bei der visuellen Interpretation der multitemporalen Landsat-TM-Szene vom Juli 1987 und vom März 1990

- + = gute Differenzierung möglich
- o = Differenzierung schwierig
- = keine Differenzierung möglich

## **5. Diskussion der Ergebnisse**

Die bisher erzielten Ergebnisse zeigen, daß trotz aller Schwierigkeiten, die sich aus dem heterogenen Bestandesaufbau und den kleinstrukturierten Bestandesflächen des Forstamtes Bebenhausen ergaben, alle Sturmwurfflächen im Satellitenbild visuell erkannt werden können.

In der Märzszene können Laubwald und Nadelwald problemlos voneinander getrennt werden, und auch Altersstufen sind visuell gegeneinander abgrenzbar.

Fichtenreinbestände können mit nur einer Satellitenaufnahme von den Sturmflächen visuell unterschieden werden.

Da über 77 % des angefallenen Holzes auf die Fichte entfallen, können somit auch monotemporale Satellitenaufnahmen in Fichtenreingebieten wertvolle Informationen liefern.

Eine vollständige Differenzierung aller Sturmwurfklassen gegenüber den ausgewiesenen Musterklassen konnte erst mit einem multitemporalen Datensatz erreicht werden. Selbst die Mischbestände im Forstamt Bebenhausen, die, je nach Mischungsgrad, Schwierigkeiten bei der Differenzierung zwischen gebrochenen und unbeeinflussten Beständen bereiten, sind damit unterscheidbar.

Wenngleich die Untersuchungen über die Fehlermöglichkeiten (erkennbare Flächengröße, absoluter Flächenfehler, Verwechslungsfehler) noch nicht abgeschlossen sind und eine Inventur größerer Flächen aus Zeitgründen noch nicht durchgeführt werden konnte, sind die bisher erzielten Ergebnisse ermutigend.

Die in einem sehr begrenzten und (auf Grund seiner Heterogenität) besonders problematischen Testgebiet erzielten Ergebnisse müssen in fortführenden Arbeiten auf größere Regionen (z. B. Wuchsgebiet, Forstdirektion, TÜK 200) ausgedehnt werden.

Des weiteren stehen auch noch die Ergebnisse der computergestützten Klassifizierungen aus, die direkt digitale thematische Kartierungen erlauben.

Darüber hinaus sollen in weiterführenden Arbeiten die Möglichkeiten von Geographischen Informationssystemen für detailliertere Analysen (Ursachen, Prognosen etc.) untersucht werden.

Vertreter der Forstverwaltung Baden-Württembergs zeigten sich überrascht über die Qualität der optimierten Bildprodukte und die bisher erzielten Ergebnisse.

Sie sehen insbesondere Anwendungsmöglichkeiten von Satellitendaten im Hinblick auf zukünftige Sturmkalamitäten. Dabei ist vor allem daran gedacht, optimierte Bildprodukte als (je nach Wetterlage) rasch verfügbare Planungsgrundlage für einzuleitende Maßnahmen einzusetzen.

Es ist insbesondere daran gedacht, die Bilder

- zur groben Schadabschätzung,
- zur schnellen Festlegung von Luftbildbefliegungen,
- zur Planung von vordringlichen Arbeitseinsätzen

zu verwenden.

### Literaturverzeichnis

- BUNDESMINISTER FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1990): Bericht über den Zustand des Waldes 1990
- CRIST, E.P. AND KAUTH R.J. (1986): The Tasseled Cap demystified. Photogram. Eng. and Rem. Sens., Vol. 52, No. 1, pp. 81-86
- CRIST, E.P. AND CICONE, R. C. (1984): A physically-based transformation of Thematic Mapper data - the TM Tasseled Cap. IEEE Transactions on Geoscience and Rem. Sens., Vol. GE-22, No. 3, pp. 256-263
- HAYDN, R., DALKE, G. W., HENKEL, J. AND BARE, J. E. (1982): Application of the IHS-Color Transform to the processing of multisensor data and image enhancement. Pres. at the Int. Symp. on Rem. Sens. of Arid and Semi-Arid Lands, Cairo, Egypt, Jan. 1982
- KEIL, M., VOß, H.-H. (Hrsg.) (1990): Abschlußdokumentation Untersuchung und Kartierung von Waldschäden mit Methoden der Fernerkundung - Teil B 7. DLR Oberpfaffenhofen, NE-OE, Oberpfaffenhofen
- KIRCHHOF, W., MAUSER, W., STIBIG H.-J. (1985): Untersuchung des Informationsgehaltes von Landsat-Thematic-Mapper- und SPOT-Multiband-Bilddaten mit simulierten multispektralen Bilddaten des Gebietes Freiburg. DFVLR-FB 85-49
- KUNTZ, S. (1989): Untersuchung zur Analyse computergestützter Waldschadensklassifizierungen.; DFVLR-FB 89-16
- LANDAUER, G., VOß, H.-H. (Hrsg.) (1989): Abschlußdokumentation Untersuchung und Kartierung von Waldschäden mit Methoden der Fernerkundung. DLR Oberpfaffenhofen, NE-OE, Oberpfaffenhofen
- SCHARDT, M. (1990): Verwendbarkeit von Thematic Mapper-Daten zur Klassifizierung von Baumarten und natürlichen Altersklassen. Diss., Freiburg, Forstwiss. Fak.
- SCHMITT-FÜRNTRATT, G. (1990): Beitrag zur Erfassung großräumiger tropischer Waldgebiete, gestützt auf Landsat/TM-Daten. Diss., Freiburg, Forstwiss. Fak.
- STIBIG, H.-J. (1987): Untersuchung zum Anwendungspotential von SPOT- und TM-Daten für die digitale Land- und Forstwirtschaftliche Landnutzungsklassifikation anhand von Simulations- und Originalaufnahmen. Diss., Freiburg, Forstwiss. Fak.

## HOLZVORRATSABSCHÄTZUNG AUF DER GRUNDLAGE VON FERNERKUNDUNGSDATEN

Dr. A. HERING

### ZUSAMMENFASSUNG

Für die forstliche Bewirtschaftung ist eine regelmäßige Bestandsaufnahme der Forste notwendig. Ein zu erhebendes Merkmal für die jeweiligen Bestände sind Baum- bzw. Kronenzahlen. Dafür gibt es traditionelle terrestrische Verfahren bzw. Methoden der visuellen Luftbilddauswertung. Der Aufwand hierfür ist recht groß. Möglichkeiten einer rechnergestützten Ermittlung von Kronenzahlen aus dem Luftbild werden aufgezeigt und die Ergebnisse mit denen der traditionellen Verfahren verglichen.

### ABSTRACT

This article describes a method of computer-aided determination of tree tops quantity by means of air photographs as well as the obtained results which are important for pure spruce stands. These results are discussed in comparison with the results of visual analysis, terrestrial inquiries and another computer-aided method. Finally, it can be said that the described method MAXI is of the same quality as the visual analysis used in concern to spruce stands.

### METHODEN DER KRONENZAHLERMITTLUNG

Kronenzahlen werden aus dem Luftbild ermittelt. Das kann entweder visuell oder rechnergestützt vorgenommen werden.

Eine visuelle Auszählung erfolgt in der Regel stereoskopisch. Dabei erfolgt entweder eine Vollauszählung von Teilflächen oder eine Auszählung von Probekreisen, die in diese Teilflächen gelegt werden. Vom Verfasser wurde eine andere Methode der Auszählung gewählt. Die nach der Digitalisierung der Luftbilder gewonnenen Bildausschnitte wurden direkt am Bildschirm ausgezählt.

Bei der rechnergestützten Bearbeitung der Bilddaten wurden zwei Verfahren angewendet: Das Zeilenkoinzidenzverfahren ZEIKO und das Verfahren MAXI.

ZEIKO ist ein Verfahren, das in der Medizin angewendet wird. Es wurde für die Problematik der Kronenzählung umgearbeitet. Mit Hilfe dieses Verfahrens sollen Objekte isoliert werden. Durch das Festlegen einer Schnittebene durch das Grauwertgebirge werden Untergrund- bzw. Objektpunkte ausgegliedert. Das Verfahren ist unter anderem so ausgerichtet, daß eine Pegeloptimierung ausgeführt wird. Das führt dazu, daß diejenige Schnittebene als günstigster Pegel ausgewählt wird, bei der die meisten Objekte erkannt bzw. isoliert werden (SIEBERT 1984).

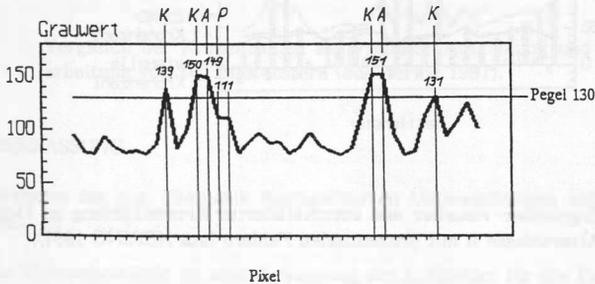
---

Dr. Anne Hering, WIB Weltraum-Institut Berlin GmbH, Lassenstr. 11-15,  
1000 Berlin 33

Durch das Programm MAXI werden Extrema innerhalb einer wählbaren Umgebung aller Pixel bestimmt. Diese werden durch Differenzenbildung zwischen den Nachbargrauwerten ermittelt. Liegt dieser Differenzbetrag oberhalb eines vorher gewählten Kontrastes, wird das Pixel als Extremum markiert. Nicht jedes der markierten Extrema eines bearbeiteten Bildfensters wird eine Baumkrone sein.

Es kann ein Pixel als Extremum gekennzeichnet werden, das zwar lokal ein Extremum darstellt, dessen Grauwert aber nicht in dem entsprechenden Grauwertbereich für eine Krone liegt. Um das auszuschließen, wird ein Grauwert als untere Grenze für diesen Bereich festgelegt. D.h., nur im Grauwert darüberliegende Extrema können als Krone markiert werden. Außerdem ist es unwahrscheinlich, daß bei dicht zusammenliegenden Extrema jedes dieser Extrema eine Baumkrone markiert. Deshalb ist es notwendig, eine Auswahl der Extrema zu gewährleisten, die eine solche Krone darstellen. Durch das Festlegen eines Abstandes zwischen zwei Extrema werden die Pixel ausgeschlossen, die zu dicht an schon markierten Extrema liegen.

Anhand der im folgenden dargestellten Fensterzeile, wird die Kronenauswahl, die durch das Programm MAXI vorgenommen wird, demonstriert.



K - als Krone gezählt

A - Abstand entspricht nicht der Vorgabe, daher nicht als Krone markiert

P - lokales Maximum, aber unter dem Pegel

Abb. 1: Grauwertverlauf einer Fensterzeile (aus HERING 1991).

## ERGEBNISSE

Es wurden insgesamt 165 Bildfenster ausgewertet. Die Auswertung erfolgte einerseits nach Altersklassen und andererseits den Methoden entsprechend. Als Vergleichsgrundlage für die Auswertung und den Vergleich wurden die visuell ermittelten Kronenzahlen genutzt.

Bei der Auswertung nach Altersklassen zeigte sich, daß die Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden immer die gleiche Tendenz aufwiesen: Zwei der Varianten aus der MAXI-Bearbeitung lagen in den Ergebnissen immer etwas unter denen der visuellen Auszählung. Die anderen beiden Varianten der MAXI-Auswertung - B und D - lagen in etwa in Übereinstimmung mit den Resultaten der visuellen Auswertung. Die mit ZEIKO für die gleichen Bildfenster ermittelten Kronenzahlen lagen fast ausnahmslos weit über allen anderen ermittelten Ergebnissen.

Die folgende Abbildung zeigt die absoluten Ergebnisse und die dazugehörigen prozentualen Fehler für die untersuchten Bildfenster einer Altersklasse. Gegenübergestellt werden visuelle Auszählung sowie Auszählung mit ZEIKO und MAXI-Variante B. Die in dieser Abbildung mit dargestellten prozentualen Fehler verdeutlichen am Beispiel dieser Altersklasse noch einmal die eben allgemein getroffenen Aussagen.

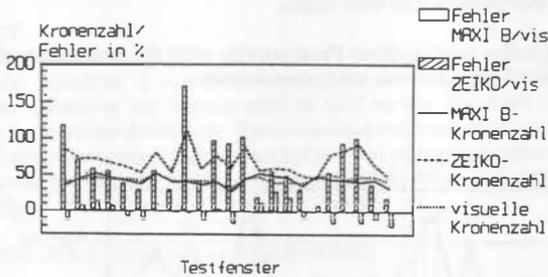


Abb. 2: Ergebnisse visueller und automatisierter Kronenzählung an Fichten der Altersklasse II mit prozentualen Fehlern (aus HERING 1991).

Die oben dargestellte Tendenz zeigt sich, wie bereits erwähnt, auch in allen anderen ausgewerteten Altersklassen.

Stellt man nun einen methodengerechten Vergleich an, ergibt sich das folgende Bild: Im Vergleich mit der visuellen Auswertung zeigen die Ergebnisse aus der Kronenzählung mit dem Verfahren ZEIKO sehr große Abweichungen. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei dem Vergleich der beiden rechnergestützten Methoden zur Kronenzählermittlung ZEIKO und MAXI. Auch hier bestehen sehr große Abweichungen zwischen den Ergebnissen beider Methoden. Ein Vergleich der Kronenzahlen aus visueller Auszählung und MAXI-Bearbeitung zeigt dagegen, daß hier recht große Übereinstimmung bei den erzielten Resultaten besteht. Die folgende Abbildung belegt diese Aussage. Der Korrelationskoeffizient von 0,63 bestätigt einen korrelativen Zusammenhang zwischen den Ergebnissen beider Methoden.

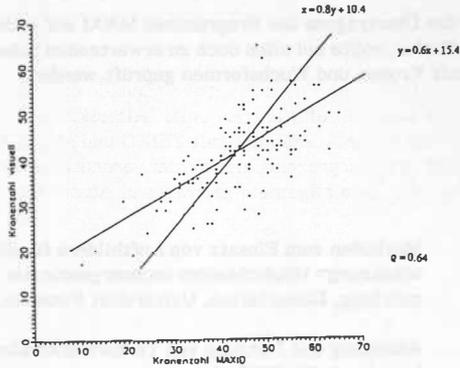


Abb. 3: Vergleich der Kronenzahlen aus visueller Auszählung und MAXI-D-Bearbeitung von 140 Bildfenstern (aus Hering 1991).

#### ZUSAMMENFASSUNG

Die im Rahmen der o.g. Thematik durchgeführten Untersuchungen zeigen folgende Ergebnisse:

- Für Fichtenbestände ist eine Anwendung des Luftbildes für die Ermittlung von Kronenzahlen sinnvoll. Die spezifische Kronenform der Fichte erlaubt eine Trennung der Kronen im Luftbild.
- Neben der visuellen Auswertung ist eine automatisierte, d.h. rechnergestützte Kronenzählung anwendbar. Dazu sind digitalisierte Luftbilder der Maßstäbe 1:10.000 bis 1:15.000 geeignet.
- Für die rechnergestützte Auswertung wurden das Zeilenkoinzidenzverfahren ZEIKO und das Programm MAXI angewendet.
- ZEIKO lieferte im Vergleich mit visuellen Ergebnissen bei der Anwendung auf Fichtenreinbestände nicht zufriedenstellende Ergebnisse. Es bestehen zu große Fehler in Relation zu den visuellen Werten.
- Die Methode MAXI ist für diese Problematik erarbeitet worden. Die vorgenommenen Untersuchungen bescheinigen, daß damit erzielte Ergebnisse mit den visuellen Resultaten korrelieren. Sie können durchschnittlich unter 10% liegen-

den Fehlern in allen Altersklassen gegenüber einer visuellen Auswertung als gleichwertig eingeordnet werden, zumal hier der subjektive Einfluß einer visuellen Auszählung entfällt.

Die Möglichkeit des Übertragens des Programmes MAXI auf andere Baumarten, insbesondere die Kiefer, sollte bei allen doch zu erwartenden Schwierigkeiten im Zusammenhang mit Kronen und Wuchsformen geprüft werden.

#### LITERATUR:

- HERING, A. (1991): Methoden zum Einsatz von Luftbildern für die Holzvorrats-schätzung - Möglichkeiten rechnergestützter Kronenzähler-mittlung, Dissertation, Universität Potsdam.
- SIEBERT, R. (1984): Ableitung und Nutzung von Texturmerkmalen, Forschungs-bericht, AdW, ZIPE, Potsdam.