



# Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung in der Landschaftsökologie

---

Laufener Seminarbeiträge 1/90



AKADEMIE FÜR NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPFLEGE



# **Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung in der Landschaftsökologie**

Seminar der ANL  
in Zusammenarbeit mit der  
Deutschen Forschungsanstalt  
für Luft- und Raumfahrt (DLR)  
- Hauptabteilung Angewandte Datentechnik -  
Oberpfaffenhofen  
10. - 11. November 1987

Leitung:  
Prof. Dr. Detlef Busche,  
Geographisches Institut der  
Universität Würzburg

Dr. Rudolf Winter,  
DLR, Oberpfaffenhofen  
Dr. Reinhold Schumacher, ANL

**Titelbild:** Topographische Übersichtskarte 1 : 200.000 Blatt CC 7134 Regensburg  
mit überlagelter Waldbestandsklassifizierung,  
abgeleitet aus LANDSAT/5/TM-Daten vom 20. 04. und 09. 07. 1984

Kartographische Bearbeitung und Druck:  
Bayerisches Landesvermessungsamt München, 1988.  
Bezugsadresse:  
Deutsche Forschungsanstalt für Luft-  
und Raumfahrt (DLR), Oberpfaffenhofen

Legende zur Karte (Titelbild):

-  **Fichtenbestände sowie  
Fichten - Kiefern - Mischbestände  
(bis ca. 20% Laubholzanteil)**
  
-  **Kiefernbestände sowie Kiefern  
mit einzeln beigemischten Fichten,  
teilw. mit Fichten im Unterstand  
(bis ca. 20% Laubholzanteil)**
  
-  **Laubholzbestände  
(bis ca. 20% Nadelholzanteil)**
  
-  **Laub - Nadelholz - Mischbestände**
  
-  **noch nicht geschlossene Kulturen  
sowie unbestockte Waldflächen  
und stark durchbrochene Bestände  
(Schneebruch/Windwurf)**

### **Laufener Seminarbeiträge 1/90**

Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege – August 1990

ISSN 0175-0852

ISBN 3-924374-59-7

---

Schriftleitung und Redaktion: Dr. Notker Mallach

Für die Einzelbeiträge zeichnen die jeweiligen Referenten verantwortlich.

Die Herstellung von Vervielfältigungen – auch auszugsweise – aus den Veröffentlichungen der Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege sowie deren Benutzung zur Herstellung anderer Veröffentlichungen bedürfen der schriftlichen Genehmigung.

Satz: Interscan (Freilassing)

Druck: Walter Pustet GmbH & Co (8261 Tittmoning)

# Programm des Seminars

---

Referenten

Referate und Diskussionen

---

**Dienstag, 10. Nov. 1987**

**10.00 Uhr: Begrüßung**

Prof. Dr. Detlev Busche, Geographisches Institut der Universität Würzburg  
Dipl.-Ing. Winfried Markwitz, DLR, Oberpfaffenhofen  
Dr. Reinhold Schumacher, ANL, Laufen

**10.20 - 18.00 Uhr:**

Dr. Rudolf Winter  
DLR, Oberpfaffenhofen

Einführung in die Fernerkundung

Stefan Dech, Dipl.-Geograph  
Universität Würzburg

Methodische Möglichkeiten mit Thematic-Mapper-Daten

Prof. Dr. Hermann Goßmann  
Universität Würzburg

Oberflächentemperaturen und Thermalbilder in Geländeklimatologie und Landschaftsökologie

Dr. Rupert Haydn  
Gesellschaft für Angewandte  
Fernerkundung, München

Der Einsatz der Fernerkundung bei Waldvitalitätserfassungen

Dr. Gerd Landauer  
DLR, Oberpfaffenhofen

Möglichkeiten der Waldschadenserkenkung mit multispektralen Scannerdaten

Prof. Dr. Friedrich Wieneke  
Institut für Geographie der  
Universität München

Die Eignung der Fernerkundung für geowissenschaftliche Untersuchungen in Bayern

**Mittwoch, 11. Nov. 1987**

**9.00 - 17.00 Uhr:**

Dr. Rüdiger Glaser  
Dipl.-Geograph  
Universität Würzburg

Flächenbilanzierung aus Thematic-Mapper-Daten

Vorführung der Bildverarbeitung der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR)  
Leitung: Dr. Rudolf Winter und Mitarbeiter

Ministerialrat Johannes Braedt  
Bayer. Staatsministerium für  
Landesentwicklung und Umweltfragen,  
München

Auswertung von Satellitendaten für Aufgaben der Landesplanung und des Umweltschutzes in der Region München

Werner Erbe  
Dipl.-Geograph  
Institut für Geowissenschaften und  
Geotechnik, Höchberg

Möglichkeiten eines PC-Bildverarbeitungsmodells

Reinhard Bachhuber  
Dipl.-Ing.  
Lehrstuhl für Landschaftsökologie  
der TU München-Weihenstephan

Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung im Naturschutz

**17.00 Uhr: Schlußdiskussion und Zusammenfassung**

# Inhalt

Seite

---

Seminarergebnis	Reinhold SCHUMACHER	5
Einführung in die Fernerkundung	Rudolf WINTER und Manfred KEIL	7-9
Methodische Möglichkeiten mit Thematic-Mapper-Daten, dargestellt anhand einiger Verarbeitungen aus dem Raum Würzburg	Stefan W. DECH	11-22
Thermalbilder und Oberflächentemperaturen	Hermann GOSSMANN	23-38
Möglichkeiten der Waldschadenserkennung mit multispektralen Scannerdaten	Gerd LANDAUER	39-45
Die Eignung der Fernerkundung für geowissen- schaftliche Untersuchungen in Bayern	Friedrich WIENEKE	47-52
Flächenbilanzierungen aus Landsat-5- Thematic-Mapper-Daten	Rüdiger GLASER	57-64
Kriegsluftbilder 1940-45: Ein Hilfsmittel bei der Verdachtsflächenermittlung von Kriegsallasten und in der Umweltplanung	Rüdiger GLASER und H.-G.-CARLS	65-72
Auswertung von Satellitendaten für Aufgaben der Landesplanung und des Umweltschutzes in der Region München	Johannes BRAEDT	75-82

---

## Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung in der Landschaftsökologie

### Seminarergebnis

#### *Naturschutz aus der Satellitenperspektive*

Die Auslotung von Anwendungsmöglichkeiten der Fernerkundung im Bereich Umweltplanung und Naturschutz stand im Mittelpunkt eines Seminars, welches von der Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege in Zusammenarbeit mit der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR)\* vom 10. bis 11. November 1987 in den Räumen der DFVLR in Oberpfaffenhofen bei München durchgeführt wurde.

In seinem Einführungsvortrag gab Dr. Rudolf WINTER von der Hauptabteilung Angewandte Datentechnik der DFVLR den rund 90 anwesenden Seminarteilnehmern einen Einblick in die Aufgaben des an der DFVLR eingerichteten Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums (DFD). Das Arbeitsfeld des DFD umfaßt folgende Aktivitäten:

- Bereitstellung von Fernerkundungsrohdaten durch Beschaffung oder Direktempfang,
- Erstellung von digitalen oder photographischen Standardprodukten aus Rohdaten, Weiterverarbeitung oder Veredlung von Rohdaten, Verteilung der Endprodukte an die Nutzer,
- Durchführung spezieller anwendungsbezogener Auswertungen im Rahmen von Pilotprojekten.

Des weiteren wurden im Vortrag einige grundlegende Aspekte der Fernerkundung vorgestellt. So war unter anderem zu erfahren, daß der amerikanische Fernerkundungssatellit Landsat 5 TM aus 705 km Höhe noch Strukturen von 30 x 30 m auf der Erdoberfläche erkennen läßt und 16 Tage für einen Erdumlauf benötigt und daß der französische Satellit SPOT aus 830 km Höhe ein Auflösungsvermögen von 10 x 10 m erreicht. Daß Fernerkundungsdaten bislang noch zu wenig von der Praxis genutzt werden, liegt nach Auffassung von Dr. WINTER wohl daran, daß die Auswertung der verfügbaren Daten sehr komplex und die digitalen Bildverarbeitungssysteme derzeit zum Teil noch sehr teuer sind.

Anhand einer Landsat-Thematic-Mapper-Szene vom 07.07.84 aus dem Raum Würzburg stellte Dipl.-Geograph Stefan DECH aus Würzburg einige methodische Möglichkeiten der digitalen Verarbeitung von Satellitenbilddaten vor. Wesentliches Ziel digitaler Auswerteverfahren ist - so der Referent - die Optimierung des Aussagegehaltes von Bilddaten. Mit Hilfe bestimmter sog. Farbkompositen und entsprechender Klassifizierung können beispielsweise Landnutzungskarten erstellt werden. Wegen der Aktualität der Satellitendaten lassen sich temporäre Veränderungen im Landnutzungsmuster relativ leicht ermitteln.

Professor Dr. Hermann GOSSMANN vom Geographischen Institut der Universität Würzburg referierte über den Einsatz von Satellitenthal-

malen in Geländeklimatologie und Landschaftsökologie. Mit Anwendungsbeispielen aus der Umgebung von Freiburg verdeutlichte er, daß mit Hilfe derartiger Satellitendaten z. B. nächtliche Kaltluftansammlungen kartiert werden können, die nächtliche Frischluftproduktion verschiedener Vegetationsbestände in reliefiertem Gelände erfaßt werden kann oder daß sich städtische Wärmeinseln und deren Einfluß auf das Umland untersuchen lassen.

Professor Dr. Friedrich WIENEKE vom Geographischen Institut der Universität München analysierte in seinem Vortrag die Eignung der Fernerkundung für geowissenschaftliche Untersuchungen in Bayern. Er betonte, daß für geowissenschaftliche Studien, die in bestimmten Zeitabständen oder zu verschiedenen Jahreszeiten durchgeführt werden müssen, Fernerkundungsdaten teilweise nur sporadisch zur Verfügung stehen. So können bestimmte Wetterlagen, z. B. mit Nebeldecken im Spätherbst in Südbayern, auf die Satellitenbilddatenaufnahme erhebliche Einflüsse ausüben. Neben dem atmosphärischen Zustand haben auch noch regionale Aspekte und Nutzungsaspekte einen Einfluß auf die geowissenschaftliche Interpretationsmöglichkeit von Satellitenbildern.

Dr. Gerd LANDAUER von der DFVLR stellte das im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie durchgeführte Forschungsprojekt „Untersuchung und Kartierung von Waldschäden mit Methoden der Fernerkundung“ vor, an dem neben der DFVLR auch die Gesellschaft für Angewandte Fernerkundung (GAF) und Forstwissenschaftler aus Göttingen und München beteiligt sind. Ziel des Projekts ist es, Waldschäden mit Hilfe der Fernerkundung zu entdecken, das Ausmaß und die räumliche Verteilung der Schäden festzustellen, eine Klassifizierung nach Schädigungsgraden durchzuführen sowie den Schadensfortgang zu erkennen. Einige Auswertungsbeispiele aus bereits untersuchten Testgebieten in Bayern gaben Aufschluß über die Möglichkeiten der Waldschadenserken- nung mit multispektralen Scannerdaten.

Weitere Auswertungsbeispiele aus den Ballungsräumen München und Frankfurt brachte Dr. Rupert HAYDN von der Gesellschaft für Angewandte Fernerkundung München in seinem Referat. Unter anderem wurde aufgezeigt, daß sog. spektral-diagnostische Farbbilder für einen Anwender leichter lesbar sind als ein normales Farbinfrarotbild. So konnte eindrucksvoll demonstriert werden, wie leicht sich bspw. feuchte Flächen von trockenen Standorten unterscheiden lassen.

Der Würzburger Dipl.-Geograph Rüdiger GLASER erläuterte anhand von drei Beispielen (Landnutzung, Flächenversiegelung und Relativkarte der Oberflächentemperatur) aus dem Raum Würzburg, wie Landsat Thematic Mapper-Daten zu Fragen der Flächenbilanzierung herangezogen werden können. Es wurde hierbei sehr deutlich, daß in der für qualitative Aspekte des Umweltschutzes notwen-

\* Inzwischen (1989) umbenannt in: Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR)

ligen Registrierung des Raumgefüges ein unschätzbare Vorteil dieser Daten liegt. Durch die Integration weiterer Planungsinformationen kann die Verwendbarkeit der Satellitendaten noch wesentlich gesteigert werden.

Regierungsdirektor Johannes BRAEDT vom Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen verwies darauf, daß in Bayern seit 1973 Satellitendaten in der Landes- und Regionalplanung eingesetzt werden. So geben beispielsweise Naturfarbenbilder einen guten Überblick über Acker-Grünland-Grenzen, die Verteilung von Kiesgruben und Gewerbegebieten, den Verlauf von Verkehrswegen, den Anteil an versiegelten Flächen u. v. a. m. Mit Hilfe von Oberflächentemperaturbildern ließen sich Feuchtwiesen ermitteln und Kaltluftentstehungsgebiete im Umfeld von Städten erfassen. Die verfügbaren Satellitendaten sollen auch zukünftig - so der Referent - im Rahmen eines sich im Aufbau befindlichen umfassenden Umweltkontrollsystems des StMLU Verwendung finden.

Im Rahmen des Seminars wurde den Tagungsteilnehmern von Mitarbeitern der DFVLR auch die Bildverarbeitungsanlage des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums vorgeführt und Dipl.-Geograph Werner ERBE vom Institut für Geowissenschaften und Geotechnik aus Würzburg-Höchberg gab einen kurzen Einblick in die Möglichkeiten eines PC-Bildverarbeitungsmodells.

Am Ende des Seminars wurde die Frage erörtert, inwieweit die Satellitentechnik, die in anderen Be-

reichen ja bereits erfolgreich Anwendung fand - das zeigten u. a. die gehaltenen Vorträge - dem Naturschutz dienen kann. Als Diskussionsergebnis kann hierzu folgendes festgehalten werden:

1. Der Einsatz der Fernerkundung im Naturschutz ist möglich und sinnvoll auf einer mittleren Maßstabsebene (etwa 1 : 100 000).
2. Die Anwendung von aufbereiteten Satellitendaten könnte sich beispielsweise erstrecken auf:
  - die Feststellung und Flächenbilanzierung von Überschwemmungsgebieten, u. a. entlang der größeren Flüsse
  - die Darstellung von Biotoptypen, z. B. auf Landkreisebene
  - die Erfassung von Biotopstrukturen im Rahmen eines Biotopverbundsystems
  - die Ausweisung von Natur- und Landschaftsschutzgebieten
  - Planungen und Maßnahmen im Rahmen zukünftiger Flächenextensivierungen
  - die Feststellung des Wandels im Nutzungsmuster einer Landschaft
3. Da von den Satelliten Landsat und Spot alle 16 bzw. 26 Tage vergleichbare Aufnahmen eines bestimmten Gebietes geliefert werden, lassen sich bedenkliche Entwicklungen in der Landschaft schnell erfassen. Entsprechende Maßnahmen können dann umgehend ergriffen werden.

Dr. Reinhold Schumacher

# Einführung in die Fernerkundung

Rudolf Winter und Manfred Keil

## Einleitung

Die Satellitenfernerkundung ist jetzt etwa 15 Jahre alt. Bei dieser noch jungen Disziplin werden Eigenschaften der Objekte (Landoberfläche, Ozeane, Atmosphäre) von Sensoren gemessen, die sich auf Satelliten in verschiedenen Höhen befinden. Meßgrößen sind bei optischen Sensoren (Zeilenabtastern) die reflektierte bzw. emittierte Energie der Objekte in verschiedenen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums. Die Messungen werden kleinen Flächen zugeordnet, die als Bildpunkte zusammengesetzt, große Gebiete überdecken. Eine wesentliche Komponente spielt die digitale Bildverarbeitung, mit deren Hilfe diese Bilder zu Informationen verarbeitet werden. Insbesondere kann die Fernerkundung wertvolle Beiträge leisten für die Inventur und Überwachung unserer Umwelt. Als ein Beispiel soll die Waldkartierung im Kartenblatt 1 200 000 Regensburg vorgestellt werden.

## Zielsetzung

Die Waldkartierung mit Satellitenbilddaten ist Teil des Forschungsprogrammes „Untersuchung und Kartierung von Waldschäden mit Methoden der Fernerkundung“, welches die DLR zusammen mit Partnern verschiedener Universitätsinstitute und auch der Industrie durchführt. Die Zielsetzung des Gesamtprojektes ist die Auswertung multispektraler digitaler Daten vom Flugzeug und vom Satelliten zur Untersuchung von Waldschäden. Im Projektteil „Waldkartierung mit Satellitendaten“ der Hauptabteilung Angewandte Datentechnik wird eine auf Großflächigkeit angelegte Waldkartierung durchgeführt. Sie soll große Teile Bayerns im Maßstab 1 : 200 000 abdecken, Hilfestellung zu Fragen der großräumigen Waldinventur leisten und Grundlage zu einer möglichen Waldschadenserfassung sein. Es wurden Daten des Landsat Thematic Mapper verwendet, dessen Haupteigenschaften in Tab. 1 und Tab. 2 zusammengefaßt sind.

**Tabelle 1**

### Hauptmerkmale des Landsat 5 Thematic Mapper

Auflösungselement am Boden	30 m x 30 m 120 m x 120 m
Wiederholungsrate	16 Tage
Flughöhe	705 km
Anzahl der Spektralbereiche	7
Überdeckte Fläche einer Szene:	185 km x 185 km

Die Waldkartierung soll die Hauptklassen Laubwald, Nadelwald und Laub-Nadel-Mischwald umfassen und die Trennung der Baumarten Fichte und Kiefer mit einbeziehen. Darüberhinaus wird der Einfluß verschiedener Bestandsparameter wie Baumartenverteilung, Altersklassen, Mischungs-

formen und Kronenschluß auf die spektralen Signaturen und die Möglichkeiten der Differenzierung nach diesen Bestandsmerkmalen untersucht.

**Tabelle 2**

### Spektrale Auflösung des Landsat 5 Thematic Mapper; Zuordnung der Wellenlänge zu den einzelnen Kanälen

Kanal Nr.	Wellenlänge (µm)	
Kanal 1:	0.45 – 0.52	sichtbar blau
Kanal 2:	0.52 – 0.60	sichtbar grün
Kanal 3:	0.63 – 0.69	sichtbar rot
Kanal 4:	0.76 – 0.90	nahes Infrarot
Kanal 5:	1.55 – 1.75	mittleres Infrarot
Kanal 6:	10.4 – 12.5	thermisches Infrarot
Kanal 7:	2.08 – 2.35	mittleres Infrarot

Nachdem in der ersten Phase zunächst die Vorgehensweise zur Waldkartierung in dem kleinräumigen Untersuchungsgebiet Dießen/Ammersee südwestlich von München entwickelt worden war, wurde in Phase 2 das Blatt TÜK 200 Regensburg kartiert (s. Keil et al. (1), (2)). Dieses Gebiet wurde gewählt, weil es sich aufgrund der hier vorkommenden Baumarten gut für die Untersuchung der Trennbarkeit von Fichte und Kiefer eignet und einen vielfältigen geologischen Aufbau aufweist.

## Datenbasis und geometrische Korrektur

Folgende Landsat Thematic Mapper-Szenen wurden für die Arbeiten verwendet:

- 193/26 vom 20. 4. 84 und 9. 7. 84
- 193/25 vom 20. 4. 84 und 9. 7. 84

Die benötigten Teilszenen wurden mit Paßpunkten auf der Basis von Gauß-Krüger-Koordinaten und unter Benutzung eines Polynomansatzes 3. Grades geometrisch entzerrt. Dabei wurde die Methode „Nearest Neighbour“ verwendet.

## Wald/Nichtwald-Trennung

Als effektive Methode zur Wald/Nichtwald-Trennung hat sich eine Schwellwertmethode bewährt, mit der eine Waldmaske erzeugt wird. Die Genauigkeit in der Abgrenzung zu landwirtschaftlichen Flächen wird dabei wesentlich durch Hinzuziehen einer zweiten Jahreszeit erhöht.

Zunächst werden die Waldflächen mit Schwellwerten in den einzelnen Kanälen des Thematic Mapper eingegrenzt. Mit logischen Verknüpfungen werden dann die Masken aufgrund der einzelnen Kanäle und beider Jahreszeiten zu einer Waldmaske kombiniert.

## Wahl der Trainingsgebiete und Signaturanalysen

Die Trainingsgebietsauswahl für die Waldklassifizierungen erfolgte auf der Basis eigener Bestandsaufnahmen in Verbindung mit zur Verfügung stehenden Infrarotluftbildern, teilweise SW-Luftbildern, sowie Forstkarten und Forsteinrichtungsunterlagen. Es wurden vor allem folgende Bestandsparameter mit ihren Auswirkungen auf die spektrale Signatur näher untersucht:

- Baumarten und natürliche Altersklassen
- Mischformen und Mischungsverhältnisse
- Kronenschluß, Unterwuchs, Bodenbedeckung
- Topographische Faktoren wie Exposition und Inklination
- evtl. Schäden durch Sturm oder Schneebruch.

Im Bereich des großflächigen Kartenblattes Regensburg wurde die Karte der Wuchsgebiete/Wuchsbezirke als Grundlage für die Verteilung der Trainingsgebiete genommen. Für jedes Wuchsgebiet/Wuchsbezirk wurden möglichst repräsentative Bestände aufgenommen, um einen Vergleich der Signaturen sowohl innerhalb der Wuchsbezirke als auch zwischen verschiedenen Wuchsbezirken zu ermöglichen.

## Klassifizierung und Verifizierung

Zur Klassifizierung wurde die überwachte Maximum-Likelihood-Methode angewandt und dabei die Kanäle 2, 3, 4, 5 der Juli-Daten benutzt.

Methoden der digitalen Bildverarbeitung sind ausführlich von Haberäcker (3) beschrieben.

Dazu wurden zunächst Trainingsgebiete innerhalb der Wuchsbezirke zu Subklassen vereinigt. Bei Vorliegen ähnlichen Reflexionsverhaltens wurden geeignete Subklassen unterschiedlicher Wuchsbezirke zusammengefaßt. Die Klassifizierung der gesamten Kartenblattfläche erfolgte anfangs mit den ca. 80 Subklassen aus allen Wuchsbezirken.

Um die Klassifizierungsgenauigkeiten zu erhöhen, wurde das Kartenblatt in fünf Teilregionen unterteilt, wofür die digitalisierte Karte der Wuchsgebiete/Wuchsbezirke die Basis bildete. Für die kritischen Nadelholz-Subklassen wurden nur Trainingsgebiete innerhalb dieser Teilregionen genutzt und damit die Klassifizierung optimiert.

Es wurde nach 5 Waldklassen kartiert. Die Nadelholzklassen können dabei bis zu 20% Einmischung von Laubholz enthalten, umgekehrt die Klasse Laubwald bis zu 20% Nadelholz. Bestände mit mehr als 20% Einmischung von Laub-, bzw. Nadelholz werden als Laub-Nadel-Mischwald definiert. Der Prozentsatz von 20% Laubholz im Nadelwald bezieht sich dabei auf die Beschirmungsfläche. Von der Stammzahl her ist der Laubholzanteil geringer.

Aufgrund der spektralen Ähnlichkeit sind die im Kartenblatt nur in sehr geringen Flächenanteilen vorkommenden Baumarten Douglasie und Tanne in der Klasse „Fichte, Fichte/Kiefer“ sowie die Baumart Lärche in der Klasse „Kiefer“ enthalten. Die Angabe einer Untergrenze des Fichtenflächenanteils bei der Kiefernklasse war nicht möglich, da diese in Abhängigkeit vom Standort (vor allem der Wasserversorgung der Bestände) variiert.

Für die Verifizierung wurden mit Hilfe von Luftbildern und Forsteinrichtungsdaten zusätzliche Kontrollflächen, verteilt über die verschiedenen Wuchsgebiete/Wuchsbezirke, herausgesucht und auf die TM-Szene übertragen.

Die Konfusionsmatrix mit 5 Klassen in Tab. 3 resultiert auf der Basis von 238 zusätzlichen Verifizierungsgebieten sowie der klassifizierten Trainingsgebiete. Für die 5 Subklassen können nach der Konfusionsmatrix in Tab. 3 folgende Genauigkeiten abgeleitet werden: Laubwald 86%, Fichte und Fichte/Kiefer 88%, Kiefer 80%, Laubnadelmischwald 69% und Blößen/junge Kulturen 75%.

## Überlagerung der Klassifizierung mit der topographischen Karte

Für die kartographische Aufbereitung und den Kartendruck der Waldkarte Regensburg konnte das Bayerische Landesvermessungsamt gewonnen werden.

Das Landesvermessungsamt übernahm das Klassifizierungsergebnis im Blattschnitt der TÜK 200 in digitaler Form. Die Verteilung der fünf Waldklassen wurde in fünf Einzelfolien umgesetzt. Mit diesen wurde eine Graufolie kombiniert, die das

Tabelle 3

Klassifizierung von 211 Trainingsgebieten und 238 Kontrollgebieten für die 5 Hauptklassen.

	LAUBWALD	FICHTE, FICHTE / KIEFER	KIEFER	LAUB- NADEL- MISCHWALD	BLÖßEN / J. KULTUREN	NICHT- WALD	SUMME DER KLASS. PIX.
LAUBWALD	85.9	1.5	—	11.9	—	0.6	2899
FICHTE, FICHTE / KIEFER	0.1	88.2	9.5	1.6	0.3	0.2	8256
KIEFER	—	17.8	80.0	1.5	0.6	—	3441
LAUB- NADEL- MISCHWALD	11.5	16.9	2.0	69.1	—	0.5	2217
BLÖßEN / J. KULTUREN	10.3	2.2	—	2.7	74.5	10.3	224

Siedlungs- und Verkehrsnetz, die Gewässer und auch die Höhenlinien enthält. Zur besseren Orientierung wurden die Wasserflächen aus der TÜK 200 in hellblau mit integriert. Der Druck erfolgte als Einzelfarbendruck.

#### **Schrifttum**

- (1) KEIL, M., SCHARDT, M., SCHUREK, A., WINTER, R. (1988):  
Forest Mapping with Satellite Imagery in Bavaria; Proceedings of the Willi Nordberg Symposium; Graz.
- (2) KEIL, M., JANOTH, J., ROTH, I., SCHARDT, M., SCHUREK, A., WINTER, R. (1988):  
Waldkartierung mit Satellitendaten in Bayern; 2. DFVLR-Statusseminar „Untersuchung und Kartierung von Waldschäden mit Methoden der Fernerkundung“, Oberpfaffenhofen.

- (3) HABERÄCKER, P. (1985):  
Digitale Bildverarbeitung: Grundlagen und Anwendungen; Carl Hanser Verlag, München.

#### **Anschrift der Verfasser:**

Dr. Rudolf Winter und  
Manfred Keil  
Deutsche Forschungsanstalt  
für Luft- und Raumfahrt e. V.  
- Hauptabteilung Angewandte Datentechnik -  
Abt. Fernerkundungsanwendungen  
D-8031 Weßling (Oberpfaffenhofen)

**Siehe Beilage: Waldkarte      Ausgewählte Be-**  
**(oder Titelbild)      standsformen aus Landsat 5 TM-**  
**Bilddaten (1 : 200 000)**  
(Bearbeitet von M. Keil, M.  
Schartdt, A. Schurek, R. Winter,  
DLR)

...

...

		1.1
		1.2
		1.3
		1.4
		1.5
		1.6
		1.7
		1.8
		1.9
		1.10
		1.11
		1.12
		1.13
		1.14
		1.15
		1.16
		1.17
		1.18
		1.19
		1.20
		1.21
		1.22
		1.23
		1.24
		1.25
		1.26
		1.27
		1.28
		1.29
		1.30
		1.31
		1.32
		1.33
		1.34
		1.35
		1.36
		1.37
		1.38
		1.39
		1.40
		1.41
		1.42
		1.43
		1.44
		1.45
		1.46
		1.47
		1.48
		1.49
		1.50
		1.51
		1.52
		1.53
		1.54
		1.55
		1.56
		1.57
		1.58
		1.59
		1.60
		1.61
		1.62
		1.63
		1.64
		1.65
		1.66
		1.67
		1.68
		1.69
		1.70
		1.71
		1.72
		1.73
		1.74
		1.75
		1.76
		1.77
		1.78
		1.79
		1.80
		1.81
		1.82
		1.83
		1.84
		1.85
		1.86
		1.87
		1.88
		1.89
		1.90
		1.91
		1.92
		1.93
		1.94
		1.95
		1.96
		1.97
		1.98
		1.99
		2.00

# Methodische Möglichkeiten mit Thematic-Mapper-Daten, dargestellt anhand einiger Verarbeitungen aus dem Raum Würzburg \*

Stefan W. Dech

## Übersicht

Anhand einer Landsat-TM-Szene vom 7.7.1984 werden methodische Möglichkeiten der digitalen Verarbeitung von Satellitenbilddaten vorgestellt.

Wesentliches Aufgabenziel derartiger Verfahren ist in der Optimierung des Aussagegehaltes von Bilddaten zu sehen. Bildinhalte sollen so für den Menschen einprägsamer dargestellt werden.

Unter Verwendung einer Subszene innerhalb der die gesamte Bandbreite verschiedener Oberflächenbedeckungsarten – von intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten bis hin zu Arealen innerstädtischer Bebauung – vorhanden ist, sollen diverse methodische Vorgehensweisen aufgezeigt werden, die die gute spektrale, radiometrische und geometrische Auflösung des TM-Sensors optimal inwertsetzen und ein Maximum an verwendbaren Informationen für den Interpreten liefern.

Folgende Verarbeitungstechniken werden besprochen:

*Kontrastverstärkung; Farbkomposite; Datenkompression; Ratiobildungen; Geometrische Entzerrung; Spezielle interaktive Verfahren; überwachte Maximum-Likelihood Klassifizierung; Digitale Generalisierung; Integration topographischer Zusatzdaten.*

## Einführung

Bei digitalen Bildverarbeitungsverfahren wird im Gegensatz zur analogen Verarbeitung Bildinformation, die vor der Verarbeitung digitalisiert wird, durch Computersysteme numerisch prozessiert und analysiert (HABERÄCKER et al. 1979).

Moderne Bildverarbeitungsanlagen erlauben hierbei das Eingreifen des Auswerters in verschiedene Verarbeitungsschritte im Sinne einer Korrektur oder Zwischenbewertung, also das interaktive Arbeiten. Der Vorteil dieser Verarbeitungstechnik liegt in der Koppelung der subjektiven Interpretationsmöglichkeiten des Bearbeiters und der schnellen und exakten Analyse des Rechners.

Mittels digitaler Verarbeitungstechniken können die zunächst als „system-korrigiert“ vorliegenden Daten (radiometrisch und geometrisch korrigiert) in ihrem Informationsgehalt für den Betrachter erheblich wertgesteigert werden. Vor allem die in den letzten Jahren entwickelten komplexen Verarbeitungsstrategien ermöglichen es dem Bildinterpreten heute auch subtile Spektralinformation zu analysieren. Dabei muß bedacht werden, daß die sinnvolle Interpretation gewonnener Daten nur nach Kenntnis der angewandten digitalen Aufbereitungsmethoden,

umfassender Spektralanalyse sowie Erfahrung in entsprechenden erdwissenschaftlichen Disziplinen gegeben ist (HAYDN & VOLK 1987).

Im folgenden sollen wichtige digitale Auswerteverfahren skizzenhaft vorgestellt werden. Ihre Verwendung wird dabei wesentlich durch die jeweilige Fragestellung bestimmt.

Detaillierte Ergebnisse, vor allem hinsichtlich der durchgeführten Klassifizierung, der statistischen Analysen und des Verifizierungsaufwandes, können in diesem Rahmen nicht geliefert werden. Sie sind anhand eines Forschungsberichtes des Verfassers (DECH 1987) nachvollziehbar.

## 1. Modifikation der Grauwertverteilung

Sinn der Modifikation der Grauwertverteilung eines digitalen Bildes ist es, eine Bildverbesserung und damit die visuelle Interpretation der Bildinhalte zu erleichtern (HABERÄCKER 1985).

Dies wird durch die Hervorhebung wichtiger und Unterdrückung weniger wichtiger Bildinhalte erreicht. Es bieten sich einige Möglichkeiten der Grauwertspreizung, die nun kurz vorgestellt werden sollen:

### 1.1. Lineare Skalierung

Durch die lineare Skalierung eines Bildes wird die Grauwertverteilung eines beliebigen Bildes  $S$  durch eine lineare Abbildung transformiert (HABERÄCKER 1985):

$$S \rightarrow S'$$

$$S'(x, y) = (s(x, y) + c_1) \cdot c_2 = (x, y) \cdot c_2 \cdot s + c_1 \cdot c_2$$

Die Konstante  $c_1$  reguliert die Helligkeit des Bildes. Ist  $c_1 > 0$ , wird das Bild heller. Entsprechend wird das Bild bei  $c_1 < 0$  dunkler.

Eine Kontrastverstärkung wird durch Multiplikation der einzelnen Grauwerte mit einer Konstanten  $c_2 > 0$  erreicht.

Da aufgrund einer stückweisen linearen Skalierung nur bestimmte Grauwertintervalle kontrastverstärkt werden können, eignet sich diese Methode beispielsweise zur Signaturuntersuchung von Wäldern: geringe Reflexionsunterschiede innerhalb einzelner Waldbestände können so besonders hervorgehoben werden, unnötige Information kann „ausgeblendet“ werden.

### 1.2. Allgemeine Skalierung

Werden statt einer linearen Funktion beliebige Funktionen  $f(g)$  verwendet, so müssen diese im Intervall

$$G = (0, 1, \dots, 255)$$

\* Die Verarbeitung der Daten erfolgte am Digitalen, Interaktiven Bildauswertesystem (DIBIAS) der DLR

definiert sein und dort ein Minimum  $\min_f > -\infty$  und ein Maximum  $\max_f < +\infty$  besitzen. Auf diese Weise wird die zwischen Schwarzpegel (untere Intervallgrenze des Grauwertbereichs) und Weißpegel (obere Intervallgrenze des Grauwertbereichs) liegende Information auf den gesamten Dynamikbereich der Grauwertskala gestreckt. Jeder Grauwert der Originaldaten wird dabei auf einen neuen Grauwert transformiert, die Information außerhalb des Intervalls geht hierbei verloren. Die Transformationsgleichung eines allgemein skalierten Bildes  $S$  wird wie folgt beschrieben:

$S \rightarrow S'$ :

$$s'(x, y) = 255 (f(s(x, y)) - \min_f) / (\max_f - \min_f) = f_n(s(x, y))$$

Bei einer logarithmischen Transformation können dunkle Bildbereiche stärker im Kontrast angereichert werden als Helle.

Eine umgekehrte Wirkungsweise kann durch entsprechende Wahl von  $f(g)$  erzielt werden.

Die logarithmische Transformation beschreibt folgende Funktion:

$$f(g) = c \log(g+1)$$

Bei Bedarf können die Transformationsfunktionen  $f(g)$  bzw.  $f_n(g)$  auch interaktiv definiert werden. Dies geschieht durch Einzeichnen der Gradationskurve (graphische Darstellung von  $f(g)$  bzw.  $f_n(g)$ ) mittels Rollkugel am Bildschirm.

Diese Vorgehensweise erlaubt, je nach speziellen Fragestellungen, eine subtil abgestimmte Grauwertmodifikation.

GUICK (1986, S. 71 ff) wendet dieses Verfahren zur Kontrastverbesserung von Schnee im Schatten, schneebedecktem Wald und Schneegrenzsaum an. Die Grauwertmodifikation der hier verwendeten Daten wurde anhand eines allgemeinen Skalierungsverfahrens durchgeführt.

### 1.3. Äquidensiten

Ein Äquidensitenbild stellt eine Spezialisierung der allgemeinen Skalierung dar.

Durch eine Äquidensitenbilddarstellung können Grauwertintervalle zu einzelnen Grauwerten und so thematische Bildinformationen zu eindeutigen Klassen zusammengefaßt werden. Hier fand eine solche Darstellung innerhalb der Untersuchung von TM-Band 6 Anwendung (vgl. Abb. 1).

Die normierte Skalierungsfunktion  $f_n(g)$  des Äquidensitenbildes  $S'$  wird stückweise konstant gewählt:

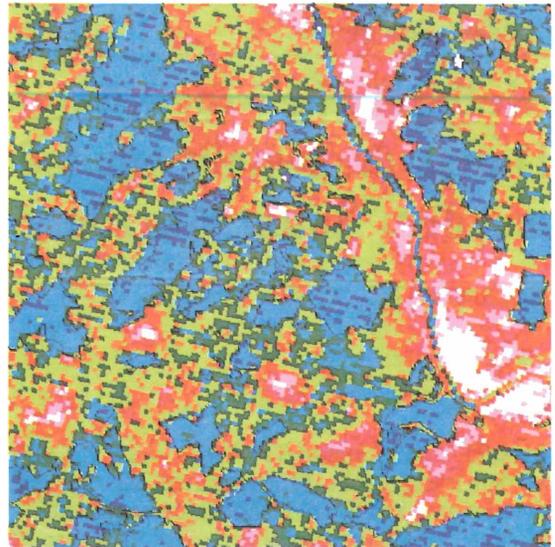
$$f_n(g) = g_k \text{ für } 1_k \leq g < 1_{k+1}$$

und  $k = 0, 1, \dots$ , wobei  $1_k, g_k$  und  $g$  aus dem Definitionsbereich  $(0, 1, \dots, 255)$  sind.

### 2. Erstellung von Farbkompositen

Die Erstellung von Farbkompositen gehört zu den grundlegenden Verarbeitungsschritten bei der Analyse von Satellitenbilddaten. Ihr visueller Informationsgehalt steigt im Vergleich zu einkanaligen Darstellungen durch die Kombinationsmöglichkeiten von drei Kanälen. Jedem Kanal wird eine Farbkomponente zugeordnet; durch die Variationsmöglichkeiten zwischen Kanalauswahl und Farbuordnung lassen sich, je nach Fragestellung, bestimmte Objekte hervorheben.

Nach KIRCHHOF et al. (1985) kann bei der Aus-



**Abbildung 1**

**Äquidensitenbilddarstellung der Thermalinformation von Kanal 6 mit überlagerter, interaktiv erstellter Waldbegrenzungslinie**

Dunkelblau	= Wald
Hellblau	= Wald/Wasser
Dunkelgrün	= Wald/Felder
Hellgrün	= Felder
Orange	= Felder
Dunkelorange	= Felder/Siedlung
Rot	= Bebauung-durchgrünt
Violett	= Bebauung-dicht
Weiß	= Bebauungszentren

wahl der Kanäle neben der Fragestellung der Informationsgehalt gedanklich mit der Größe der Varianz seines Grauwertehistogramms korreliert werden.

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen Echtfarben- und Falschfarbenkompositen.

Durch die Einrichtung eines im blauen Spektralbereich aufnehmenden Kanals ist der TM in der Lage, Echtfarbenkomposite zu liefern. Sie werden aus den drei Kanälen des sichtbaren Wellenlängenbereichs erstellt und mit entsprechenden Farbkomponenten (blau-grün-rot) coloriert.

Die Qualität der TM-Echtfarbenkomposite ist oftmals jedoch wegen atmosphärischer Einflüsse nicht ausreichend.

Nur bei völlig dunstfreien Aufnahmebedingungen enthalten Echtfarbenkomposite ein Maximum an Information. In der praktischen Anwendung sind daher Kanalkombinationen aus dem visuellen Spektralbereich selten anzutreffen.

Bei den Falschfarbenkompositen werden Spektralkanäle aus dem infraroten Wellenlängenbereich mit einem oder zwei Kanälen aus dem sichtbaren Bereich kombiniert. Reine Falschfarbenkomposite (Kanäle 4-5-7) werden aufgrund der ausgeprägten Korrelation der Kanäle 5 und 7 selten verwendet. Daher erweist sich die Hinzunahme des TM-Bandes 7, etwa bei der Analyse von Vegetation, nicht als Informationsgewinn. In der Praxis finden vor allem die Kanalkombinationen 4-3-2 und 4-5-3 bei forstwissenschaftlichen und allgemeinen Vegetationsuntersuchungen häufige Anwendung.

Die Kanalkombination 4-3-2 bietet zudem die Möglichkeit, Vergleiche mit einer evtl. vorliegenden

Infrarot-Befliegung, aufgrund der spektralen Ähnlichkeit (grün, rot und nahes Infrarot), anzustellen. Infolge des hohen Informationswertes von Kanal 5, der Aussagen bezüglich Feuchtigkeitsgehalt der Vegetation zuläßt, bedeutet die Verwendung dieses Kanals in der Regel eine deutliche Verbesserung der visuellen Interpretationsmöglichkeiten von Farbkompositen. Die Verwendung dieser Kanal-kombination erwies sich in zahlreichen Arbeiten bei der Differenzierung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen als hilfreich (KIRCHHOF et al. 1985; DECH 1987). Vgl. hierzu auch Abb. 3.

Bei geologischen Untersuchungen kann dagegen spezielles Reflexions- bzw. Absorptionsverhalten verschiedener Gesteine unter Verwendung von Kanal 7 nachgewiesen werden (PODWYSOCKI et al. 1983). Die Wahl des Colorkomposites ist daher in hohem Maße sowohl von der Fragestellung als auch vom verwendeten Datenmaterial abhängig. Eine Sonderstellung bei der Erstellung von Farbkompositen muß dem thermischen TM-Band 6 beigemessen werden:

Infolge der geringen räumlichen Auflösung von 120 x 120 m und der damit verbundenen geringen Streuung der Grauwerte eignet er sich nicht zur Verwendung innerhalb einer Kanal-kombination. Durch Schwellwertoperationen können jedoch bestimmte Klassen definiert werden, die, nach Colorierung, für den Betrachter gut erkennbar sind (vgl. 1.3. und Abb. 1).

### 3. Datenkompression

Durch eine Hauptkomponenten (HK)-Transformation kann eine erhebliche Datenreduzierung und somit auch eine Verkürzung der Rechenzeit und Reduzierung der Kosten erreicht werden. Sie ist daher als Standardmethode innerhalb der digitalen Bildverarbeitung anzusehen (HABERÄCKER 1985).

Grundüberlegung der HK-Transformation ist die Korrelation des verwendeten Datenmaterials, d.h. Grauwerte von zwei und mehr Kanälen unterscheiden sich nicht signifikant.

Durch starke Korrelation der Grauwerte von mehreren Kanälen kann zu jedem Grauwert eines Kanals ein mehr oder weniger breites Grauwertintervall in einem anderen Kanal zugegeben werden. Bei einer linearen Abhängigkeit zweier Kanäle könnte jedem Grauwert des ersten Kanals der entsprechende Grauwert des zweiten Kanals exakt zugeordnet werden.

Hier läge dann redundante Grauwertinformation vor. Dies wäre allerdings ein Extremfall.

Es bedarf jedoch nicht der linearen Abhängigkeit zweier Kanäle.

HABERÄCKER (1985) betont, daß bereits starke Korrelationen, wie z. B. zwischen TM-Band 5 und 7, derartige Datenredundanz beinhalten.

Durch die HK-Transformation erfolgt eine Drehung der Koordinatenachsen der beiden Kanäle, so daß die erste Achse in Richtung der größten Streuung der Grauwertkombination beider Kanäle ausgerichtet wird und die zweite, ebenfalls in Richtung der größten Varianz, senkrecht dazu steht. Die beiden neuen Koordinatenachsen heißen 1. und 2. Hauptkomponente.

Durch dieses Verfahren wird der Hauptanteil einer Szenenvarianz der 1. HK zugeordnet.

Es muß jedoch bedacht werden, daß durch die Drehung des Merkmalskoordinatensystems spezielle Objekte ihre charakteristischen Eigenschaften verlieren können. Dies kann zu Verschlechterungen einer rechnergestützten Klassifikation führen. Ferner muß berücksichtigt werden, daß entsprechend dem Aufgabenziel (etwa bei geologischen oder hydrologischen Fragestellungen) Strukturen, Texturen und Störungen erst in höheren HK-Kanälen nachweisbar sind und daher oftmals hohe Wertigkeit besitzen. In diesem Fall muß der Informationsgehalt eines Bildes nicht unbedingt mit der Größe der Varianz seiner Grauwerte korrelieren. Abb. 2 zeigt die ersten drei Hauptkomponenten in Farbkompositendarstellung mit durchgeführter Grauwertspreizung. Eine ausführliche Beschreibung der mathematischen Gleichungen einer HK-Transformation gibt HABERÄCKER (1985, S. 205 - 218).

Anwendungsmöglichkeiten einer HK-Transformation innerhalb multispektraler Verarbeitungen von TM-Daten vermitteln die Arbeiten von HABERÄCKER (1977), GLASER (1986) und DECH (1987).

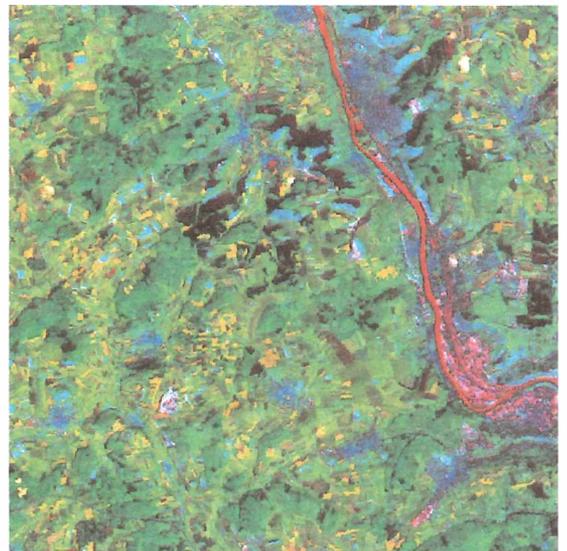


Abbildung 2

Kontrastverstärktes Farbkomposit der 1., 3. und 2. Hauptkomponente

### 4. Ratiobildungen

Bei der interaktiven und visuellen Analyse multispektraler Daten ist eine weitere Standardverarbeitung in der Erstellung von 'Ratios' zu sehen. Unter einer Ratiobildung wird in der Literatur, etwa bei CURRAN (1980), meistens eine beliebige arithmetische Verknüpfung von Bilddaten verstanden. Andere Autoren, z. B. HABERÄCKER (1985), verstehen unter Ratiobildungen nur die pixelweise Division zweier Kanäle. Ansonsten wird zwischen Kanalsumme und Kanaldifferenz unterschieden.

Durch arithmetische Verknüpfungen einzelner TM-Kanäle können unter Umständen bestimmte Bildinhalte betont, weniger wichtige unterdrückt werden. Der Informationsgehalt multispektraler Daten wird dabei in eine Helligkeits- und in eine Farbinformation zerlegt. GLASER (1986, S. 134) konnte durch Division der TM-Kanäle 5 und 4 die Eliminierung eines bei der visuellen Interpretation störenden Wolkenbandes erreichen. GUCK (1986, S. 84)

**Tabelle 1**

einige Standardratios; R = Rot, IR = Infrarot, G = Grün (nach CURRAN (1980), Table 3).

Name	Formula	Example
Simple subtraction	IR-R	Pearson et al. (1976)
Simple division	$\frac{IR}{R}$	Kanemasu (1974)
Complex division	$\frac{IR}{R + \text{other wavelengths}}$	Carter and Gardner (1977)
Simple multiratio (vegetation index)	$\frac{IR - R}{IR + R}$	Ashley and Rea (1975)
Complex multiratio (transformed vegetation index)	$\sqrt{\frac{IR - R}{IR + R} + 0,5}$	Rouse et al. (1973)
Perpendicular vegetation index (vegetation reflectance departure from soil background)	$\sqrt{(\text{soil} - R_{veg})^2 + (R_{soil} - IR_{veg})^2}$	Richardson and Wiegand (1977)
Green vegetation index (for use with Landsat wavebands)	$-0,29(G) - 0,56(R) + 0,60(IR) + 0,49(IR)$	Kauth and Thomas (1976)

spricht von der nützlichen Verwendung einer Division der TM-Kanäle 3 und 4 bei der Identifizierung schneebedeckter Waldgebiete.

Weiterhin können geschickte arithmetische Verknüpfungen innerhalb von Vegetationsuntersuchungen bei der Erkennung von spektral ähnlichen Pflanzen eingesetzt werden: hierin sind sicher die Hauptanwendungsbereiche derartiger Verarbeitungen zu sehen. Obige Tabelle zeigt einige gängige Ratio-Formeln.

**5. Geometrische Entzerrung**

Ist eine Zielsetzung der Verarbeitung von TM-Daten der Vergleich oder gar eine Überlagerung mit Karteninformationen, so ist die Entzerrung der Szene bzw. der Subszene Grundvoraussetzung. Dies bedeutet, die Satellitendaten müssen in ein mit der Karte übereinstimmendes Referenzsystem eingepaßt werden. Das vorgegebene Referenzsystem ist das unseren Karten zugrundeliegende Gauß-Krüger Koordinatensystem.

Zwischen der geometrisch verzerrten Szene und dem Referenzsystem besteht eine Lagebeziehung. Durch die Bestimmung sich entsprechender Ortskoordinaten der verzerrten Szene und des Referenzsystems - innerhalb eines gewählten Bezugsrahmens - kann eine Transformation der verzerrten Ortskoordinaten und somit die Einpassung in das Gauß-Krüger-Netz erfolgen.

Die Transformation der Ortskoordinaten S -> S' wird beschrieben durch:

$$s'(x', y') = s(x, y), \text{ wobei } x' = f_1(x, y) \text{ und } y' = f_2(x, y)$$

die Abbildungen der Transformation sind (HABERÄCKER 1985, S. 169). Eine solche Transformation bewirkt, daß der Grauwert  $g = s(x, y)$  des Originalbildes S (verzerrtes Bild) im transformierten Bild S' (entzerrtes Bild) in der Position mit den Ortskoordinaten x' und y' erscheint.

Verschiedene Modifikationen der Ortskoordinaten ergeben sich aus der Wahl der Transformationsfunktion. In der Praxis werden häufig affine Abbildungen oder Polynomtransformationen n-ten Grades verwendet. Hier wurde die Transformation mit einem Polynom 2. Grades berechnet (Abb. 1 bis 4). Diese Interpolationsmethode wurde auch bei der Entzerrung anderer Landsat-Bilddaten - etwa bei HABERÄCKER et al. (1979) - bereits erfolgreich eingesetzt.

Als Paßpunkte dienen gut identifizierbare Objekte wie Waldschneisen, Straßenkreuzungen oder Brücken. Sie sollten gleichmäßig über das ganze Bild verteilt sein. Gleichzeitig ist zu bedenken, daß ein schlechter Paßpunkt bei der Transformation zu größeren Fehlern führt als eine Lücke im Paßpunktnetz.

**6. Spezielle interaktive Prozeduren; Erstellung einer Waldmaske**

Die Mindestgröße eines eindeutig zu identifizierenden Objektes wird in der Literatur unterschiedlich bewertet:

Nach HABERÄCKER et al. (1979) muß eine zu identifizierende Fläche mindestens die doppelte Länge der Diagonalen des jeweiligen Bildelementes besitzen. Für den TM wären dies 84,85 m. Die Mindestgröße einer Nutzungsparzelle beträgt demnach 0,72 ha.

THOMPSON et al. (1983) sprechen sogar von einer minimalen Gebietsgröße von 2,5 bis 4 ha. Dieser Wert scheint nach meinen Erfahrungen jedoch zu hoch angesetzt. Nach einer Berechnung von LE-GORGEU & RIVEREAU (1983) beträgt die Mindestparzellengröße dagegen nur 0,36 ha.

Die kleingekammerten Landnutzungsstrukturen der Region nordwestlich Würzburg bedingen eine große spektrale Heterogenität der verschiedenen Oberflächenbedeckungsarten. Der Anteil von Mischsignalen ist daher groß. So erhalten Misch-

pixel oftmals zufällig die spektralen Eigenschaften von „reinen“ Pixeln einer Objektklasse. Diese Mischsignaturen führen zwangsläufig zu Fehlklassifizierungen. Bei der vorliegenden Szene erwies sich die Wahl des Aufnahmezeitpunktes (Hochsommer) für ein Maximum spektraler Unterscheidbarkeit zwar als günstig, gleichsam steigt jedoch mit einer Erhöhung der Klassenzahl die Fehlerquote.

So kommt es auch *zwischen* den landwirtschaftlichen Objektklassen, bedingt durch die charakteristischen Spektraleigenschaften von Vegetation, zu gegenseitigen Fehlzuweisungen bei Verwendung monotoner Daten. Um die zu erwartende Fehlerquote bei der Klassifizierung von Vegetation zu verringern, wurde – zunächst mittels Schwellwertoperationen versucht, eine Trennung von Wald und Nichtwald zu realisieren, um die Klassifizierung anschließend in zwei separaten Verarbeitungen durchzuführen. Das Ergebnis war jedoch nicht zufriedenstellend: über das ganze Bild verstreut blieben einzelne und kleine Gruppen von Bildelementen zurück. Bei solchen Pixeln handelte es sich um vereinzelt vorkommende Obstbaumkulturen und Schrebergärten, die verstärkt entlang des Mainaubereiches südlich Zellingen zu beobachten sind.

Auch innerhalb der Wälder waren Lücken zu beobachten, die beispielsweise durch Junganpflanzungen oder Blößen verursacht wurden, definitiv jedoch als „Wald“ anzusprechen sind.

Eine brauchbare Trennung von Wald und Nichtwald konnte bei der vorliegenden Szene nur manuell erreicht werden.

Zur Abgrenzung der Waldgebiete wurden als Referenzdaten die Topographischen Karten 6125 (Würzburg Nord) und 6124 (Remlingen) im Maßstab 1 : 25 000 verwendet, ferner diente das Blatt „Würzburg und Umgebung“ im Maßstab 1 : 50 000. Als Farbkomposit wurde eine speziell auf den Kontrast Wald-Nichtwald grauwertmodifizierte Kombination der Kanäle 5-4-3 auf das Sichtgerät ausgespielt. Zudem wurde ein weiterer Monitor mit einer anderen Kanalkombination belegt, um in Zweifelsfällen eine Vergleichsbasis zu besitzen.

Der jeweils zu bearbeitende Ausschnitt wurde 4-fach vergrößert. Das „Einzeichnen“ der Grenzlinie erfolgte über eine Rollkugel; der Grenzverlauf wurde so gelegt, daß das Linienpixel das letzte Waldpixel überdeckt.

Nach der durchgeführten Abgrenzung des Waldes vom Nichtwald werden zwei Maskenbilder erstellt, die jeweils nur die Grauwerte 0 und 1 besitzen, einmal für Wald/Nichtwald und umgekehrt.

Multipliziert man nun ein Maskenbild mit einer Kanalkombination oder mit einem klassifizierten Bild, so erreicht man als Ausgabebild die Separierung gewünschter Bildinhalte.

Auf diese Weise kann die Klassifizierung in zwei unabhängigen Verarbeitungsschritten erfolgen. Beide Klassifizierungen werden als Endprodukt addiert.

Es muß jedoch betont werden, daß eine derartige Vorgehensweise nur mit großem Zeit- und Rechenaufwand durchführbar ist und daher in der Praxis, bei operationeller Bearbeitung größerer Gebiete, nur selten zur Anwendung kommen dürfte. Hauptanwendungsbereiche einer solchen Verar-

beitung sind deshalb in detaillierten Untersuchungen relativ überschaubarer Areale – innerhalb kommunaler oder regionaler Planungsebenen zu sehen.

## 7. Überwachte Klassifizierungsverfahren

Zu Beginn einer überwachten Klassifizierung multispektraler Daten steht der Nutzer vor der Frage, mit welchem Klassifizierungsalgorithmus die Klassifikation durchgeführt werden soll.

Als wichtigste Verfahren sind die Minimum-Distance-Methode, die Quadermethode (geometrischer Klassifikator) und die Maximum-Likelihood-Klassifizierung zu nennen.

Die Maximum-Likelihood-Methode ist als weitaus genauestes Klassifizierungsverfahren anerkannt, deren größter Nachteil in der mit steigender Kanalzahl wachsenden Rechenzeit und damit horrenden Kosten zu sehen ist. Daher wird die Auswahl des Klassifizierungsalgorithmus wesentlich von der geforderten Klassifizierungsgenauigkeit und den verfügbaren Geldmitteln abhängig sein.

Ein weiteres Auswahlkriterium ist in den speziellen Charakteristika der zu untersuchenden Szene zu sehen. So kam MURI (1981) zu dem Ergebnis, daß bei einer Schneeflächenklassifizierung dem Minimum-Distance-Algorithmus der Vorzug gegenüber dem Maximum-Likelihood-Verfahren zu geben sei, obwohl der Rechenaufwand in einem Verhältnis von 1 : 4 zugunsten der Minimum-Distance-Methode lag.

Neben den ‘überwachten’ können auch ‘unüberwachte’ Klassifizierungsverfahren durchgeführt werden, die vor allem in schwer zugänglichen Gebieten, wie in den Tropen oder Subtropen, ihren Anwendungsbereich besitzen. Die zeitaufwendige Auswahl der Testgebiete durch den Interpreten fällt hierbei weg. Mittels einer Clusteranalyse werden selbständig Kategorien (Klassen) gebildet, die vom Interpreten nur noch definiert werden müssen. Ein derartiges Verfahren ist weitaus weniger rechenintensiv und daher bedeutend kostengünstiger.

Es kann festgestellt werden, daß eine überwachte Klassifizierung, unabhängig vom verwendeten Algorithmus, stets äußerst zeitintensiv ist und aus einem langen Prozeß sich wiederholender Prozeduren wie Probeklassifizierungen, Neuauswahl von Trainingsgebieten und Veränderungen der Startparameter, sowie mit einem intensiven Verifizierungsaufwand verbunden ist.

Ferner könnte durch die Implementierung verschiedenster Erfahrungsparameter innerhalb einer numerischen Klassifikation eine wesentliche Verbesserung der Ergebnisse erzielt werden. Es seien nur Faktoren wie Textur oder Abhängigkeiten zwischen einzelnen Objekten genannt, die bei der Verwendung derzeitiger Methoden gänzlich unberücksichtigt bleiben. Die Entwicklung neuer Klassifizierungsverfahren wird eine Maxime in der Schaffung eines solchen Systems beinhalten, das sich an dem im Menschen ablaufenden Prozeß der Erkennung von Objekten orientieren muß.

### 7.1. Überwachte Maximum-Likelihood Klassifizierung

Für die hier durchgeführte überwachte Klassifizierung wurde der Maximum-Likelihood (ML) Klassifikator verwendet, da er vor allem bei schwierig

trennbaren Klassen, wie sie hier zu erwarten waren, als sehr nützlich dargestellt wird (vgl. KIRCHHOF et al. 1985).

Die ML-Klassifizierung basiert auf dem Prinzip der quadratischen Form, dem sog. Mahalanobis-Abstand des Bildpunktes  $x$  im  $n$ -kanaligen Spektralraum der Musterklasse, einem Distanzmaß aus der Diskriminanzanalyse. Dieser ist durch den Mittelwertvektor „ $m$ “ und die Kovarianzmatrix „ $C$ “ beschrieben. Jene Bildpunkte, die durch einen konstanten Mahalanobis-Abstand zu einer bestimmten Musterklasse gekennzeichnet sind, liegen auf einem  $n$ -dimensionalen Hyperellipsoid, d. h., Pixel mit gleichem Mahalanobis-Abstand zu einer Musterklasse befinden sich um die Zentren der Klassen. Eine Ellipsoidschar ist somit durch die quadratische Form zu jeder Musterklasse definiert (HABERÄCKER 1977). Die Größe des Ellipsoids wird durch einen Schwellenwert ( $c$ ) begrenzt. Dieser wird als das Vielfache vom Sigma eingegeben, wobei Sigma der Richtung der größten Streuung im Ellipsoid entspricht.

Als nicht klassifiziert werden Bildpunkte zurückgewiesen, deren Mahalanobis-Abstand von allen gesetzten Musterklassen größer als das Produkt von Sigma und Schwellenwert ist.

Als Endergebnis der Klassifizierung erhält man ein einkanaliges Äquidensitenbild. Zur Verbesserung der visuellen Betrachtbarkeit werden die einzelnen Grauwerte farbkodiert.

Weitere Darstellungen der ML-Klassifizierung findet man bei HABERÄCKER (1977; 1985).

Die Auswahl der Trainingsgebiete besitzt bei der überwachten Klassifikation entscheidende Bedeutung für die spätere Genauigkeit des Ergebnisses. Die Strichproben sollten dabei die spektralen Eigenschaften der Klassen möglichst genau repräsentieren. Hierbei muß auf ausreichende Homogenität und Größe der Referenzflächen geachtet werden. Ferner sollten die Stichproben annähernd eine Normalverteilung der Grauwerte aufweisen. Nur dann können die anhand von Standardabweichung und Mittelwert errechneten Grauwertverteilungen der Trainingsgebiete korrekt wiedergegeben werden.

In der hier zitierten Untersuchung (DECH 1987) wurden 13 landwirtschaftliche Nutzungskategorien, drei Bebauungskategorien sowie die Klassen „Laubwald“, „Nadelwald“, „Gewässer“ und „Freiflächen“ definiert.

## 8. Automatische Generalisierungsprozesse

Klassifizierte, nicht generalisierte Bilder sind oftmals dadurch gekennzeichnet, daß sie auf kleinem Raum, vornehmlich durch die im westlichen Mitteleuropa vorherrschenden kleingekammerten Landnutzungsstrukturen und den damit verbundenen, bereits oben beschriebenen, Mischsignaturen, einen stark zergliederten und daher auf den Betrachter unruhig wirkenden Gesamteindruck hinterlassen. Zudem ist diese Informationsfülle für den Interpreten schwer zu erfassen und kann somit schlecht perceptiert werden.

Aus der Analyse des hier gewonnenen Klassifizierungsergebnisses geht deutlich hervor, daß eine ganze Reihe isolierter, falsch klassifizierter Bildpunkte sowohl in landwirtschaftlich genutzten Gebieten – verstärkt jedoch im Bereich der Klassen

„Lockere Bebauung“ und „Wein“ – infolge gegenseitiger Fehlzuweisungen zu beobachten sind. Solche systematischen und unsystematischen Fehler können zunächst beseitigt werden bevor der Darstellungsprozeß erfolgt.

Die digitale Bildverarbeitung bietet hier die Möglichkeit, durch Verwendung eines Glättungsfilters solche fehlerhaften, isolierten Bildelemente zu eliminieren.

Der in dieser Arbeit verwendete Zentralwertfilter (Median-Filter) liefert hier sehr gute Ergebnisse (HABERÄCKER 1985).

Er vergleicht die Grauwerte in einem ausgewählten Fenster und ersetzt sie durch den zentralen Wert. Im Gegensatz zu einem gleitenden Mittelwertfilter werden bei einer Median-Filterung keine neuen Grauwerte gebildet (Abb. 4).

Durch die Verwendung unterschiedlich großer Matrizen besitzt der Bearbeiter die Möglichkeit, verschieden starke Modifizierungen der Ausgangsdaten zu bewirken.

### 8.1. Partielle Filterungen

ITTEN (1979) stellte in seinen Untersuchungen ein Verfahren vor, bei dem digitale Filter klasenspezifisch, nach speziellen Erfordernissen (Filterung von Randbereichen oder Zentren), Anwendung finden. In dieser Arbeit wurde versucht, beispielhaft eine partielle Filterung durchzuführen. Hierzu wurden drei Bebauungskategorien sowie die Klasse „Wein“ ausgewählt. Diese Klassen erwiesen sich mittels monotemperaler Daten und ohne Einbeziehung weiterer Zusatzdaten, etwa eines digitalen Höhenmodells, als nicht fehlerfrei trennbar.

Durch Schwellwertoperationen konnten jene Klassen separiert und danach gefiltert werden. Mittels verschiedener arithmetischer Verknüpfungen wurden sie anschließend wieder ins Gesamtbild eingefügt. Auf diese Weise können bei Bedarf gewünschte Klassen unabhängig voneinander mit digitalen Filtern geglättet oder, falls eine Filterung zur Verschlechterung des Ergebnisses führt, ausgeklammert werden.

Durch derartige Verfahren sind im Rahmen der Darstellung klassifizierter Bilder beachtliche Verbesserungen zu erreichen.

## 9. Integration topographischer Karteninformationen

Um die in der Arbeit gewonnenen Ergebnisse für den Interpreten lesbarer zu gestalten, ist es sinnvoll, eine Integration topographischer Karteninformationen durchzuführen.

Die Voraussetzung für die Verknüpfung derartiger Zusatzdaten muß durch die Entzerrung der Szene geschaffen worden sein.

Durch die Vielfalt der aus der Karte entnehmbaren Informationen werden in Kombination mit der spektralen Information der TM-Daten Sachverhalte verdeutlicht bzw. erweitert und so für den Interpreten leichter analysierbar.

Vor allem die Integration der Höhenlinien gestattet bei visueller Ansprache die Einbeziehung der Hangneigung und damit die Erkennbarkeit von hierdurch bedingten Reflexionsveränderungen.



**Abbildung 3**  
**Kontrastverstärkung**  
**mit Überlagerung**  
**L 6324 (Maßstab 1:50.000)**  
**Topographische Karte**

„Lockere Bebauung“ und „Wein“ – infolge gegenseitiger Fehlzuzuweisungen zu beobachten sind. Solche systematischen und unsystematischen Fehler können zunächst beseitigt werden bevor der Darstellungsprozeß erfolgt.

Die digitale Bildverarbeitung bietet hier die Möglichkeit, durch Verwendung eines Glättungsfilters solche fehlerhaften, isolierten Bildelemente zu eliminieren.

Der in dieser Arbeit verwendete Zentralwertfilter (Median-Filter) liefert hier sehr gute Ergebnisse (HABERÄCKER 1985).

Er vergleicht die Grauwerte in einem ausgewählten Fenster und ersetzt sie durch den zentralen Wert. Im Gegensatz zu einem gleitenden Mittelwertfilter werden bei einer Median-Filterung keine neuen Grauwerte gebildet (Abb. 4).

Durch die Verwendung unterschiedlich großer Matrizen besitzt der Bearbeiter die Möglichkeit, verschieden starke Modifizierungen der Ausgangsdaten zu bewirken.

### 8.1. Partielle Filterungen

ITTEN (1979) stellte in seinen Untersuchungen ein Verfahren vor, bei dem digitale Filter klassenspezifisch, nach speziellen Erfordernissen (Filterung von Randbereichen oder Zentren), Anwendung finden. In dieser Arbeit wurde versucht, beispielhaft eine partielle Filterung durchzuführen. Hierzu wurden drei Bebauungskategorien sowie die Klasse „Wein“ ausgewählt. Diese Klassen erwiesen sich mittels monotoner Daten und ohne Einbeziehung weiterer Zusatzdaten, etwa eines digitalen Höhenmodells, als nicht fehlerfrei trennbar.

Durch Schwellwertoperationen konnten jene Klassen separiert und danach gefiltert werden. Mittels verschiedener arithmetischer Verknüpfungen wurden sie anschließend wieder ins Gesamtbild eingefügt. Auf diese Weise können bei Bedarf gewünschte Klassen unabhängig voneinander mit digitalen Filtern geglättet oder, falls eine Filterung zur Verschlechterung des Ergebnisses führt, ausgeklammert werden.

Durch derartige Verfahren sind im Rahmen der Darstellung klassifizierter Bilder beachtliche Verbesserungen zu erreichen.

### 9. Integration topographischer Karteninformationen

Um die in der Arbeit gewonnenen Ergebnisse für den Interpreten lesbarer zu gestalten, ist es sinnvoll, eine Integration topographischer Karteninformation durchzuführen.

Die Voraussetzung für die Verknüpfung derartiger Zusatzdaten muß durch die Entzerrung der Szene geschaffen worden sein.

Durch die Vielfalt der aus der Karte entnehmbaren Informationen werden in Kombination mit der spektralen Information der TM-Daten Sachverhalte verdeutlicht bzw. erweitert und so für den Interpreten leichter analysierbar.

Vor allem die Integration der Höhenlinien gestattet bei visueller Ansprache die Einbeziehung der Hangneigung und damit die Erkennbarkeit von hierdurch bedingten Reflexionsveränderungen.



Abbildung 3

Kontrastverstärktes Farbkomposit der Kanäle TM-4, TM-5 und TM-3 mit Überlagerung topographischer Information der Karten L 6124 und L 6324 (Maßstab: 1 : 50 000).

Topographische Karte: Bayerisches Landesvermessungsamt

„Lockere Bebauung“ und „Wein“ – infolge gegenseitiger Fehlzuweisungen zu beobachten sind. Solche systematischen und unsystematischen Fehler können zunächst beseitigt werden bevor der Darstellungsprozeß erfolgt.

Die digitale Bildverarbeitung bietet hier die Möglichkeit, durch Verwendung eines Glättungsfilters solche fehlerhaften, isolierten Bildelemente zu eliminieren.

Der in dieser Arbeit verwendete Zentralwertfilter (Median-Filter) liefert hier sehr gute Ergebnisse (HABERÄCKER 1985).

Er vergleicht die Grauwerte in einem ausgewählten Fenster und ersetzt sie durch den zentralen Wert. Im Gegensatz zu einem gleitenden Mittelwertfilter werden bei einer Median-Filterung keine neuen Grauwerte gebildet (Abb. 4).

Durch die Verwendung unterschiedlich großer Matrizen besitzt der Bearbeiter die Möglichkeit, verschieden starke Modifizierungen der Ausgangsdaten zu bewirken.

### 8.1. Partielle Filterungen

ITTEN (1979) stellte in seinen Untersuchungen ein Verfahren vor, bei dem digitale Filter klasenspezifisch, nach speziellen Erfordernissen (Filterung von Randbereichen oder Zentren), Anwendung finden. In dieser Arbeit wurde versucht, beispielhaft eine partielle Filterung durchzuführen. Hierzu wurden drei Bauungskategorien sowie die Klasse „Wein“ ausgewählt. Diese Klassen erwiesen sich mittels monotoner Daten und ohne Einbeziehung weiterer Zusatzdaten, etwa eines digitalen Höhenmodells, als nicht fehlerfrei trennbar.

Durch Schwellwertoperationen konnten jene Klassen separiert und danach gefiltert werden. Mittels verschiedener arithmetischer Verknüpfungen wurden sie anschließend wieder ins Gesamtbild eingefügt. Auf diese Weise können bei Bedarf gewünschte Klassen unabhängig voneinander mit digitalen Filtern geglättet oder, falls eine Filterung zur Verschlechterung des Ergebnisses führt, ausgeklammert werden.

Durch derartige Verfahren sind im Rahmen der Darstellung klassifizierter Bilder beachtliche Verbesserungen zu erreichen.

### 9. Integration topographischer Karteninformationen

Um die in der Arbeit gewonnenen Ergebnisse für den Interpreten lesbarer zu gestalten, ist es sinnvoll, eine Integration topographischer Karteninformation durchzuführen.

Die Voraussetzung für die Verknüpfung derartiger Zusatzdaten muß durch die Entzerrung der Szene geschaffen worden sein.

Durch die Vielfalt der aus der Karte entnehmbaren Informationen werden in Kombination mit der spektralen Information der TM-Daten Sachverhalte verdeutlicht bzw. erweitert und so für den Interpreten leichter analysierbar.

Vor allem die Integration der Höhenlinien gestattet bei visueller Ansprache die Einbeziehung der Hangneigung und damit die Erkennbarkeit von hierdurch bedingten Reflexionsveränderungen.

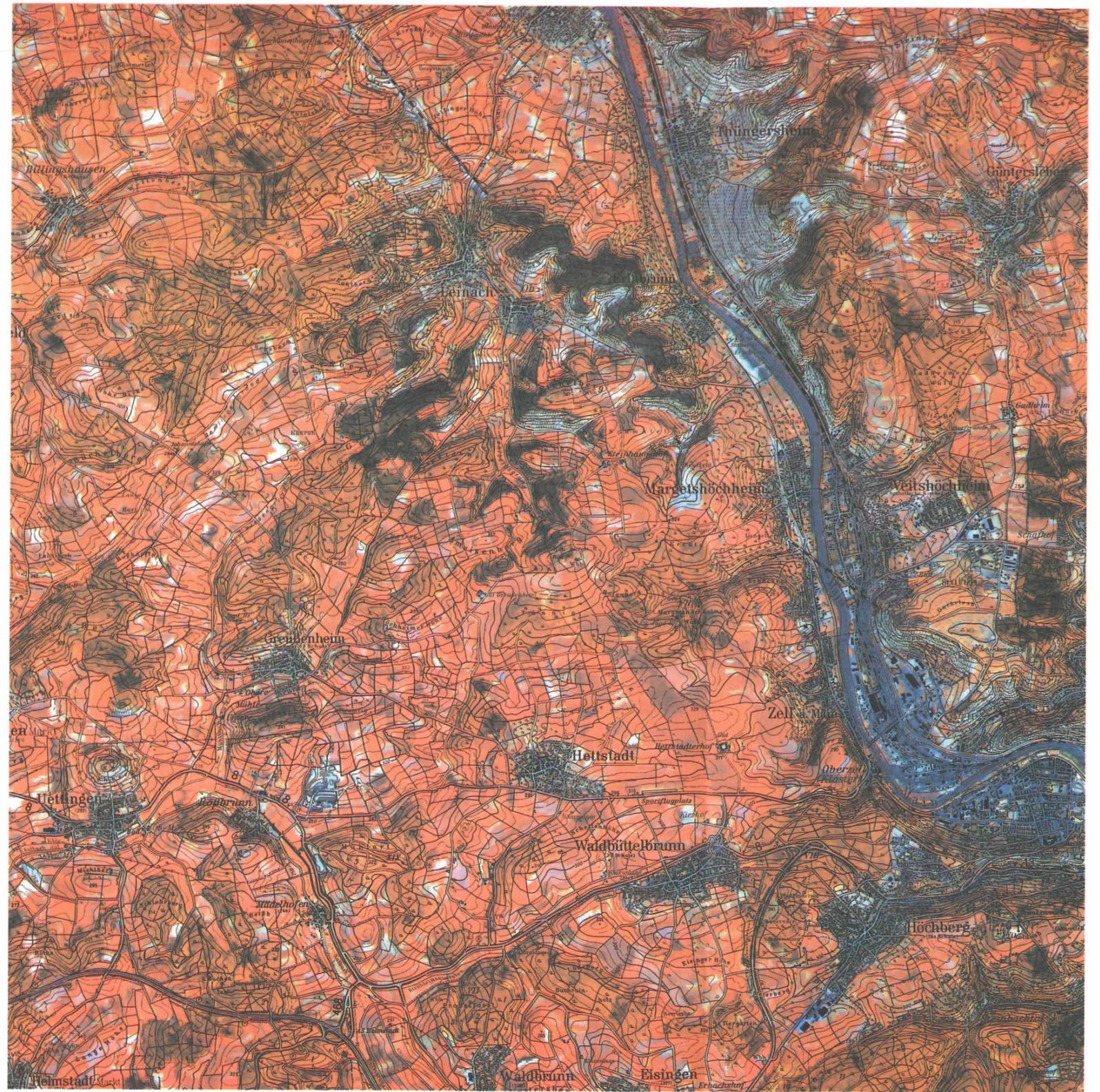


Abbildung 3

Kontrastverstärktes Farbkomposit der Kanäle TM-4, TM-5 und TM-3 mit Überlagerung topographischer Information der Karten L 6124 und L 6324 (Maßstab: 1 : 50 000).

Topographische Karte: Bayerisches Landesvermessungsamt







### 9.1. Beurteilung des Informationsgewinns beim Farbkomposit

Der Aufwand für die Erstellung eines Produktes aus TM-Spektralinformationen und Zusatzdaten ist im Vergleich zur Klassifizierung als klein einzustufen. Dafür bietet eine solche Darstellung bereits ein hohes Maß an Informationen. Durch die Einbeziehung der Karteninformationen können die Reflexionseigenschaften der verschiedenen Oberflächenbedeckungsarten in einen sinnvollen Kontext gebracht werden. Die Integration der Kenntnisse und Erfahrungswerte des Bildinterpreten ermöglichen die Einordnung der Gesamtinformation in einen logischen Bezugsrahmen.

Der Interpret kann durch die Verknüpfung von Zusatzdaten verschiedene Spektralinformationen „lernen“, ohne vorher durch einen „Ground Check“ sich Kenntnisse verschafft zu haben. Bei der Erkennung von Siedlungskörpern ist dies durch die Ortsnamen ohnehin denkbar einfach, aber auch bei anderen Spektralinformationen ist dies möglich.

Nicht differenzieren kann der Interpret dagegen verschiedene Feldfrüchte; bestenfalls (bei diesem Aufnahmedatum) Mais, der aufgrund des hohen Bodenanteils deutlich höhere Reflexionswerte aufweist als die restlichen landwirtschaftlichen Nutzungsarten. Erhält er jedoch die Information, *was* auf welcher Parzelle angebaut ist, kann er auch hier klassifizieren (vgl. GLASER 1986).

Insgesamt steigt der Informationsgewinn eines Farbkomposites durch die Verknüpfung solcher oder ähnlicher Zusatzdaten deutlich an (vgl. Abb. 3)!

### 9.2. Beurteilung des Informationsgewinns beim klassifizierten, zentralwertgefilterten Bild

Eine Klassifizierung stellt im Gegensatz zu einer Kanalkombination eine starke Generalisierung der Information dar, in der bestimmte Grauwertbereiche zu Klassen zusammengefaßt und anschließend mit einer einheitlichen Farbe kodiert werden.

Diese Art der Darstellung ermöglicht dem Betrachter die Erfassung der räumlichen Verteilung der Flächennutzung im Untersuchungsgebiet.

Durch die Verknüpfung mit topographischen Informationen kann das klassifizierte Bild als Landnutzungskarte angesprochen werden. Somit kann die durchgeführte Landnutzungsklassifikation als kartenähnliches Produkt Anwendung finden (vgl. Abb. 4).

Hierdurch ergeben sich durchaus einige neue Aspekte innerhalb der kartographischen Darstellungsmöglichkeiten. Über die Unterscheidungsmöglichkeit von Laub- und Nadelwald hinaus können gerade innerhalb der Waldbereiche weitere Differenzierungen, nach Arten, Alter und Vitalitätszustand, durchgeführt werden.

Durch solche Verarbeitungen können temporäre Veränderungen in der thematischen Kartographie deutlich gemacht werden. In der Aktualität der Satellitendaten und daraus erzeugter Kartenprodukte liegt daher ein wesentlicher Vorteil gegenüber der herkömmlichen Methode der Kartenerzeugung. Dieser Aspekt wird auch im Rahmen der Gewinnung planerisch relevanter Flächendaten durch GLASER (1986) besonders betont.

Ferner muß ein weiterer Vorteil solcher Verarbeitungen im Verhältnis Aufwand/Kosten gesehen werden.

Auch ist die Unterscheidung vegetationsloser Flächen und grüner Vegetation gegeben und kann somit einen Beitrag zur Erfassung dynamischer Prozesse in intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten liefern. Als weiteres Beispiel kann auch die Verwendung von Satellitenkarten zur Darstellung von Bebauung in dicht besiedelten Regionen angeführt werden.

Nicht vergessen werden dürfen die Anwendungsbereiche bei der Erfassung von Schneeflächen und ihrer dynamischen Entwicklung.

Die vielen Publikationen aus diesem Themenkreis verdeutlichen die Bedeutung derartiger Untersuchungen. (Vor allem die Gruppe um HÄFNER beschäftigt sich seit 15 Jahren mit Schneekartierungen mittels Methoden der Fernerkundung.)

Nachteilig wirken sich vor allem die spektrale Unterscheidungsmöglichkeit verschiedener Objekte, die Nichterfassung vorkommender Landnutzungstypen sowie aufnahmebedingte Fehlklassifizierungen aus.

### Literatur

CURRAN, P. (1980): Multispectral Remote Sensing of Vegetation Amount. - Prog. i. Physic. Geogr. 4 (3): 315 - 341.

DECH, S. W. (1987): Erfassung der Landnutzungsstrukturen nordwestlich Würzburg anhand digitaler, multispektraler LANDSAT-5-Thematic-Mapper-Daten. - DFVLR-FB 87 - 37, 184 S.

GLASER, R. (1986): Fernerkundung mit Landsat-5-Thematic-Mapper. Anwendungsmöglichkeiten am Beispiel von Würzburg und Umgebung, auch unter Berücksichtigung verschiedener Planungsebenen. DFVLR-FB 86 - 62, 128 S.

GUCK, U. (1986): Auswertung von digitalen, multitemporalen LANDSAT-5-Thematic-Mapper-Daten zur Erfassung der Schneefläche und anderer Oberflächenarten im hinteren Ötztal unter besonderer Berücksichtigung der wasserwirtschaftlichen Bedeutung von Schneeflächendaten. - DFVLR-FB 86 - 46, 166 S.

HABERÄCKER, P. (1977): Untersuchungen zur Klassifizierung multispektraler Bilddaten aus der Fernerkundung. - DLR-FB 77 - 72, 134 S.

HABERÄCKER, P. (1985): Digitale Bildverarbeitung. - München-Wien, 377 S.

HABERÄCKER, P., KIRCHHOF, W., KRAUTH, E., KRITIKOS, G. & WINTER, R. (1979): Auswertung von Satellitendaten zur Gewinnung von Flächennutzungsdaten. - Schriftenr. d. Bundesm. f. Raumord. u. Städtebau 06.39, 133 S.

HAYDN, R. & VOLK, P. (1987): Erkennung von Umweltproblemen in Luft- und Satellitenbild. - Geogr. Rundsch. 39 (6): S. 316 - 323.

ITTEN, K. I. (1979): Großräumige Inventuren mit Landsat-Erderkundungssatelliten in der Schweiz. - Habilitationsschrift an der Philosophischen Fakultät II der Univ. Zürich, Serie B 818, 87 S.

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, 142 S.

MURI, R. (1981):

Verfahren zur großräumigen, automatisierten Klassifikation von Schnee. Ein Beitrag zur Auswertung multispektraler Fernerkundungsdaten. - Arb. a. d. geogr. Inst. Univ. Zürich, 159 S.

PODWYSOCKI, M. H., SALISBURY, J. W., BENDER, L. V., JONES, D. D. & MIMMS, D. L. (1983): Analysis of Landsat-4 TM Data for lithologic and Image Mapping purposes. - NASA Conf. Publ. 2326: 35 - 39.

THOMPSON, D. R., HENDERSON, K. E.,

HOUSTON, A. G. & PITTS, D. E. (1983):

Evaluation of Landsat Thematic Mapper for Vegetated Alluvial Soils Information. - Int. Geosc. a. Rem. Sens. Symp. (IGARSS), San Francisco: 1.1. - 1.5.

**Anschrift des Verfassers:**

Stefan W. Dech  
Dipl.-Geograph  
Deutsche Forschungsanstalt  
für Luft- und Raumfahrt e. V.  
Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum  
D-8031 Weßling (Oberpfaffenhofen)

# Thermalbilder und Oberflächentemperaturen

Hermann Goßmann

## Inhaltsverzeichnis:

<b>1. Die Bedeutung räumlicher und zeitlicher Temperaturunterschiede</b>	23
<b>2. Die Aufnahmen von Thermalbildern</b>	23
2.1 Aufnahmeverfahren	23
2.2 Aufnahmeplattformen	25
<b>3. Probleme der Thermalbildauswertung</b>	26
3.1 Einfluß der Emissivität der Oberflächen	26
3.2 Einfluß der Atmosphäre	26
3.3 Beobachtungswinkel und relevante Oberflächen	27
<b>4. Probleme der Thermalbildauswertung</b>	29
<b>5. Anwendungsbeispiele</b>	32
5.1 Kaltluftseen, Kaltluftabflüsse, Oberflächentemperaturen der Wälder	32
5.2 Städtische Wärmeinsel, Nachbarschaftseffekte in Ballungsräumen	34
5.3 Synthetische Karten der Wärmebelastung	34
<b>6. Diskussion</b>	36
<b>7. Zusammenfassung</b>	37
Summary	38
<b>8. Literatur</b>	38

## 1. Die Bedeutung räumlicher und zeitlicher Temperaturunterschiede

Temperaturen und räumliche Temperaturgradienten gehören zu den wichtigsten Steuergrößen aller physikalischen und chemischen und damit auch aller physiologischen Prozesse. Deshalb kann keine ökosystemare Betrachtung auf die Erfassung und Bewertung von Temperaturen verzichten.

*Wesentlich sind dabei in aller Regel für den aktuellen Prozeß nicht langzeitige oder großräumige Mittel, sondern Werte an bestimmten Stellen und bestimmten Zeitpunkten. Wesentlich sind zudem in aller Regel nicht die Lufttemperaturen, sondern die Werte in den betreffenden Körpern, Pflanzenteilen etc.*

Diese Sätze könnten ein Extrakt aus R. GEIGERs Buch vom „Klima der bodennahen Luftschicht“ sein, sind also klassisches Gedankengut der Geländeklimatologie. Dennoch geraten sie gelegentlich in Vergessenheit und verdienen immer wieder neu hervorgehoben zu werden. Dazu drei Beispiele:

a) F. LAUSCHER (1953) und mit ihm R. GEIGER (1960) berichten von der Bedeutung der unterschiedlichen Erwärmung der Baumstämme und des Bodens an Waldrändern für das Massenaufreten des Forstschädlings *ocneria monacha*, der sogenannten Nonne, in Österreich. Ist der Frühling durch viele sonnenscheinreiche Tage ausgezeichnet, so schlüpfen in den kritischen Tagen an den Waldrändern die Nonnenraupen aus den Eigelegten an den warmen Stämmen, bevor die Parasiten, ihre natürlichen Gegner, aus dem Boden kommen. Der unterschiedliche Temperaturgang in den Baumstämmen und im Waldboden führte nachweislich 1946 zu einer Nonnenkatastrophe.

b) Seitdem ich in St. Peter im Schwarzwald in 750 m Höhe wohne, weiß ich, daß es möglich ist, daß an einem klaren Spätherbsttag gleichzeitig die Johannisbeeren auf der Südseite des Hauses ihre Knospen weiter vergrößern, während 15 m entfernt im Schat-

ten einer Wand 4 cm hohes Kammeis den ganzen Tag über stehen bleibt.

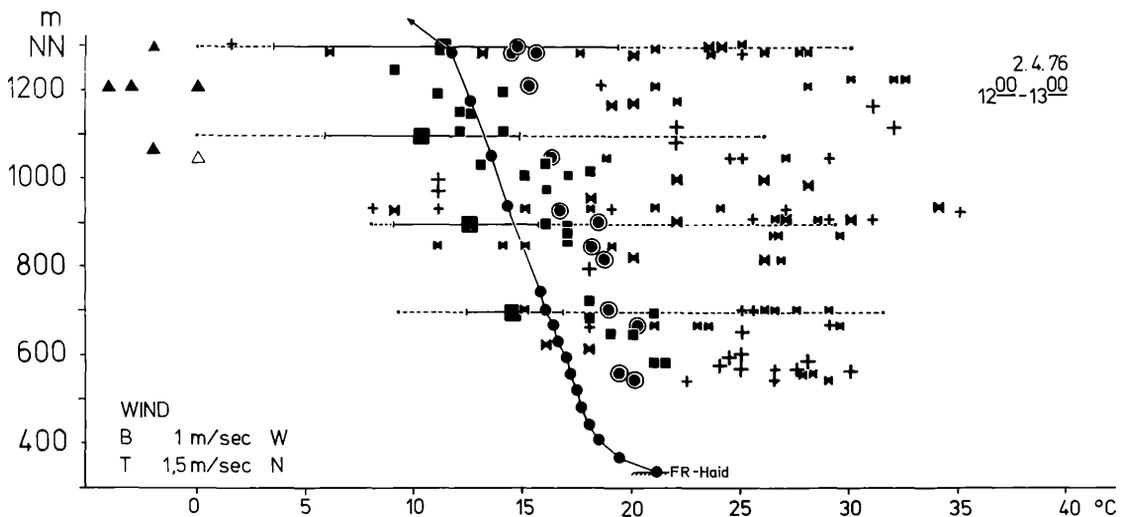
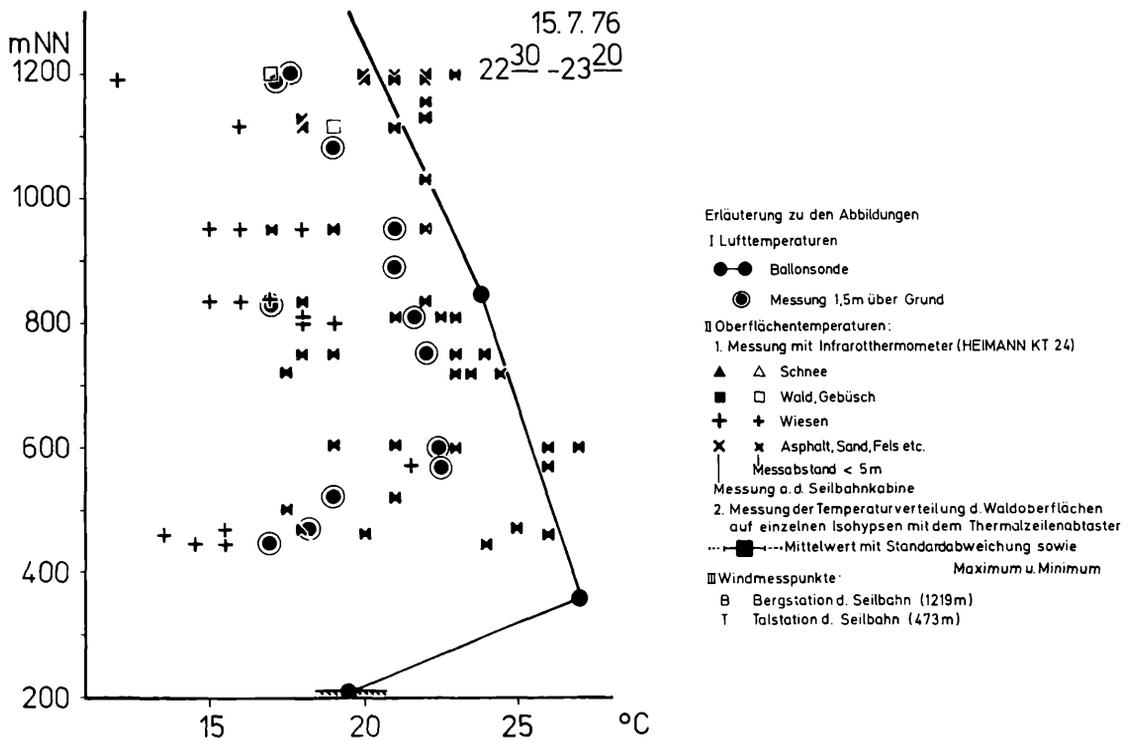
c) Untersuchungen der Oberflächentemperaturen wie die in Abb. 1 vorgestellten Meßreihen am Schauinsland bei Freiburg zeigen, daß unmittelbar benachbarte Flächen am Tage Temperaturdifferenzen von über 40 K, in der Nacht noch von mehr als 10 K ausbilden können.

Landschaftsökologische Arbeiten müssen diese große räumliche und zeitliche Differenzierung der Luft-, Bestands- und Bodentemperaturen in Rechnung stellen. Eine wesentliche Voraussetzung der weiteren Entwicklung der Ökosystemforschung wird deshalb die bessere Erfassung der dreidimensionalen Temperaturfelder und ihrer zeitlichen Verläufe sein. Die Frage ist, welchen Stellenwert in diesem Zusammenhang die flächenhafte Erfassung der Oberflächentemperaturen mit radio-metrischen Meßsystemen hat.

## 2. Die Aufnahmen von Thermalbildern

### 2.1 Aufnahmeverfahren

Über die Fernmessung der Oberflächentemperaturen liegen aus den siebziger Jahren ausführliche Texte vor (D. LORENZ 1973, H. GOSSMANN 1977). Grundlage ist die Messung elektromagnetischer Strahlung in Wellenlängenbereichen, in denen die Landoberflächen temperaturabhängig strahlen und in denen gleichzeitig die Atmosphäre durchlässig ist (Strahlungsfenster). Dies ist vor allem der Bereich des großen Wasserdampffenster bei 10  $\mu\text{m}$  (Abb. 2). Die flächenhafte Erfassung zu Thermalbildern erfolgt mit sogenannten optisch-mechanischen Abtastern. Bei diesen (Abb. 3) wird die Aufnahme der einzelnen Bildzeile durch einen rotierenden Spiegel, der Zeilenvorschub durch die Bewegung der Trägerplattform erzeugt. Optisch-elektronische Abtastsysteme für die Thermalbild-



**Abbildung 1**

**Vergleich von Lufttemperaturen und Strahlungstemperaturen der Landoberfläche bei Strahlungswetterlagen.**

Aufnahmen am Anstieg des Schwarzwaldes aus der Oberrheinebene am Schauinsland bei Freiburg während der Kampagne des Deutschen Flugzeugmeßprogrammes 1976.

Comparison of air temperatures and the land surface's radiation temperatures during clear weather conditions.

Records taken at the west-facing slopes of Mt. Schauinsland near Freiburg during the campaigns of the "Deutsches Flugzeugmeßprogramm" 1976.

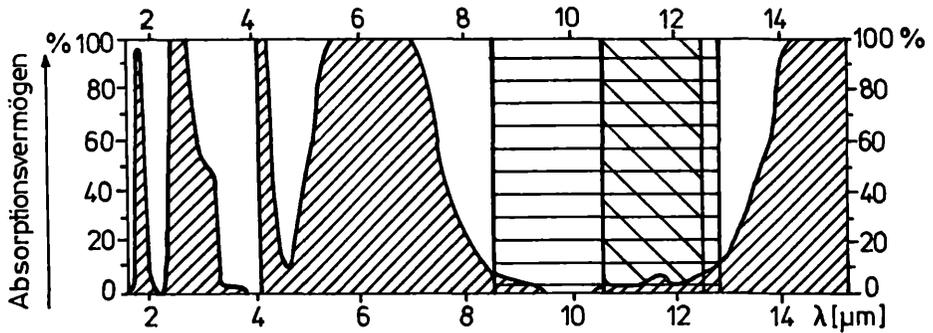


Abbildung 2

**Absorptionsvermögen der Atmosphäre für elektromagnetische Strahlung zwischen 2  $\mu\text{m}$  und 15  $\mu\text{m}$  (nach D. LORENZ 1973).**

Zugrunde gelegt ist eine 300 m mächtige Luftschicht in Nähe der Erdoberfläche mit einem Wasserdampfgehalt von  $9 \text{ g je m}^3$ . Die Kurve zeigt die Strahlungsfenster in den Spektralbereichen 2,0 bis 2,5  $\mu\text{m}$ , 3,4–4,2  $\mu\text{m}$ , 4,5–5,1  $\mu\text{m}$  und 8–13  $\mu\text{m}$ .

Schraffierte Bereiche: Aufnahmeintervalle häufig verwendeter Thermalabtaster.

*Absorption coefficients for electromagnetic radiation between 2  $\mu\text{m}$  and 15  $\mu\text{m}$  of a 300 m air layer close to the land surface with a water vapour content of  $9 \text{ g/m}^3$  (D. LORENZ 1973). The curve reveals radiation windows in the spectral ranges 2,0–2,5  $\mu\text{m}$ , 3,4–4,2  $\mu\text{m}$ , 4,5–5,1  $\mu\text{m}$  and 8–13  $\mu\text{m}$ .*

*Hatched spectral bands: channels of frequently used thermal-scanners.*

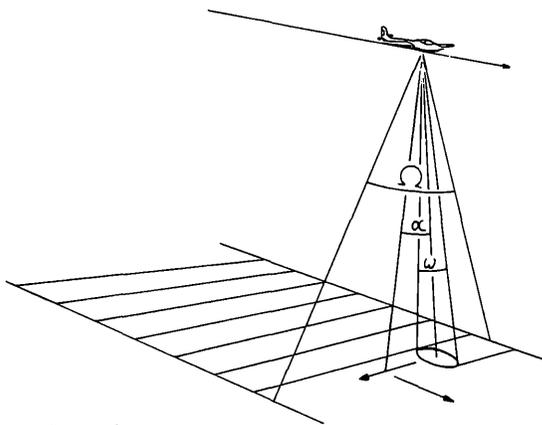


Abbildung 3

### Prinzip des Zeilenabtasters.

Bei optisch-mechanischen Abtastern wird die Aufnahme der Bildzeilen durch die Rotation eines Spiegels oder Prisma, der Zeilenvorschub durch die Bewegung der Trägerplattform erzeugt. In der Aufnahmegeometrie sind 3 Kenngrößen wesentlich.

Beobachtungswinkel  $\alpha$ : Der Winkel zwischen den Strahlen zum Nadir und zur Mitte des jeweils aufgenommenen Oberflächenelementes.

Abtastfeld  $\Omega$ : Winkel quer zur Flugrichtung, unter dem die vom Abtaster aufgenommene Fläche von der Flugbahn aus erscheint. Das Zweifache des maximalen Beobachtungswinkels.

Öffnungswinkel  $\omega$ : Ebene Winkelgröße zur Kennzeichnung des Raumwinkels, aus dem der Sensor zu einem bestimmten Zeitpunkt Strahlung empfängt. Er bestimmt zusammen mit der Flughöhe und dem Beobachtungswinkel  $\alpha$  die Größe des abgetasteten Elementes, d. h. die geometrische Auflösung der Aufnahme.

*Principle of the line-scanner. Opto-mechanical scanners use an oscillating or rotating mirror to scan at right angles to the space- or aircraft flight direction.*

*The following three factors are of special importance for the properties of the resulting image:  $\alpha$ : view angle,  $\Omega$ : field of view;  $\omega$ : instantaneous field of view.*

aufnahme gibt es noch nicht, werden aber zur Zeit entwickelt und wohl in einigen Jahren verfügbar sein.

Die am Sensor ankommende Strahlung gilt als Maß für die Temperatur der emittierenden Schicht, die bei festen Körpern und Flüssigkeiten in der Regel

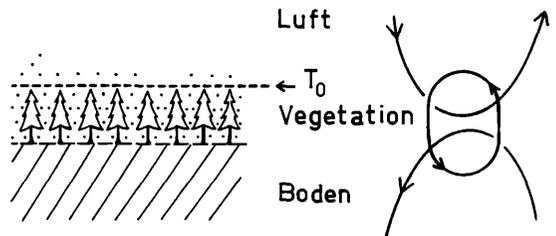


Abbildung 4

**Die Oberflächentemperatur als Grenzflächeneigenschaft im System der vertikalen Energieflüsse eines Vegetationsbestandes.**

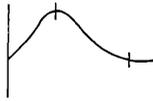
Die Thermalaufnahmen liefern die zweidimensionale Verteilung einer Zustandsgröße im dreidimensionalen System der Energie- und Massenflüsse.

*The surface temperature as a parameter in the system of vertical energy fluxes of a plant canopy. The thermal images represent a two-dimensional distribution of a controlling factor in a three-dimensional system of energy and mass fluxes.*

wenige Mikrometer beträgt (Hauttemperatur, Oberflächentemperatur). Damit erfaßt das Thermalbild aus einem dreidimensionalen Prozeßgefüge die zweidimensionale Verteilung einer Zustandsgröße an einer markanten Grenzfläche (Abb. 4). Der entscheidende Vorteil der Thermalbilder gegenüber fast allen klimatologischen und ökologischen Meßverfahren ist also die flächenhafte Information. Das zweidimensionale Muster muß hier nicht aus Einzelmessungen inter- und extrapoliert werden.

### 2.2 Aufnahmeplattformen

Als Aufnahmeplattformen für Thermalzeilenabtaster werden Flugzeuge und Satelliten eingesetzt. Für die zivile Anwendung verfügbare Zeilenabtaster wie der Bendix M<sup>2</sup>S-Scanner liefern bei einer Flughöhe von 1000 m eine Geländeauflösung von 2,5 m, bei 4000 m entsprechend 10 m (Abb. 3). Für die zivile Forschung verfügbare Thermalbilder von verschiedenen Satelliten haben eine Bildelementgröße im Nadir von 1 km (NOAA-AVHRR), 500 m (HCMM) und 120 m (Landsat-TM). Wie bei

Satellit	METEOSAT	NOAA-6,7,8,9	HCMM	LANDSAT-5
Sensor	Radiometer	AVHRR	HCMR	Thematic Mapper (TM)
Kanal	IR: 10,5-12,5 $\mu\text{m}$	Kan.4: 10,3-11,3 $\mu\text{m}$	IR: 10,5-12,5 $\mu\text{m}$	Kan.6: 10,4-12,5 $\mu\text{m}$
Räumliche Auflösung im Subsatellitenpunkt	5 km	1,1 km	0,6 km	120 m
Breite des Aufnahme-streifens	"full disc"	3000 km	718 km	185 km
Aufnahmezeiten (bezogen auf den Tagesgang der Oberflächentemperatur)				
Repetitionsrate	30 Min.	täglich	5-6 Tage	16 Tage

**Abbildung 5**

**Aufnahmeparameter wichtiger satellitengetragener Thermalabtaster (Größe eines Bildelementes im Nadir, Aufnahmezeitpunkte bezogen auf den Tagesgang der Oberflächentemperaturen, Repetitionsrate).**

*Characteristics of important space-borne thermal scanners. Subsatellite pixel size, passage time related to the daily temperature cycle, repetition rate.*

allen Fernerkundungssystemen muß man jeweils auf Kostengründen zwischen großer Flächenüberdeckung, hoher Wiederholungsrate aber schlechter räumlicher Auflösung oder einer besseren räumlichen Auflösung aber weniger Aufnahmetermen wählen (Abb. 5).

### 3. Probleme der Thermalbildauswertung

Um keine überzogenen Erwartungen und kein leichtfertiges Engagement für die Thermalbildauswertung zu wecken, muß man zunächst die Probleme der radiometrischen Oberflächentemperaturmessung ansprechen.

#### 3.1 Einfluß der Emissivität der Oberflächen

Der Schluß von der gemessenen Strahlung auf die Temperatur der strahlenden Oberfläche setzt die Gültigkeit des Planck'schen Strahlungsgesetzes, also einen sogenannten schwarzen Strahler voraus (vgl. Abb. 6). Alle natürlichen Oberflächen weichen von dieser Bedingung ab, haben also in den betrachteten Spektralbereichen einen Emissionskoeffizienten kleiner als 1 (vgl. Tab. 1). Dabei entspricht eine Verschiebung des Emissionskoeffizienten um 1% nach unten einer Abnahme des resultierenden Meßwertes von 0,2-0,6 K je nach der Aufnahmesituation (vgl. Abb. 7). Wir nennen die unter der Annahme eines schwarzen Strahlers bestimmten Temperaturwerte „Strahlungstemperaturen“, „Strahlungsäquivalenttemperaturen“, „Effektivtemperaturen“, „scheinbare Temperaturen“ oder ähnlich (engl.: apparent temperatures, radiation temperature etc.). Die Strahlungstemperaturen sind immer kleiner als die realen Oberflächentemperaturen. Die Effekte und die durch sie bedingten Inhomogenitäten in Thermalbildern können mehrere Grad betragen, insbesondere, wenn vegetationsbedeckte und andere Oberflächen in einem Bildausschnitt auftreten. Blanke Metalloberflächen haben eine Sonderstellung. Sie erscheinen wegen ihres geringen Emissionsvermögens in Thermalbildern immer als extrem kalt.

#### 3.2 Einfluß der Atmosphäre

Thermalaufnahmen erfolgen in Spektralbereichen, in denen die wolkenfreie Atmosphäre durchlässig ist, den sogenannten Strahlungsfenstern, zum Beispiel dem großen Wasserdampffenster zwischen 8 und 13  $\mu\text{m}$  (vgl. Abb. 2). Auch dort kommt es durch Wasserdampf,  $\text{CO}_2$ , Ozon und andere Spurengase zu einer gewissen Absorption und gleichzeitig zu einer Eigenemission der Atmosphäre (vgl. Abb. 8). Diese Absorption und Emission der Luft werden bestimmt durch die Absorptions- und die Emissionskoeffizienten der relevanten Gase. Nach dem Gesetz von Kirchhoff sind die Absorptions- und die Emissionskoeffizienten für jede einzelne Wellenlänge gleich. Bei der Absorption ist dieser Koeffizient anzuwenden (Abb. 9) auf das von unten kommende Strahlungsangebot, bei der Emission auf die der Lufttemperatur entsprechende Schwarzkörperstrahlung. Ist die Luft wärmer als die Landoberfläche, so wird die Strahlendichte durch den Einfluß der Atmosphäre erhöht. Ist die Luft kälter als die Landoberfläche, wird die Strahlendichte reduziert. Dies hat mehrere Konsequenzen:

- Der Meßwert am Sensor ist gegenüber der Strahlungstemperatur der betrachteten Oberfläche in Richtung auf die Lufttemperatur verschoben. An einem wolkenfreien Tag mit hohen Oberflächentemperaturen werden diese also in der Regel reduziert. In einer wolkenfreien Nacht können sich daraus Verschiebungen in beide Richtungen ergeben.

Die Differenzen zwischen den Temperaturen verschiedener Oberflächen werden durch diesen Effekt verkleinert wiedergegeben. Die realen Temperaturdifferenzen benachbarter Flächen sind größer, als die unkorrigierte Thermalaufnahme angibt.

Man kann diese Effekte anhand eines Temperatur-Feuchte-Profiles der Luft berechnen. Dabei ergibt sich unter anderem, daß in Abhängigkeit von der Höhenlage der betreffenden Landoberfläche Unterschiede im Korrekturwert von mehr als 1 Grad auftreten. Dabei spielen insbesondere die untersten 100 m mit der ja etwas wärmeren, wasserdampfreicher Luft eine ganz erhebliche Rolle.

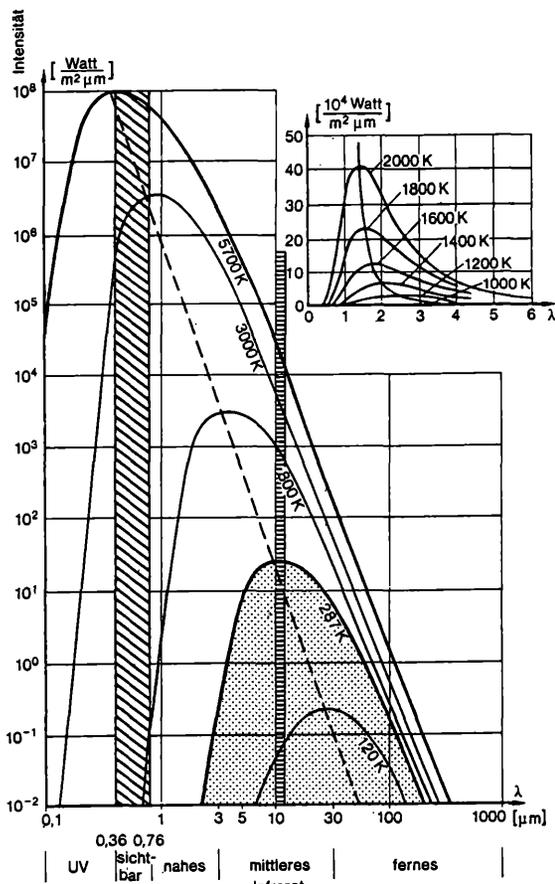


Abbildung 6

**Spektrale Verteilung der Schwarzkörperstrahlung bei verschiedenen Oberflächentemperaturen nach dem Planckschen Strahlungsgesetz in einem logarithmischen und in einem kartesischen Koordinatensystem.**

Die gerasterte Fläche beschreibt die Schwarzkörperemission bei 287 K (= 14°C). Die Verlagerung der Wellenlänge des Intensitätsmaximums ( $\lambda_{max}$ ) nach links mit wachsender Temperatur entspricht dem Wienschen Verschiebungsgesetz ( $\lambda_{max} \cdot T = 2880 \mu\text{m} \cdot \text{K}$ ).

Die Zunahme der Flächen unter den Kurven im äquidistanten Koordinatensystem (Gesamtausstrahlung) folgt dem Gesetz von Stefan-Boltzmann ( $E = \delta \cdot T^4$  mit  $\delta = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ ).

Die waagrecht schraffierte Säule markiert das Aufnahmeintervall wichtiger satellitengestützter Thermalabtaster.

*The spectrum of black body radiation at different surface temperatures (Planck's law). The spectral distribution is shown in a logarithmic and a cartesian coordinate system. The rastered area describes the total black body emission at 287 K (= 14°C).*

*According to Wien's displacement law the wavelength of the highest intensity shifts to the left when temperature increases ( $\lambda_{max} \cdot T = 2880 \mu\text{m} \cdot \text{K}$ ).*

*The areas under the curves in the aequidistant coordinate system (total emission) follow the Stefan-Boltzmann law ( $E = \delta \cdot T^4$ ).*

*The hatched column marks the channel of important spaceborne thermal scanners.*

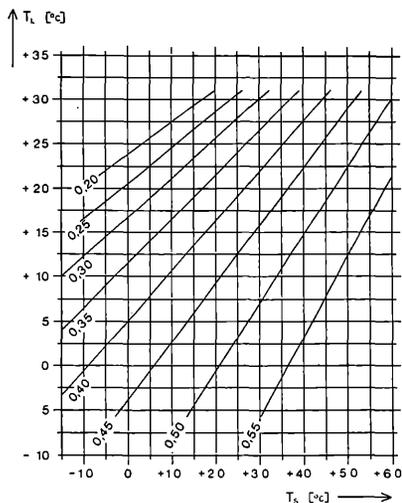


Abbildung 7

**Diagramm zur Schätzung des Einflusses des Emissionsvermögens auf die radiometrische Messung der Oberflächentemperaturen im Spektralbereich 8 - 14 μm unter Berücksichtigung der an der Oberfläche reflektierten atmosphärischen Gegenstrahlung.**

$T_s$  = gemessene Strahlungstemperatur

$T_L$  = Lufttemperatur

Isolinien: Differenz  $T - T_s$  von wahrer Oberflächentemperatur und Strahlungstemperatur bei dem Emissionsvermögen  $\epsilon = 0,99$ .

Quelle: D. LORENZ 1973

*The estimation of the influence of the emissivity on radiometric measurements of surface temperatures in the spectral band from 8 to 14 μm with consideration to atmospheric counter radiation reflected from the surface.*

$T_s$  = measured radiation temperature

$T_L$  = air temperature

Isolines: difference  $T - T_s$  between true surface temperature at  $\epsilon = 0,99$ .

(D. LORENZ 19073)

Die Korrektur des Einflusses der Atmosphäre in einer Thermalszene mit reliefiertem Gelände setzt also die Kenntnis des Zustandes der Atmosphäre (zum Beispiel aus einem Radiosonden-Profil) und die Kombination der Thermalaufnahme mit einem digitalen Geländemodell voraus. Über Wasser oder Wolken gibt es inzwischen Korrekturen des Einflusses der Atmosphäre auf der Basis der Aufnahme zweier oder mehrerer Spektralbereiche mit sogenannten Split-Window-Algorithmen.

Beide Effekte (Einfluß der Emissionskoeffizienten und Einfluß der Atmosphäre) müssen beachtet werden, wenn die Meßwerte quantitativ als Temperaturwerte benutzt werden sollen, aber auch, wenn „nur“ die relativen Temperaturunterschiede verschiedener Oberflächentypen (z. B. verschiedener Landnutzungsklassen) oder verschiedene hoch liegender Oberflächen betrachtet werden.

### 3.3 Beobachtungswinkel und relevante Oberflächen

Jede Landoberfläche setzt sich aus unterschiedlichen Oberflächenelementen mit verschiedener Temperatur zusammen. Je nach ihrer Beteiligung an der gemessenen Strahlung bekommt man verschiedene Temperaturmeßwerte. Dies ist einerseits bei der Auswertung von Mitteltemperaturen größerer Einheiten zu beachten. Es führt aber auch

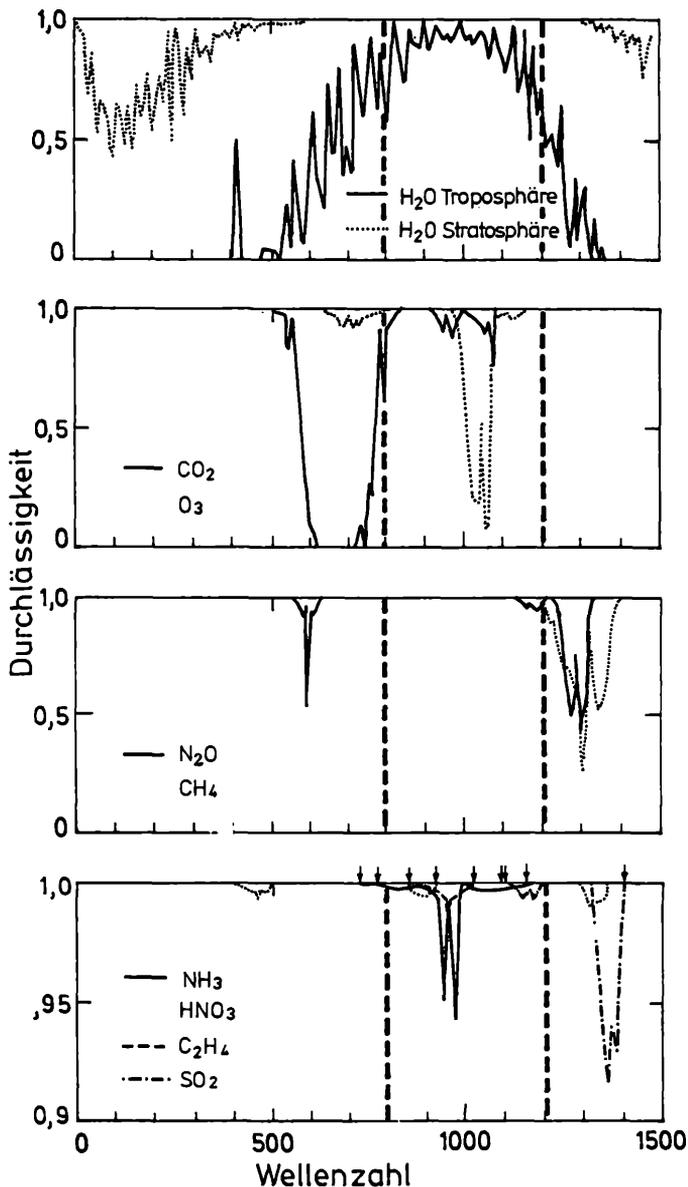


Abbildung 8

**Absorption verschiedener atmosphärischer Gase in ihrer derzeitigen Konzentration im Bereich des großen Wasserdampf Fensters.** Das Fenster wird durch eine starke CO<sub>2</sub>-Bande an der langwelligen Seite eingengt und durch eine O<sub>3</sub>-Bande zwischen 9 und 10 μm in zwei Teilfenster gegliedert. Wegen der Ozonbande werden Satellitenthermalbilder meist im Spektralbereich zwischen 11,5 und 12,5 μm aufgenommen. Bei Flugzeugaufnahmen wird dagegen das gesamte Fenster zwischen 8 und 13 μm genutzt.

*Absorption spectra of different atmospheric gases in their recent concentration in the realm of the big water vapour window. The window is narrowed and divided into two parts by a strong CO<sub>2</sub>-band on the longwave side and an O<sub>3</sub>-band between 9 and 10 μm. Because of the ozone-band, satellite thermal images are mostly taken in the spectral range between 11,5 and 12,5 μm. For air-borne mapping, however, the whole window between 8 and 13 μm is used.*

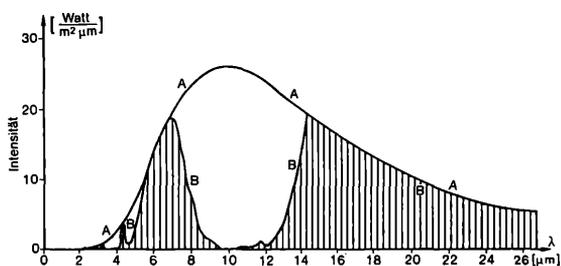


Abbildung 9

**oben: Schwarzkörperemission (Kurve A) und reale Emission einer 300 m mächtigen Luftschicht mit 9 g Wasserdampf je m<sup>3</sup> (Kurve B) bei 14°C, unten: Langwellige (terrestrische) Strahlungsströme zwischen einer Land- (bzw. Wasser-) Oberfläche, einer Wolkenunterseite und der von beiden eingeschlossenen Luftschicht.**

a) Black Body Radiation (curve A) and real emission of a 300 m thick air layer with a water vapour content of 9 g/m<sup>3</sup> (curve B) at 14°C.

b) Longwave (terrestrial) radiation fluxes between a land (water) surface, an underside of a cloud and the air layer in between.

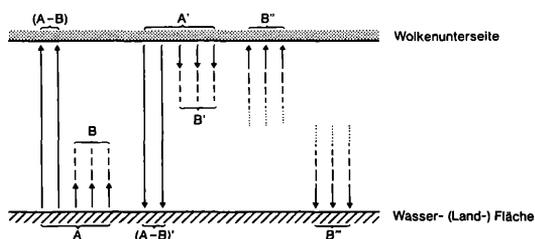


Tabelle 1

Emissionskoeffizienten verschiedener Oberflächenarten in Spektralbereichen zwischen 8 und 14  $\mu\text{m}$ .

(Zusammengestellt von A. BAUMGARTNER u. a. 1985)

*Emissivities of different surface types in the spectral band from 8 to 14  $\mu\text{m}$ . (compiled by A. BAUMGARTNER u. a. 1985)*

Oberflächenart	$\epsilon$	Oberflächenart	$\epsilon$
Wasser, rein, 1 °C	0.998	Quarz	0.712
Wasser, rein	0.993	Granit	0.815
Wasser, mit einer dünnen Schicht aus Petroleumöl bedeckt	0.972	Granit, rauhe Seite	0.898
Wasser, mit dünnem Polyäthylen bedeckt	0.961	Feldspat	0.870
Schnee, frisch gefallen	0.986	Basalt	0.904
Schnee, trocken, -2,5 °C	0.996	Basalt, rauhe Seite	0.934
Schnee, verschmutzt	0.969	Dolomit, polierte Seite	0.929
Schnee, naß, 0 °C	0.997	Dolomit, rauhe Seite	0.958
Eis	0.980	Quarzsand, grobkörnig	0.914
Sand, fein, trocken	0.949	Siliziumglasplatte	0.865
Sand, fein, naß	0.962	Glas	0.90
Lehm, sandig, trocken	0.954	Menschliche Haut	0.980
Lehm, sandig, naß	0.968	Beton, trocken	0.966
Torf, trocken	0.970	Zement, weiß	0.90
Torf, naß	0.983	Asphaltbelag	0.956
Gras, grün, dichte Strukt.	0.986	Ziegelsteine, rot	0.90
Gras, grün, dünne Strukt. auf feuchtem sandigen Lehm	0.975	Marmor, weiß	0.95
Nadeln von Bäumen	0.971	Schiefer, dunkel	0.90
Nadelwald	0.97	Dachziegel, roter Ton	0.90
Laubwald	0.95	Papier, weiß	0.90
Eichenholz	0.900	Gummi, hart	0.94
Sperrholzplatte	0.962	Aluminiumfolie	0.05
		Stahl, galvanisiert	0.25
		Messing, poliert	0.10
		Eisen, poliert	0.30

wegen der verschiedenen Beobachtungswinkel innerhalb einzelner Aufnahmen zu Inhomogenitäten. So kann bei einem Baumbestand in der Nacht (vgl. Abb. 10 a) bei Punkten im Nadir die Sicht bis zum Boden reichen und dort relativ warme Oberflächenelemente erfassen, während sie bei der Schrägaufsicht am Rand des Bildstreifens nur Information von den relativ kalten Baumwipfeln enthält. In einer Meßreihe, die A. KESSLER (1976, persönl. Mitt.) an der Wärmehaushaltsstation des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg in Hartheim mit Handradiometern ausführte, blieben solche Effekte allerdings unter 1 K. Sehr erheblich ist dies am Tage (Abb. 10 b). Bei entsprechender Aufnahmeconfiguration können auf einer Seite des Bildstreifens vorwiegend besonnte Pflanzenteile, auf der anderen bevorzugt beschattete Pflanzenteile erfaßt sein. D. LORENZ und A. BAUMGARTNER (1970) haben für einen solchen Fall in einem homogenen Fichtenbestand Meßwertunterschiede bis zu 4 K nachgewiesen.

Wir haben also, wenn wir nicht einzelne Blätter, sondern ganze Bestände nehmen, durchaus mit einer erheblichen Anisotropie (Richtungsabhängigkeit) der thermischen Emission zu rechnen.

Unter dem Stichpunkt „relevante Oberflächen“ verbirgt sich aber noch ein ganz anderer Problemkreis. Es ergeben sich nämlich ganz verschiedene Bezugsoberflächen, je nachdem ob man die vom System

gemessene thermische Strahlung, die in den oberen Halbraum gehende gesamte thermische Strahlung oder gar andere Wärmeflüsse, wie den fühlbaren und latenten Wärmestrom zwischen Bestand und Luft betrachtet. Daß sich für das gerichtete, in die Messung eingehende Strahlungsbündel und die Gesamtausstrahlung in den Halbraum verschiedene Bezugsoberflächen ergeben, zeigten ja bereits die Abbildungen 10 a und 10 b. Bei beiden aber ist die relevante Oberfläche immer ungefähr gleich der Projektion der erfaßten Oberflächenelemente auf eine horizontale Ebene. Im Bezug auf den Strahlungshaushalt wird ein Ausschnitt der Erdoberfläche durch mehr Struktur nur schwärzer aber nicht größer. Ganz anders ist dies beim fühlbaren und latenten Wärmestrom. Hier ist die Austauschfläche (Abb. 11) z. B. bei Wald um ein Vielfaches größer als bei Wiesen. Es ist die gesamte an den turbulenten Flüssen beteiligte Blattoberfläche. Diese variiert außerdem sehr stark mit den Wetterbedingungen und mit der Reliefform am Standort. Ich komme in Abschnitt 6.1 darauf zurück.

#### 4. Probleme der Thermalbildauswertung

Mit dem letzten Punkt sind wir schon von den Problemen der Aufnahme der Oberflächentemperaturen zu denen der Auswertung von Thermalbildern übergegangen. Man könnte sich dies einfach machen, wenn es bereits rechnerische Modelle des

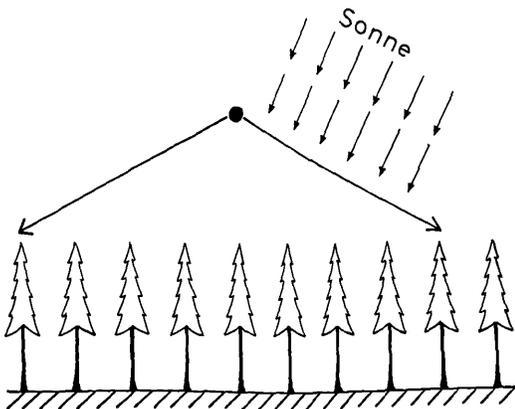
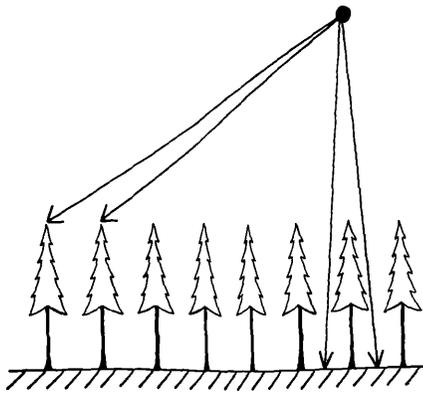


Abbildung 10

**Entstehung von Inhomogenitäten in Thermalbereichen durch verschiedene Beobachtungswinkel**

a) bei nadirnahen Blickrichtungen wird ein höherer Anteil tiefer Oberflächenteile erfasst als bei schräger Aufsicht. In klaren Nächten sind die unteren Zweige und der Boden in der Regel wärmer als die Baumwipfel.

b) Liegt ein Teil des aufgenommenen Bestandes im Mitlicht, ein anderer im Gegenlicht, so werden in unterschiedlichem Maße besonnte (warme) und beschattete (kalte) Pflanzenteile im Thermalbild repräsentiert.

*Inconsistencies in thermal images caused by different view angles.*

a) A view direction close to the nadir comprises a higher registration rate of lower surface aspects than a tilted view. In clear nights the lower branches and the ground usually are warmer than the treetops.

b) Is one side of a registered strip in light, another in shadow, plants will be represented in the thermal image in different degrees as warm and cold.

gesamten dreidimensionalen Systems des Energiehaushaltes beliebiger Landschaftsausschnitte gäbe (Abb. 12). In diesem Falle wäre die Thermalbildnutzung an diese Modelle geknüpft. Die Thermalbilder würden eine zentrale Rolle bei der Initialisierung der Modellläufe und bei der Kontrolle der Modellergebnisse spielen. Die inhaltlichen Fragen aber würde man immer an das Modell stellen. Das Problem ist nur, daß es solche Modelle nur in Ansätzen für relativ triviale Spezialfälle und meist nur eindimensional für die vertikalen Energieflüsse gibt. Deshalb muß man die Fragen in der Regel doch direkt an das Thermalbild richten und deshalb kann auch die Auswertung bisher immer nur Teilaspekte des gesamten Energiehaushaltes betreffen. Man wird also versuchen, das Muster der Strahlungstemperaturen zur Erschließung einzelner Prozesse und Faktoren zu verwenden. Unerlässlich ist

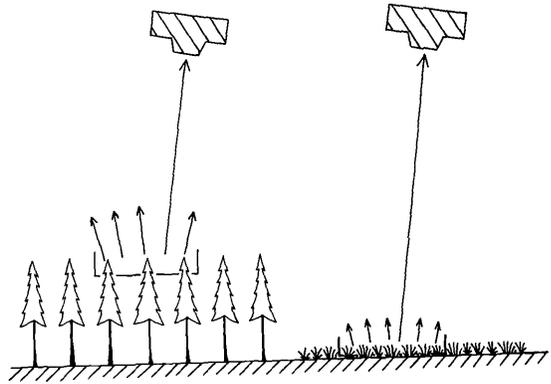


Abbildung 11

**Strahlungsrelevante Oberfläche und Bezugsfläche des fühlbaren und latenten Wärmestromes bei verschiedenen Vegetationstypen.**

Für die Strahlungsflüsse haben Wald und Wiese die gleiche Oberfläche. Sie ist so groß wie der entsprechende Ausschnitt einer horizontal durch den Bestand gelegten Ebene. Am fühlbaren und am latenten Wärmestrom dagegen nimmt die gesamte Blattfläche teil.

*Comparison of the surface relevant for the radiation fluxes with the reference area of the sensible and latent heat flux at different vegetation types. Forest and grassland have the same surface concerning radiation fluxes. It has the size of the according horizontal area. For the sensible and latent heat flux, however, the total leave area is responsible. It depends on the vegetation types.*

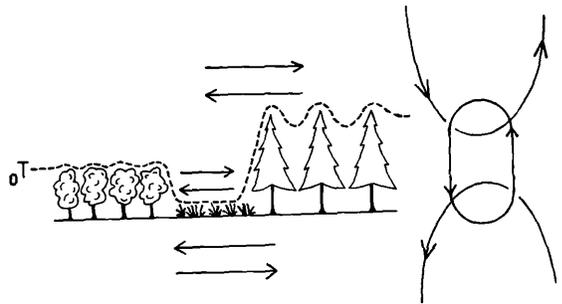


Abbildung 12

**Die Oberflächentemperatur als Grenzflächenparameter im dreidimensionalen System der Wärme- und Massenflüsse eines Landschaftsausschnittes.**

*The surface temperature pattern as two-dimensional boundary in the three-dimensional system of the heat and mass fluxes of a geomer.*

dabei aber, daß der Bearbeiter immer das komplexe Gesamtgefüge des Wärmehaushaltes im Bewußtsein behält (Abb. 13). Selbst wenn man die Grenzflächentemperatur nur als Gleichgewichtstemperatur der aktuellen Wärmeflüsse auffaßt, wenn man also alle Speichervorgänge, alle zeitlichen Gradienten, d. h. also jede Form eines Temperaturgedächtnis des Systems außer acht läßt, ist der Durchgriff von der Oberflächentemperatur auf einen der Faktoren nie trivial. Die Oberflächentemperatur als klimatologischer Parameter ist immer mehrdeutig. So kann eine in der Nacht kalt erscheinende Fläche vor einem Talausgang tiefe Oberflächentemperaturen haben, weil sie eine andere Landnutzung hat als ihre Umgebung, zum Beispiel Wiesen gegenüber offenen Ackerflächen, oder weil sich hier eine Bodeninversion und eine lokale Kaltluftpfütze gebildet haben oder weil aus dem Tal heraus kühle Luft zugeflossen ist.

Wärmehaushaltsgleichung

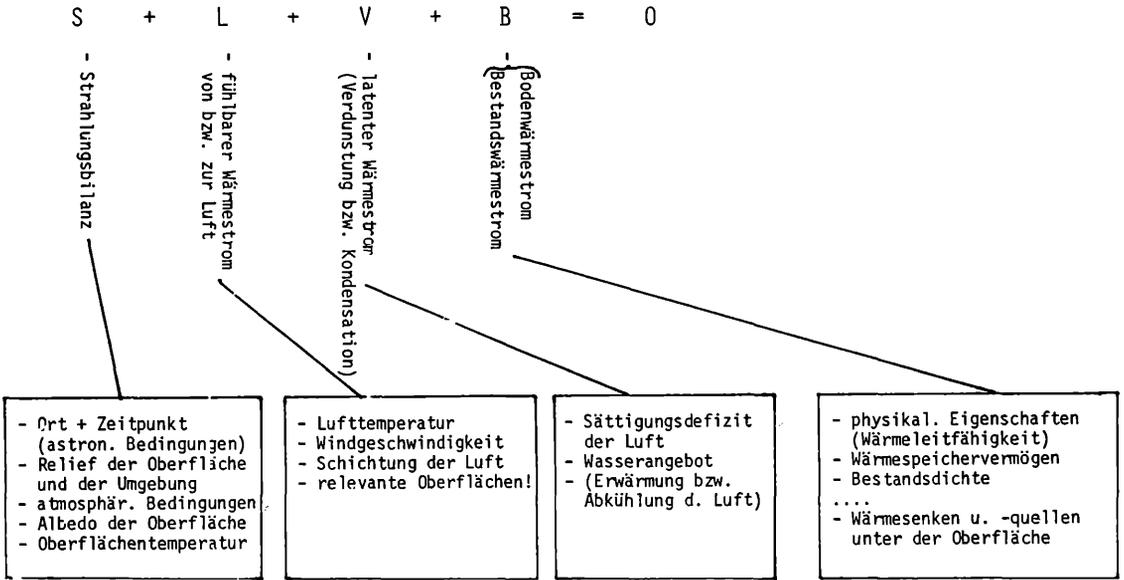


Abbildung 13

**Die Hauptglieder des Wärmehaushaltes und ihre Abhängigkeit von verschiedenen Einflussfaktoren.**

Jeder der Energieflüsse verändert die Oberflächentemperatur und ist seinerseits von der Oberflächentemperatur abhängig.

*The main constituents of the heat budget and their dependency on various influential factors. Each of the energy fluxes changes the surface temperature and is in turn dependent on the surface temperature.*

Warum muß man dies alles ausführlich vorstellen? In der Vieldeutigkeit der Muster der Oberflächentemperaturen liegt die Ursache, daß seit 1970 immer wieder Leute, die sich euphorisch der Thermalbildnutzung zuwandten, nach kurzer Zeit enttäuscht aufgaben. Man muß den mühsamen Weg gehen, sich von verschiedenen Seiten schrittweise an die Information des Thermalbildes heranzutasten. Dabei stellt man immer wieder fest, daß die Strahlungstemperaturen von Landoberflächen für sich alleine meist zu wenig sind, daß man immer etwas dazutun muß, wenn man aus dem Thermalbild Gewinn ziehen will. Das können die Daten anderer Fernerkundungssysteme sein. Es können auch vorliegende thematische Karten sein. Es kann aber

auch ganz einfach Erfahrung und Wissen über die topographische Situation sein. Bereits die Gegenüberstellung eines Profiles von Strahlungstemperaturen mit entsprechenden Profilen der Waldverteilung, der Siedlungsverteilung und des Reliefs (Abb. 14) erklärt einen Großteil der Temperaturunterschiede zwingend. Der effektivste Weg der Thermalbildauswertung wird deshalb in ihrer Kombination mit anderen Informationsschichten in digitalen geographischen Informationssystemen liegen. Dies erfordert als Arbeitsschritte

- die digitale rechnerische geometrische Entzerrung und Anpassung der Thermaldaten an das Koordinatensystem der topographischen Karten, zum

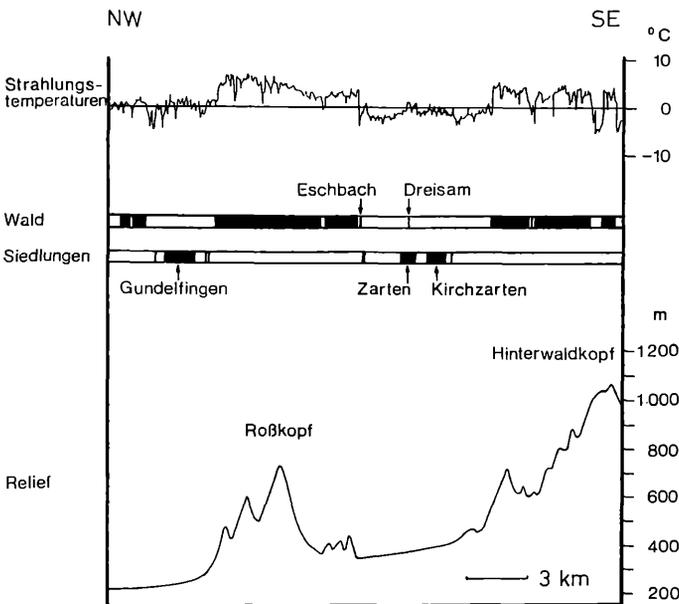
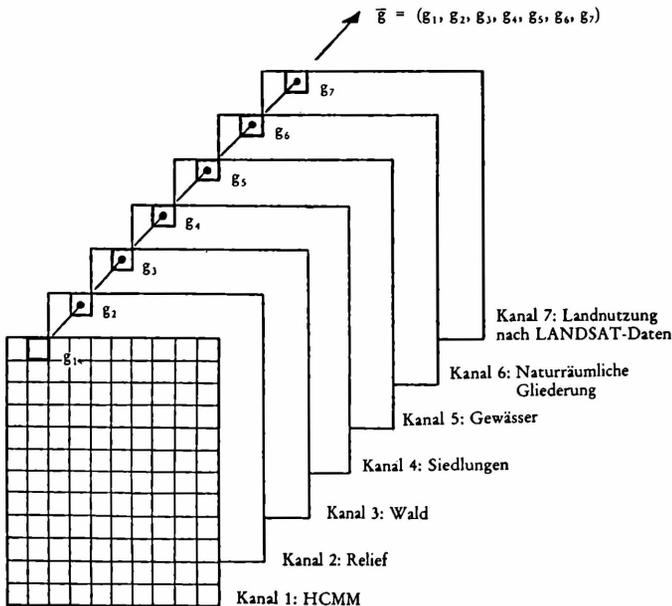


Abbildung 14

**Strahlungstemperaturen, Relief, Waldverteilung und Siedlungen auf einem NW-SE-Profil von der Oberrheinebene zum Schwarzwald nördlich von Freiburg.**

Strahlungstemperaturen nach der Flugzeugthermalaufnahme vom 2. 4. 1976, 4.40 MEZ. Radiation temperatures, relief, distribution of forest and built-up areas on a NW-SE profile from the Upper Rhine Valley to the Black Forest north of Freiburg. Radiation temperatures were taken by an air-borne thermal scanner on April, 2 1976, 4. 40 CET.



**Abbildung 15**

**Mehrkanalige Datenstruktur zur Kombination von Thermalaufnahmen mit ergänzender Information aus anderen FE-Aufnahmen und aus digitalisierten Karten.**

*Multi-channel data structure representing the combination of thermal images with supplementary information from other remote sensing recordings and digitalized maps.*

Beispiel an das Gauß-Krüger-System der amtlichen topographischen Karten der Bundesrepublik Deutschland,

- die gleichzeitige Digitalisierung einschlägiger Karten (Relief, Landnutzung, etc.),
- die Kombination dieser Datenebenen in mehrkanaligen Datenstrukturen (Abb. 15).

Wird dies durchgeführt, so hat man mehrere Ziele gleichzeitig erreicht:

- Das Thermalbild paßt auf einschlägige Karten und kann diesen photographisch überlagert werden. Alle in den Karten verfügbaren Informationen sind für visuelle Interpretation des thermischen Musters nutzbar.
- In einem Masking-Verfahren können beliebige „partiell homogene Teilmengen“ aus dem Thermalbild extrahiert werden, zum Beispiel das Temperaturmuster einzelner Landnutzungsklassen oder einzelner Höhenschichten.
- Alle Arten der digitalen Verknüpfung in statistischen oder deterministischen Modellen können auf die Daten angewendet werden.

## 5. Anwendungsbeispiele

### 5.1 Kaltluftseen, Kaltluftabflüsse, Oberflächentemperaturen der Wälder

In nächtlichen Satelliten-Thermalbildern erscheinen die Talsysteme aller Mittelgebirge als Bereiche kalter Oberflächen. Dies ist auch so, wenn das gesamte Areal mit Wald bedeckt ist wie beim Speyerbach im Pfälzer Wald (Abb. 16), wenn also nicht ein Unterschied der Landnutzung für die verschiedenen Temperaturen maßgebend sein kann. Es ist also möglich, mit nächtlichen Thermalbildern Areale zu kartieren, in denen sich Kaltluft sammelt, stagniert oder talauswärts weiterfließt. In zahlreichen Beispielen kann dabei auch aus dem Satelliten-thermalbild die Höhe des Kaltluftreservoirs des nächtlichen Bergwindes am Talaustritt abgeschätzt werden. Ähnliche Ergebnisse erzielten M. WINIGER u. a. (1982), die aus HCMM-Aufnahmen die Obergrenze von Inversionen in Alpentälern abgeleitet haben.

Durch die Überlagerung der Thermaldaten mit einem digitalen Geländemodell und einer digitalen

**Abbildung 16**

**Täler als Sammelgebiete von Kaltluft und als Reservoir des Bergwindes am Talaustritt.**

Talsystem des Speyerbaches im Pfälzer Wald in der Satelliten-Thermalaufnahme der Heat Capacity Mapping Mission (HCMM) vom 30. 5. 1978, 3,13 MEZ.

Hell: warme Waldoberflächen,  
Dunkel: kalte Waldoberflächen.

Höhenlinien aus der TÜK 200, Bl. 7110 Mannheim.

1 = Neustadt a. d. W.

2 = Speyerbachtal

*The valleys serve as a reservoir for cold air and as a tunnel for the mountain wind at the valley's mouth. Drainage system of the Speyerbach in the Pfälzer Wald, recorded with the space-borne thermal system of HCMM on June, 30 1978, 3,13 CET.*

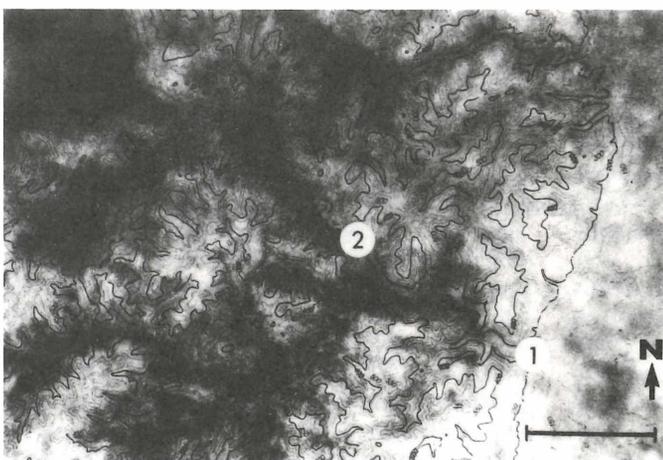
*bright: warm forest surfaces*

*dark: cold forest surfaces*

*contour lines of the TÜK 200, sheet 7110 Mannheim.*

*1 = Neustadt a. d. W.*

*2 = Speyerbach valley*



Landnutzungskarte können die Differenzen der Oberflächentemperaturen zum Teil quantifiziert werden. Dies erlaubt u. a. für Wälder bestimmter Höhenstufen im Schwarzwald die Erstellung einer Relativkarte der Strahlungsbilanz und dies wiederum die Ableitung einiger Thesen über die Filterwirkung der Wälder in unterschiedlicher Relief-situation bei nächtlichem Strahlungswetter. So ergab die Auswertung nächtlicher HCMM-Aufnahmen, daß bei den Wäldern des Schwarzwaldes zwischen 700 und 1000 m Höhe Temperaturunterschiede bis zu 10 K auftreten. Dabei sind die auf den Waldkämmen im Steilrelief der rhenanischen Abdachung liegenden Waldbestände warm und die auf den Hochflächen und in den Hochmulden auf der Ostseite des Schwarzwaldes stehenden Wälder kalt. Nach dem Planck'schen Gesetz entspricht bei Temperaturen von etwa 300 K die Temperaturdifferenz 1 K einem Unterschied in der langwelligen Ausstrahlung von  $5 \text{ W/m}^2$ . Die auf den Waldkämmen der tiefeitschnittenen Schwarzwaldwestseite stehenden Wälder haben also eine bis zu  $50 \text{ W/m}^2$  größere langwellige Ausstrahlung als die auf den Hochflächen der Ostseite. Bei gleicher Höhenlage, also etwa gleicher atmosphärischer Gegenstrahlung kann man deshalb das nächtliche Infrarot-Thermalbild als Relativkarte der Strahlungsbilanz lesen. Daraus ergibt sich zum Beispiel bei der HCMM-Aufnahme vom 30. 8. 1978 3,13 MEZ, daß die negative nächtliche Strahlungsbilanz der warmen Rheinseite des Schwarzwaldes um einen Betrag von  $50 \text{ W/m}^2$  größer war als die der kalten Wälder auf anderen Standorten, zum Beispiel  $-70 \text{ W/m}^2$  im Westen,  $-20 \text{ W/m}^2$  im Osten. Bei Abbildung 17 ist eine Temperaturdifferenz von  $4^\circ$  und dementsprechend ein Unterschied der langwelligen Bilanz von  $20 \text{ W/m}^2$  zu Grunde gelegt.

Versucht man diese Differenzierung aus dem Gesamtwärmehaushalt heraus zu verstehen, so kommt man zu dem Ergebnis, daß die warmen Wälder den größeren Energieverlust im Strahlungshaushalt im wesentlichen dadurch kompensieren, daß sie einen entsprechend großen Energiestrom durch Wärmeleitung aus der Luft heraus ziehen. Dies erscheint

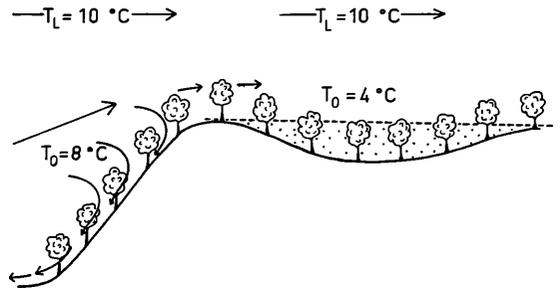


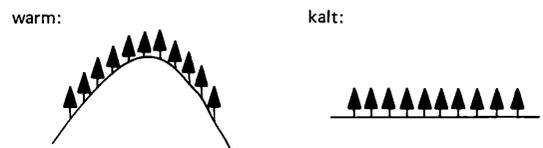
Abbildung 18

**Strömungsverhalten der Luft in Wäldern unterschiedlicher Lage im Relief in windschwachen Strahlungsnächten.**

Auf ebenen Flächen und in Hohlformen füllt die an den äußeren Blättern gekühlte Luft den Bestand und stagniert darin. Auf Kämmen und an Hängen fließt sie im Bestand ab. Hier wird ständig neu warme Luft der freien Atmosphäre in die turbulenten Wärme-flüsse einbezogen.

*Wind flow patterns in forests of varying positions in the relief during calm clear weather nights. The air which has been cooled by the outer leaves fills the forest on even surfaces and hollow forms and stagnates therein. On crests and steep slopes cooled air sinks to the valley floor and is permanently replaced by new air.*

zunächst paradox, denn der Temperaturunterschied zwischen den Waldoberflächen und der Lufttemperatur bei den warmen Wäldern ist wesentlich kleiner als bei den kalten. Möglich ist dies nur durch ein völlig anderes Strömungsverhalten der Luft im Bestand (vgl. Abb. 18). Auf den Hochflächen füllt die am Abend gebildete Kaltluft den Bestand auf und stagniert darin. Auf den Rücken und den steilen Hängen dagegen fließt die gekühlte Luft rasch ab und wird immer wieder durch noch nicht gekühlte Luft aus der freien Atmosphäre ersetzt. An den Waldkämmen wird also ein wesentliches größeres Luftvolumen in die Abkühlung einbezogen und das gesamte Laub- oder Nadelwerk des Bestandes nimmt Wärme aus der Luft auf. Auf den Hochflächen dagegen nehmen nach der ersten Abkühlungsphase am Abend nur noch die Baumspitzen Wärme aus der Luft auf. Das Temperaturmuster von Waldoberflächen in nächtlichen Satelliten-



Lufttemperatur	10°	10°
Oberflächentemperatur	8°	4°
Temperaturdifferenz	2°	6°
	1 : 3	

Langwellige Ausstrahlung (E)	360 W/m <sup>2</sup>	340 W/m <sup>2</sup>
atmosphärische Gegenstrahlung (A)	300 W/m <sup>2</sup>	300 W/m <sup>2</sup>
langwellige Bilanz (A - E)	-60 W/m <sup>2</sup>	-40 W/m <sup>2</sup>
Aufbrauch von Bestands-wärme (Speicher vom Tage her)	20 W/m <sup>2</sup>	20 W/m <sup>2</sup>
erforderlicher fühlbarer Wärmestrom von der Luft zum Bestand	40 W/m <sup>2</sup>	20 W/m <sup>2</sup>
	2 : 1	

Abbildung 17

**Vergleich der Temperaturen und der vertikalen Energieflüsse an Waldbeständen verschiedener Lage im Relief in windschwachen Strahlungsnächten (Beispiel).**  
*Comparison of temperatures and vertical energy fluxes at forest stands in different relief situations during calm clear nights.*

Thermalbildern offenbart also damit drei verschiedene Sachverhalte:

- Die am wärmsten erscheinenden Wälder liefern den größten Beitrag zur nächtlichen Abkühlung der Luft
- darüberhinaus liefern sie den größten Beitrag zur Produktion nächtlicher Frischluftströme an Talausgängen
- und schließlich werden diese Bestände am intensivsten von Luft durchströmt und haben damit in Strahlungsnächten die stärkste Filterwirkung.

Gleichzeitig ergeben sich neue Aspekte zu der alten Frage, ob Wälder oder Wiesen die Hauptproduzenten nächtlicher Bergwinde und damit von Frischluftströmungen an Talausgängen sind. Große Grünlandareale sind an Steilhängen des Schwarzwaldwestrandes ebenso kalt oder noch kälter als die Wälder der Hochflächen und damit viel kälter als die ihnen benachbarten Waldbestände. Aus ihnen fließt sicher besonders kalte Luft hangabwärts aus. Darum sind auch die Wiesen oberhalb von Weinbergen und Obstkulturen eine zusätzliche Frostgefahr. Aber: der Gesamtenergieumsatz ist bei den Wäldern wesentlich größer. Nur so können sie ihre hohe Oberflächentemperatur während der ganzen Nacht erhalten. Das Fazit kann nur lauten, daß Wälder im Einzugsbereich eines Tales zwar nicht ganz so kalte „Frischluft“ produzieren als benachbarte Wiesen, aber dafür in größeren Mengen.

## 5.2 Städtische Wärmeinsel, Nachbarschaftseffekte in Ballungsräumen

Es war zu erwarten und auch die erste Feststellung aller Bearbeiter von Satelliten-Thermalbildern, daß sich große Städte aufgrund der erhöhten Oberflächentemperaturen in Satelliten-Thermalbildern als „hot spots“ zeigen. Dabei ist zunächst offen, ob dieses Phänomen vor allem durch die besonderen physikalischen Eigenschaften städtischer Oberflächen oder durch die an die Städte gebundene Abwärmeproduktion hervorgerufen wird. Der Vergleich von Thermalbildern mit Karten der Abwärmeproduktion zeigt in der Tat eine hohe Übereinstimmung der Muster in beiden Abbildungen. Dies ist jedoch zunächst nur eine hohe räumliche Koinzidenz und braucht noch keine Kausalität zu beinhalten. Eine vorsichtige Abschätzung auf der Basis der in Abwärmekatastern genannten Energieströme unter der Voraussetzung, daß nur etwa 10% der Abwärme in Form erhöhter Ausstrahlung aufgeheizter Oberflächen abgegeben werde, kommt zu dem Ergebnis, daß von der immer mehrere Grad betragenden Erhöhung der Strahlungstemperaturen der Städte nur ca. 0,5° unmittelbar der Abwärme zuzuschreiben sind. Der bedeutendere Anteil muß wohl doch auf das spezifische Verhalten städtischer Oberflächen gegenüber den natürlichen Wärme-flüssen an Landoberflächen zurückgeführt werden. Eine Folge davon ist, daß die horizontale wechselseitige Beeinflussung benachbarter Areale unterschiedlicher Landnutzung in der Regel im Thermalbild nicht offen liegt. Auch wenn Einflüsse eines städtischen Areales auf die Oberflächentemperaturen des Umlandes einwirken, sind sie in der Regel durch stärkere andere Effekte so überlagert, daß sie durch die einfache Bildinterpretation nur bei günstigen Voraussetzungen erfaßt werden können. Ein

Beispiel für die Erfassung eines thermischen Schweißes einer Großstadt lieferte die HCMM-Aufnahme vom 30.5.1978, 3,13 MEZ im Raum Straßburg (Abb. 19). In dieser Nacht bestand bei stabiler Schichtung unter einer niedrig liegenden Inversion eine flache nordwestliche Strömung (Flughafen Straßburg-Entzheim: 320°; 2,0 m/sec). Das HCMM-Bild zeigt einen etwa 10 km langen warmen Schweiß auf der Leeseite von Straßburg.

In einer analytischen Arbeit zu dieser Frage hat W. HANZO (1984) ähnliche Lee-Effekte im Ruhrgebiet nachgewiesen. Er nutzte hierfür eine 3-kanalige Datenstruktur mit den folgenden Daten-ebenen:

- HCMM-Szene vom 30. 8. 1979, 14,44 MEZ (Tag-Infrarot)
- HCMM-Szene vom 16. 9. 1979, 4,00 MEZ (Nacht-Infrarot)
- digitalisierte Karte der Verwaltungseinheiten (Gemeinden) mit der zugehörigen Arealstatistik der Landnutzungsklassen und Oberflächenarten nach 44 Merkmalen.

W. HANZO stellte die mittleren Strahlungstemperaturen der Gemeinden den Flächenanteilen der verschiedenen Landnutzungsklassen gegenüber und schöpfte mit einer Regressionsanalyse den Einfluß der Landnutzung innerhalb einer Gemeinde auf die Strahlungstemperatur dieser Gemeinde ab. Die verbleibenden Residuen zeigen deutlich die leewärtige Verschiebung der Gesamtwärmeinsel des Ruhrgebietes, insbesondere zur Zeit der Tagaufnahme am 30.8.1979 (Abb. 20). Bei einem frischen SO-Wind (Wetteramt Essen: 150°; 3,0 m/sec) ergaben sich auf der N- und NW-Seite des Ruhrgebietes positive Residuen von etwa 1 K (Hamm +0,7 K, Karl 1,0 K, Hünxe 1,4 K etc). Negative Residuen dominieren die südlichen Bereiche (Dortmund -0,1 K, Essen -0,4 K, Hagen -1,3 K etc). Im Vergleich mit den Schätzwerten der Regression sind Gemeinden der Leeseite bis zu 1,5 K wärmer, die der Luvseite bis zu 0,5 K kälter.

## 5.3 Synthetische Karten der Wärmebelastung

Neue Ansätze der Biometeorologie und Bioklimatologie arbeiten anstelle der klassischen Schätzgrößen für Wärmebelastung oder Kältestreß des Menschen (Äquivalenttemperatur, Abkühlungsgröße etc.) mit Modellen des Gesamtwärmehaushalts des Menschen (G. JENDRITZKY u.a. 1977, P. HÖPPE 1984). Die Aufgabe, auf der Basis solcher Modelle die von der Regionalplanung dringend erwünschten Karten der Wärmebelastung zu erstellen, gliedert sich in mehrere Arbeitsschritte (G. JENDRITZKY 1984). Zunächst war das Modell soweit zu vereinfachen, daß es allein mit den Routinemeßdaten der Stationen des synoptischen Netzes alle Wärme-flüsse parametrisiert. Somit konnte an den 68 Stationen der Bundesrepublik Deutschland für einen langen Zeitraum (z. B. für die 30-jährige Normalperiode) für jeden Monat des Jahres die Zahl der Tage bestimmt werden, an denen ein Durchschnittsmittteleuropäer („Klimamichel“) unter Wärme- oder Kältestreß leidet. Bei einem ersten Versuch, von diesen Stützstellen aus mit Hilfe eines stochastischen Regressionsmodelles Bioklimakarten ganzer Bundesländer zu entwickeln hat G. JENDRITZKY (1984) als Variablen die geographischen Koordi-

**Abbildung 19**

**Thermischer Schweif im Lee einer Großstadt. Agglomeration und Umland von Straßburg in der Satelliten-Thermalaufnahme der Heat Capacity Mapping Mission (HCMM) vom 30. 5. 1978, 3,13 MEZ.**

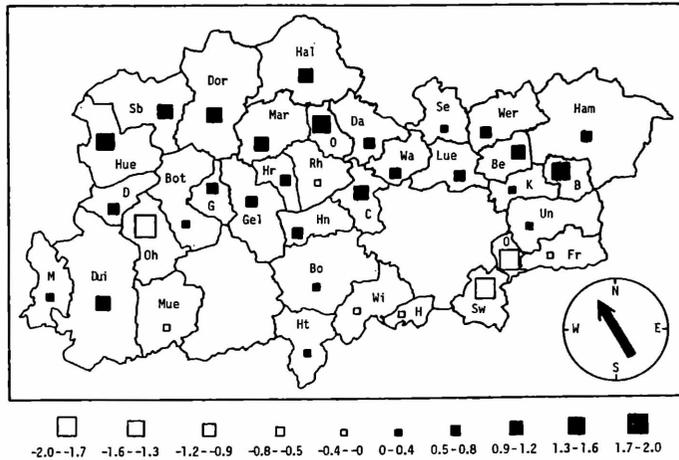
Hell: warme Oberflächen,  
Dunkel: kalte Oberflächen.  
Siedlungsmuster aus der TÜK 200, Bl. 7910, Freiburg-Nord.

*Lee side thermal tail of a big city. The agglomeration of Strasbourg and its surrounding area recorded in the HCMM thermal image from June, 30, 1978, 3,13 CET.*

*bright: warm surfaces*

*dark: cold surfaces*

*settlement patterns taken from TÜK 200, sheet 7910, Freiburg Nord.*



**Abbildung 20**

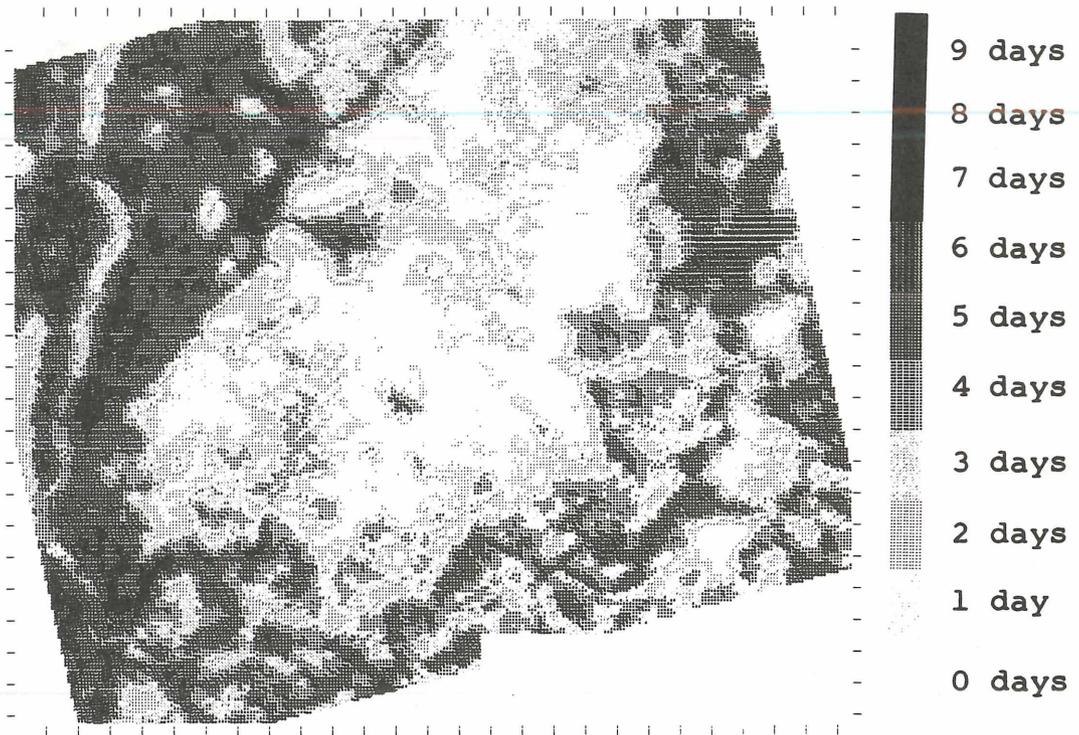
**Thermische Lee-Effekte einer großen Agglomeration. Residuen einer Regression der Strahlungstemperaturen nach den Anteilen verschiedener Landnutzungsklassen in den einzelnen Gemeinden des Ruhrgebietes.**

Nach dem Abschöpfen des Eigenanteiles der Kommunen an der Varianz der Strahlungstemperatur durch eine lineare Regression ergibt sich eine Zweiteilung des Ruhrgebietes in eine kühlere Luv- und eine wärmere Leeseite.

*Thermal shadow-effect of a big agglomeration. Residuals of a regression analysis. Predicted variables: average brightness temperatures of administrative spatial units. Predictors: statistics of land use and surface properties. The residuals show the agglomeration effect with a cooler wind-exposed and a warmer leeside area.*

naten, die Seehöhe und einen Reliefparameter als Hilfsgrößen verwendet. Das Ergebnis ist bereits eine wesentliche Verbesserung der Becker'schen Bioklimakarte. Aufgrund der Variablen für das stochastische Modell können jedoch bioklimatisch wesentliche Raumparameter wie die Art der Landnutzung und die Lage in lokalen Zirkulationssystemen in diesen Karten keinen Niederschlag finden. Deshalb ist es auch nicht sinnvoll, diese Karten über den Maßstab 1 : 500 000 hinaus zu vergrößern. Um diese Probleme zu überwinden, hat G. MENZ (1986) zunächst für den sommerlichen Wärmestreß

ein neues stochastisches Modell entwickelt. Dabei werden als Variablen neben den Reliefeigenschaften die Landnutzung einer etwa 3 x 3 km<sup>2</sup> großen Umgebung und die Oberflächentemperaturen herangezogen. Er hat zu diesem Zweck ein geographisches Informationssystem aus einer Tag-Infrarot-Aufnahme des HCMM, einem digitalen Geländemodell und einer Landnutzungskarte nach Landsat-Daten gebildet. Mit Hilfe dieser Informationen wird die für die einzelnen Synop-Stationen berechnete Schwülebelastung regionalisiert. Die als Beispiel erstellte Karte der Wärmebelastung des Raumes



**Abbildung 21**

**Karte der Wärmebelastung (Tage mit Hitzestress im Juli) für den Raum Freiburg-Basel** (nach G. MENZ 1986).  
*Map of heat-stress of the area Freiburg-Basel (heat-stress days in July) according to G. MENZ (1986).*

Basel-Freiburg für den Monat Juli (Abb. 21) zeigt, daß dieses Verfahren eine hohe räumliche Differenzierung und die Erstellung von Bioklimakarten etwa bis zum Maßstab 1 : 50 000 erlauben wird. Gleichzeitig ist diese Arbeit ein Beispiel dafür, wie aus der Kombination von Satelliten-Thermalbildern, anderen Fernerkundungsdaten und digitalisierten Karten in geographischen Informationssystemen neue Daten erzeugt und neue Aufgaben gelöst werden können.

## 6. Diskussion

*Wo liegen die Grenzen der räumlichen Auflösung der Satelliten-Thermalbilder? Was ist machbar, was sinnvoll?*

- Es geht darum, sehr kleine Energiemengen genau zu messen. Man kann beim jeweiligen Stand der Technik von der radiometrischen und der geometrischen Auflösung immer nur die eine auf Kosten der anderen verbessern. Wollte man Thermalbilder als Basis topographischer oder physischer Karten eines Raumes verwenden, so entspräche eine Bildelementgröße von 500 m etwa einem Kartenmaßstab 1 : 2000 000. Bei den typischen Anwendungen von Thermalbildern ist es aber sinnvoll, der thermischen Information der einzelnen Bildelemente die komplexere topographische Situation an dieser Stelle und in seiner Umgebung gegenüberzustellen. Bei HCMM mit 500 m Auflösung hat sich deshalb der Maßstab 1 : 200 000 als angemessen erwiesen, bei LANDSAT-TM mit 120 m Auflösung werden 1 : 100 000 und 1 : 50 000 angemessen sein.

Für die Satelliten der 90-er Jahre wird eine räumliche Auflösung im thermischen Kanal von 50 bzw.

30 m angestrebt. Es ist aber festzuhalten, daß auch die vorliegenden Satelliten-Thermaldaten mit ihrer größeren Auflösung bisher nur zu einem kleinen Bruchteil in Wert gesetzt wurden.

*Inwieweit werden geologische und bodenkundliche Informationen aus Thermalbildern gewonnen?*

- Geologische und pedologische Muster können in Thermalbildern reproduziert werden. Aber - sofern Vegetation vorhanden ist, d. h. in allen humiden Gebieten - nur dadurch, daß geologische Einheiten auch Reliefeinheiten bilden (Oberrheinebene, Schwarzwald etc.), daß geologische und pedologische Einheiten auch Landnutzungseinheiten sind, oder daß das unterschiedliche Bodenwasserangebot den latenten Wärmestrom limitiert. Dann erzeugen Reliefform und Vegetationstyp die entsprechenden Muster im Thermalbild. Die dabei zwischen den Vegetationsoberflächen und der Atmosphäre auftretenden Energieflüsse sind um Größenordnungen höher als die vertikalen Energieflüsse im Boden. Ein direkter Durchgriff von Oberflächentemperaturen (insbesondere von den Tagesamplituden) auf physiko-chemische Substrateigenschaften ist nur in ariden Gebieten möglich.

*Welche Rolle spielt der ja oft zufällige Zeitpunkt der Aufnahme für die Auswertung? Wie erreicht man eine Repräsentanz für größere Zeiträume und die Aussage überzeitliche Abläufe z. B. über die saisonalen Veränderungen?*

- Thermalaufnahmen sind zeitpunktbezogene und zeitpunktabhängige Daten, repräsentativ in jedem Falle nur für wolkenfreies Hochdruckwetter. Die Bezeichnung „Schönwetterverfahren“ gilt hier noch mehr als bei den Aufnahmen mit Multispektral-

abtastern im solaren Spektrum. Denn ein Landnutzungsmuster, das an einem wolkenfreien Tag aufgenommen wurde, ist am darauffolgenden Regentag noch genauso vorhanden, das thermische Muster ist dann völlig anders.

Andererseits gilt aber: Thermalbilder von wind-schwachen Strahlungstagen zeigen die Extremfälle der horizontalen Differenzierung der Oberflächentemperaturen. Das andere Extrem ist eine rein vertikale, den adiabatischen Gradienten entsprechende Differenzierung auch der Oberflächentemperaturen an windreichen Tagen mit geschlossener, tief liegender Wolkendecke. Die Frage ist deshalb, wie stark sich verschiedene bei Strahlungswetter aufgenommene Thermalbilder unterscheiden. Hier gibt es eine überraschend hohe Persistenz der Muster. Die Temperaturdifferenzen benachbarter Flächen sind von der Windgeschwindigkeit abhängig, aber die Muster erstaunlich stabil, solange man die entsprechenden Tageszeiten vergleicht. Daraus ergibt sich der Optimismus, daß auch wenige im Jahres- und Tagesgang gut platzierte Aufnahmen einen großen Beitrag zur klimatologischen Betrachtung des Raumes liefern.

*Ein wesentlicher Zweig der Anwendung der Oberflächentemperaturen ist ihre Nutzung als Parameter in Modellen wie bei der synthetischen Erzeugung von phänologischen Karten und von Karten des Wärmestresses. Welche relative Bedeutung hat dabei die Oberflächentemperatur neben den anderen Indikatoren wie dem Relief und der Landnutzung?*

- Da es sich hierbei um statistische Regressionsmodelle handelt, kann man sich an die rechnerisch bestimmte Varianzaufklärung für die einzelnen Prädiktoren halten. Bei der Karte der Wuchsklimastufen wird in der Tat ein sehr hoher Anteil der Varianz (ca. 90%) bereits durch das digitale Höhenmodell abgeschöpft. Dabei könnte jedoch eine Rolle spielen, daß auch die Originalkarte von Ellenberg und Schreiber aus Profilmessfahrten mit Hilfe der Isohypsen intrapoliert wurde.

Generell gibt es eine Redundanz von Relief, Landnutzung und Thermalbildern. Jeder der drei Faktoren liefert eine höhere Varianzaufklärung wenn er vor den beiden anderen in die Regression einbezogen wird.

*Landschaftsökologische Arbeiten vollziehen sich heute meist in größeren Maßstäben als die hier angegebene Schwelle von 1 : 50 000. Wie weit könnte man sinnvoll vergrößern?*

- Die Grenze ist zur Zeit gegeben durch die 120 m-Bildelemente von Landsat-TM, die bei sorgfältiger geometrischer Bearbeitung etwa mit 50 m Zielgenauigkeit der Karte zugeordnet werden können, also Flächenstücke von gut 1 ha mit einer Lageunsicherheit von etwa 0,5 ha. Das kann auf jeden Maßstab vergrößern. Ob es bei Arbeiten im Maßstab 1 : 10 000 oder 1 : 5 000 eine Hilfe ist, möchte ich bezweifeln.

*Für die größeren Maßstäbe würden sich aber doch die Flugzeug-Thermalaufnahmen anbieten?*

- Sicher. Gängige Systeme (Bendix M<sup>2</sup>S oder Daedalus) liefern bei 4 000 m Flughöhe 10 m-Pixel und bei 1 000 m Flughöhe 2,5 m-Pixel. Allerdings ist die geometrische Korrektur und die Überlagerung mit der Karte bei Flugzeugscanneraufnahmen in

reliefiertem Gelände bis heute ein sehr schwieriges Problem, weil das Flugzeug im Gegensatz zum Satelliten durch seine Eigenbewegungen von Scanzeile zu Scanzeile eine Anpassung der Algorithmen erfordern würde.

*Flugzeugthermalaufnahmen haben auch noch den großen Nachteil, daß die Richtungsabhängigkeit der Daten wesentlich stärker zum Tragen kommt. Dies spricht für die Satellitendaten, auch wenn ihre Auflösung schlechter ist.*

*Zu Aussagen in größeren Maßstäben könnte man vielleicht kommen, wenn man zum Beispiel mit den vorhandenen LANDSAT-TM-Aufnahmen Temperaturmodelle entwickelt, die man dann auf höher aufgelöste Datensätze übertragen kann.*

- Das ist ein wichtiger Punkt. Es gibt gerade mit den Daten von LANDSAT-TM solche Versuche. Man kann auf der Basis der 120 m-Auflösung eine Regression zwischen den Thermaldaten und den Aufnahmen in den anderen sechs Kanälen durchführen und die so gewonnene Gleichung dann auf die in 30 m Auflösung vorliegenden Daten dieser sechs Kanäle anwenden, um so ein synthetisches Temperaturbild mit 30 m Auflösung zu erzeugen. Wir versuchen so etwas gerade in einer Zulassungsarbeit mit NOAA-Daten und einem geographischen Informationssystem auf ha-Basis.

*Müßte nicht wie bei Straßburg auch bei allen großen Kraftwerken, Raffinerien u. s. w. die Abwärme im Thermalbild sichtbar werden?*

- Bei der Erfassung des thermischen Schweißes von Straßburg war die meteorologische Situation besonders günstig: stabile Schichtung der bodennahen Luft, schwache Strömung aus NNW. Einzelne Kraftwerke und Anlagen der chemischen Industrie erscheinen als „hot spots“. Eine Temperaturerhöhung der Umgebung habe ich bisher noch nicht beobachtet.

*Kann man aus den Unterschieden der Luftbewegung auf Hochflächen und auf Hanglagen in Strahlungsnächten eine Begründung ableiten für die Häufung von Waldschäden im Schwarzwald in Hanglagen über 800 m?*

- Das ist eine These, die ich vertrete. Man muß aber sehen, daß für die Konzentration der Schäden in diesem Bereich viele Gründe eine Rolle spielen:  
- die Häufung von Inversionen mit ihrer Schadstoffkonzentration in diesen Höhenlagen,  
- der Naßeintrag bei W-Lagen mit Staubewölkung am Schwarzwald etc..

Wenn überhaupt, so kann diese These nur einen Teilaspekt bei der Klärung der Schadensverteilung abdecken.

## 7. Zusammenfassung

SCHLÜSSELWÖRTER: Infrarot - Thermalbild - Oberflächentemperaturen - Wärmehaushalt - Kaltluftseen städtische Wärmeinsel Wärmebelastung

ZUSAMMENFASSUNG: Wegen der großen räumlichen und zeitlichen Differenzierung der Luft-, Bestands- und Bodentemperaturen ist bei landschaftsökologischen Arbeiten eine bessere Erfassung der dreidimensionalen Temperaturfelder und

ihrer zeitlichen Verläufe erforderlich. Die Aufnahme der Oberflächentemperaturen mit Thermalab-tastern ist dabei ein wichtiges Hilfsmittel. Erforderlich ist in jedem Fall die Abschätzung der Fehlerquellen und Inhomogenitäten der Aufnahmen (unterschiedliches Emissionsvermögen, Einfluß der Atmosphäre, verschiedene Blickwinkel etc.). Wegen der Mehrdeutigkeit der Oberflächentemperaturen als klimatische Parameter sind in der Regel ergänzende Datenebenen (Geländemodell, Landnutzungs-muster) und Geländemessungen an Einzel-punkten für die Auswertung erforderlich.

Als Anwendungsbeispiele werden die Kartierung von nächtlichen Kaltluftansammlungen, die Frage der nächtlichen Frischluftproduktion verschiedener Vegetationsbestände in reliefiertem Gelände, die Erfassung der städtischen Wärmeinsel und des thermischen Einflusses großer Städte auf ihr Um-land, sowie die Ableitung von Karten der Wärme-belastung aus Fernerkundungs-Daten behandelt.

## Summary

### *Thermal images and surface temperatures*

**KEY WORDS:** infrared – thermal image – surface temperature – heat balance – radiative cooling – urban heat island – heat stress

**SUMMARY:** It is necessary that ecological studies find a better method to get hold of threedimensional temperature fields because of the complex thermal behaviour of air, vegetation and soil.

For this, temperature mapping by thermal scanners is a helpfull method. For the use of thermal images it is necessary to discuss the validity and homo-geneity of the data (influences of emissivity, atmo-sphere, view angles etc.).

Supplementary levels of data (digital terrain model, land-use patterns) and field measurements must be added to be able to interpret the recorded surface temperatures. Without those data, surface tempera-tures are ambiguous and invalid to function as climatic parameters.

To show some examples of application, in this report the build-up of cold air layers at night, the effect to different vegetation types on the nightly slope and mountain winds, the mapping of the urban heat island, the thermal influence of big cities on their environment, and the production of a map of heat stress from remote sensing data are considered.

## 8. Literatur

BAUMGARTNER, A., MAYER, H. & NOACK, E.-M. (1985):

Thermalkartierungen in bayerischen Großstädten. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, Materialien Nr. 39.

GEIGER, R. (1960):

Das Klima der bodennahen Luftschicht. – Ein Lehrbuch der Mikroklimatologie, 4. Aufl., Braunschweig.

GOSSMANN, H. (1977):

Radiometrische Oberflächentemperaturenmessung und Thermalbild als Hilfsmittel der Umweltforschung. – In: Geogr. Rdsch., 7, Nr. 3, S. 101–112.

GOSSMANN, H. (1984):

Satelliten-Thermalbilder. Ein neues Hilfsmittel für die Umweltforschung? – In: Fernerkundung in Raumordnung und Städtebau, H. 16.

GOSSMANN, H. (1982):

Grundlegende Probleme der Thermalbildauswertung über Landflächen. – In: Akad. f. Raumforschung und Landes-planung, Beiträge 62, S. 5–22.

HANZO, W. (1984):

Die Oberflächentemperaturen administrativer Raumein-heiten im Ruhrgebiet und ihre Verknüpfung mit Statistiken und Karten der Landnutzung. – Zulassungsarbeit f. das Staatsexamen (unveröffentlicht). Universität Freiburg, Institut f. Physische Geographie.

HÖPPE, P. (1984):

Die Energiebilanz des Menschen. – Wiss. Mitt. Meteor. Inst. Univ. München Nr. 49.

JENDRITZKY, G. (1984):

Bioklimatic maps of heat stress of man. – In: KIRCH-HOFER, W., OHMURA, A. & WANNER, H. (Hrsg.): Applied Climatology, Züricher Geogr. Schriften, 14, S. 101–102.

JENDRITZKY, G., SÖNNING, W. & SWANTES, H.-J. (1979):

Ein objektives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt- und Landschafts-planung („Klima-Michel-Modell“). – In: Beiträge Akad. Raumforschung und Landesplanung, Bd. 28, Hannover.

LAUSCHER, F. (1953):

Die Rolle mikroklimatischer Faktoren beim Massenauf-treten von Waldschädlingen. – In: Wetter und Leben, 5, S. 195–200.

LORENZ, D. (1973):

Die radiometrische Messung der Boden- und Wasser-oberflächentemperatur und ihre Anwendung insbeson-dere auf dem Gebiet der Meteorologie. – In: Ztschr. f. Geophysik, Bd. 39, S. 627–701.

LORENZ, D. & BAUMGARTNER, A. (1970):

Oberflächentemperatur und Transmission infraroter Stah-lung in einem Fichtenwald. – Archiv Meteor., Geophys., Bioklimat., Ser. B., 18, S. 305–324.

MENZ, G. & JENDRITZKY, G. (1986):

Deduction of human-bioklimatological maps by means of remote sensing data and a digital terrain model using a correlation approach. – In: Freiburger Geogr. Hefte, 26, S. 132–144.

WINIGER, M., NEJEDLY, G. & SCHWAB, Z. (1982):  
Satellitendaten in der Geländeklimatologie. – Resultate des Projektes HCMM. Geographica Helvetica 4, S. 199–207.

### **Anschrift des Autors:**

Prof. Dr. H. Goßmann  
Institut für Physische Geographie  
der Universität Freiburg  
Werderring 4  
78 Freiburg

# Möglichkeiten der Waldschadenserken- nung mit multispektralen Scannerdaten

Gerd Landauer

## Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland

Die neuartigen Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland haben im vergangenen Jahrzehnt ein Ausmaß angenommen, das entscheidende und vor allem schnelle Maßnahmen zum Aufhalten und möglichst zur Umkehr des Prozesses des Vitalitätsabbaus unserer Wälder fordert. Nach der Waldschadensstatistik von 1987 sind 52,3% der Wälder in der Bundesrepublik in den Schadstufen 1-4 (s. Bild 1) erkrankt, davon Fichte mit 49%, Kiefer 49,6%, Tanne 79%, Buche 65,7% und Eiche mit 64,5%. Allein in Schadstufe 1 befinden sich 35% der Bäume, ein kleiner Hoffnungsschimmer, da sich seit 1985 in einigen, begrenzten Gebieten eine Revitalisierung der Bäume von Schadstufe 1 zurück in die Stufe 0 vollzogen hat.

### WALDSCHADENSSTUFEN

- SCHADSTUFE 0 S0 : GESUND, 0-10% NADELVERLUST
- SCHADSTUFE 1 S1 : LEICHT GESCHÄDIGT, 11-25% NADELVERLUST
- SCHADSTUFE 2 S2 : MITTEL GESCHÄDIGT, 26-60% NADELVERLUST
- SCHADSTUFE 3 S3 : STARK GESCHÄDIGT, UEBER 60% NADELVERLUST

Abbildung 1

Die Aktionskette, die Möglichkeiten zu Gegenmaßnahmen aufzeigen soll, führt über die Erkennung und Klassifizierung der Schäden („Schadenserhebung“) und die Ursachenforschung (s. Bild 2). Die Fernerkundung kann naturgemäß mehr zum Komplex der Schadenserhebung beitragen. Die Ursachenforschung beschäftigt sich mit einem breit gespannten Bogen von abiotischen (anthropogenen) und biotischen potentiellen Schadfaktoren. Wenn auch ein komplexes Zusammenspiel mehrerer Faktoren anzunehmen ist, erscheint die maßgebliche Mitwirkung der atmosphärischen Schadgase SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und O<sub>3</sub> am Schadensverhalten als gesichert.

## Fernerkundung hilft Waldschäden erkennen

Vom Flugzeug aus oder gar vom Satelliten ist – verglichen mit den bisher üblichen Stichprobenverfahren vom Boden – eine großflächige Erfassung des Zustands der Wälder möglich. Flugzeug und Satellit haben Sensoren an Bord, die Teile der reflektierten Sonnenstrahlung aufnehmen. Dabei zeigt es sich, daß die von der Obergrenze des Waldes, also im wesentlichen von den Baumkronen reflektierten Anteile des Sonnenlichts unterschiedliche Werte zeigen können, und zwar je nach Schadstufe des Baumes, Baumart und Spektralbereich der reflektierten Strahlung. Dieser umfaßt nicht nur den sichtbaren Bereich (0,4 – 0,7 µm), sondern auch

das nahe Infrarot und – je nach Art des Sensors – Anteile des mittleren Infrarots (s. Bild 3). Allgemein läßt sich sagen, daß der Ansatz, mit Fernerkundungsmethoden von oben her den Vitalitätszustand eines Baumes zu erfassen, sicher der richtige ist, da ja auch das Sonnenlicht von oben einfällt und die Nutzung der Sonnenenergie zur Chlorophyllproduktion in den Blattorganen im oberen Baumbereich am intensivsten ist, beziehungsweise Störungen dort relativ am stärksten bemerkbar werden.

Der „klassischen“, seit 1-2 Jahrzehnten bereits erprobten Falschfarben-Infrarotfilm Technik steht die multispektrale Scannertechnik gegenüber (s. Bild 4). Diese ist noch weitestgehend Forschungsgegenstand und steht im Mittelpunkt des vom Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) geförderten Projekts „Untersuchung und Kartierung von Waldschäden mit Methoden der Fernerkundung“, in dem die DFVLR partnerschaftlich mit Forstwissenschaftlern von 5 Universitätsinstituten und mit 2 Firmen zusammenarbeitet. Das Gesamtsystem „Fernerkundung Waldschäden“ ist in der Tabelle der Abbildung 5 in seinen wesentlichen Teilen skizziert.

## Multispektrale Datenakquisition

Wie der Name dieser Technik andeutet, kommen Sensoren zum Einsatz, die die reflektierte Sonnenstrahlung in einer Vielzahl einzelner, diskreter Spektralkanäle empfangen und weiter verarbeiten. So befindet sich z. B. bei der DFVLR ein 11 Kanal-Scanner der Fa. Daedalus, U.S.A., an Bord eines Forschungsflugzeuges vom Typ Do 228 (s. Bild 6) in Einsatz. Das Prinzip des Scanners besagt, daß mechanisch mit periodisch schwenkbarem Spiegel

Multispektraler Scanner AADS 1268 ATM

Spektrale Kanäle (in µm)	Sichtbar	0.42 – 0.45 0.45 – 0.52 1) 0.52 – 0.60 1) 0.605 – 0.625 1) 0.63 – 0.69 1)
	Nahes IR	0.695 – 0.75 0.76 – 0.90 0.91 – 1.05
	Mittleres IR	1.55 – 1.75 1) 2.08 – 2.35 1)
	Therm. IR	8.5 – 13

1) Satelliten-Kompatible Kanäle

Abbildung 7

Spektralkanäle des Multispektral-Scanners AADS 1268.

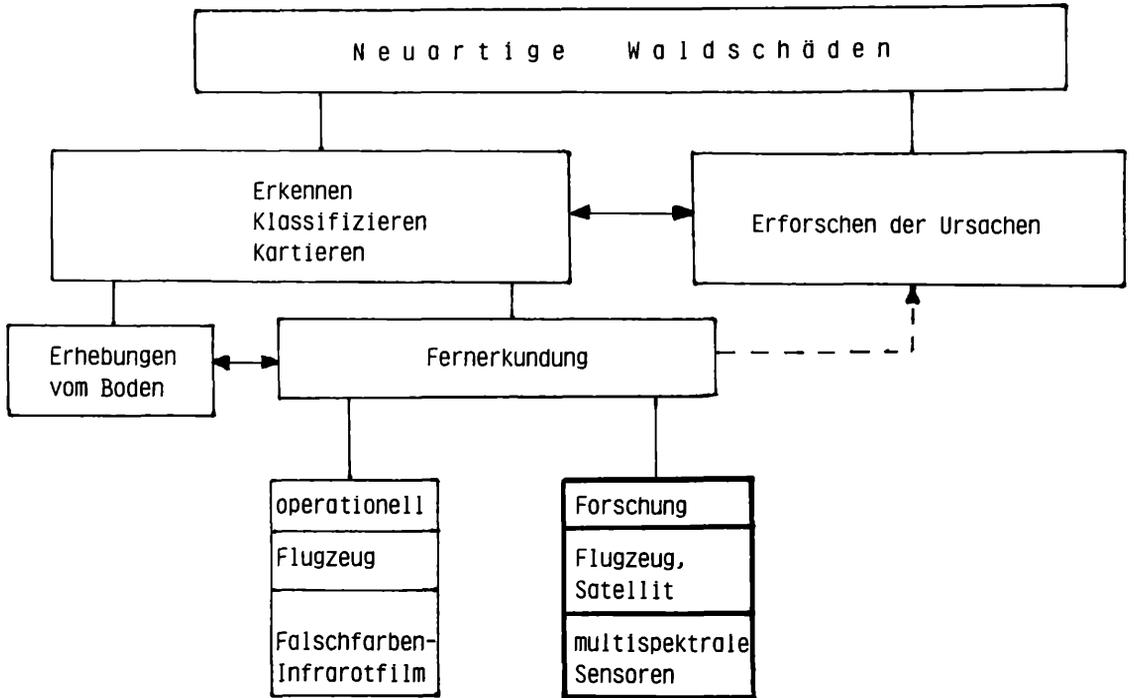


Abbildung 2

Multispektrale Sensoren helfen vor allem beim Erkennen, Klassifizieren und Kartieren der Waldschäden.

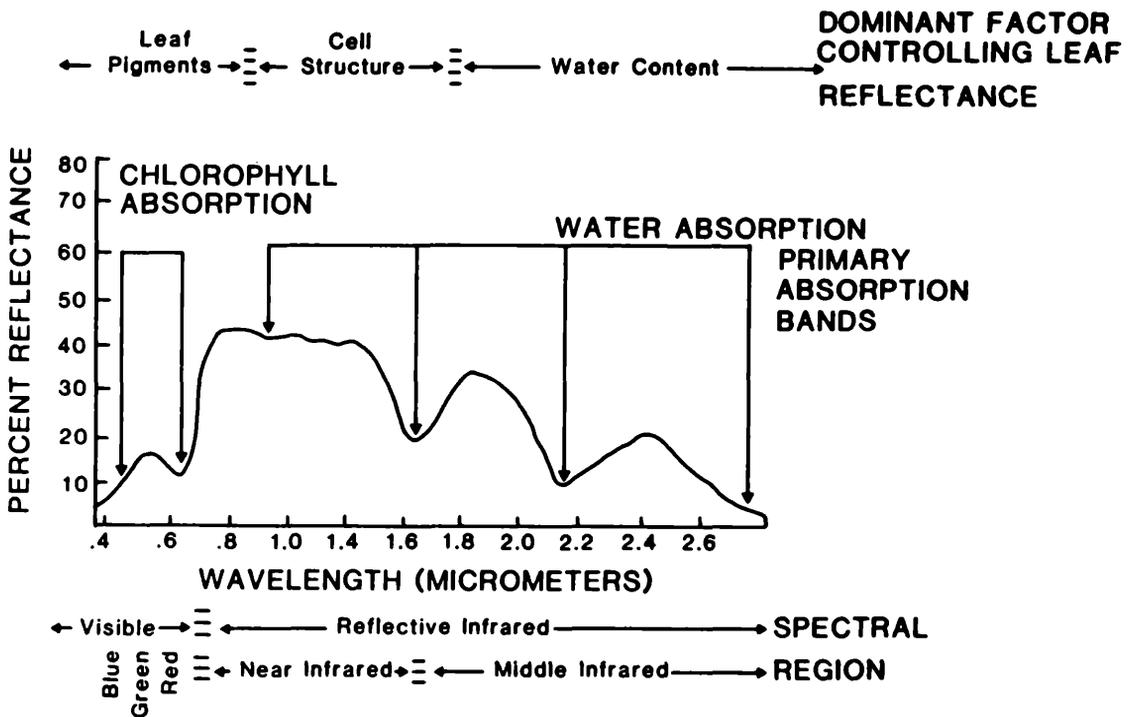


Abbildung 3

Spektraler Verlauf der Reflexion des Sonnenlichts bei Vegetation (nach Hoffer/Johannsen 1969).

Untersuchung und Kartierung von Waldschäden

mit Methoden der Fernerkundung

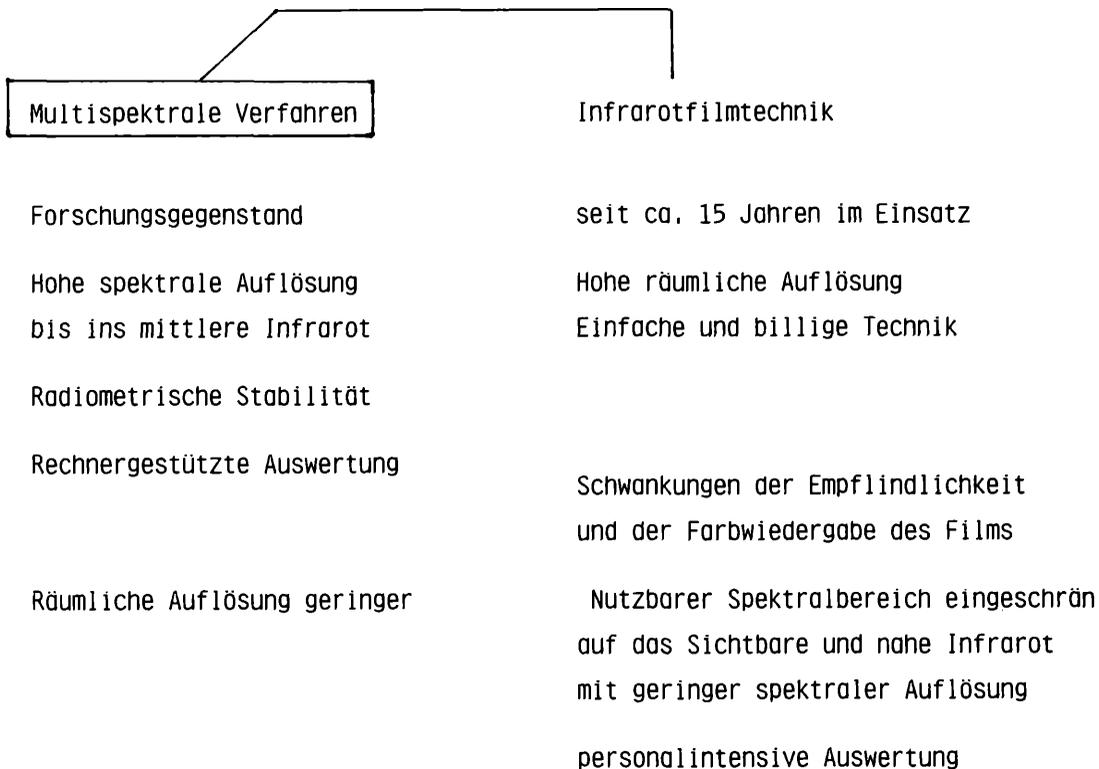


Abbildung 4

Gegenüberstellung der Eigenschaften der Multispektraltechnik und der Infrarottechnik.

	Flugzeug	Satellit
Datenakquisition ↓	11-Kanal-Multispektralscanner Daedalus AADS 1268 Photogrammetrische Kamera Zeiss RMK A 30/23	LANDSAT-TM-Daten (30x30 m <sup>2</sup> ) SPOT-Daten
Bilddaten- verarbeitung ↓	Digitales Bildauswertesystem DIBIAS	Digitales Bildauswertesystem MIDAS
Bildinterpretation	Klassifizierung nach Schad- stufen bei Fichte Zeitvergleiche der Schaden- entwicklung Definition charakteristischer Signaturen bei Kiefer, Buche, Eiche	Waldbestandsklassifizierung  Waldbestandskarten (Laub-, Nadel-, Mischwald, Nadelwald Fichte, Kiefer, junge Aufforstungen)

Abbildung 5

Schema des Gesamtsystems „Fernerkundung Waldschäden“.



**Abbildung 6**  
 Forschungsflugzeug Dornier 228-101 für Erkundungstechnik

### Hauptdaten von Erkundungssatelliten

Satellit	Sensor	Start	Bahn	Flug- höhe (km)	Wieder- hol- rate	Ka- näle	Bezeich- nung	Wellenlänge (nm)	Bild- element im Nadir (m)	Streifen- breite (km)
Landsat 5	MSS Multi- Spectral Scanner	1984	polar sonnen- synchr.	705	16 Tage	4	grün rot nahes IR nahes IR	500-600 600-700 700-800 800-1100	79	185
Landsat 5	TM Thematic Mapper	1984	polar sonnen- synchr.	705	16 Tage	7	grün rot rot nahes IR nahes IR mittl. IR thermisch	450-520 520-600 630-690 760-900 1550-1750 2080-2350 10400-12500	30	185
SPOT	HRV Haute Résolu- tion Visible	1986	polar sonnen- synchr.	832	1-4 Tage variabel	4	grün rot nahes IR panchrom.	500-590 610-680 790-890 510-730	20 20 20 10	117 oder 3x60

**Abbildung 8**

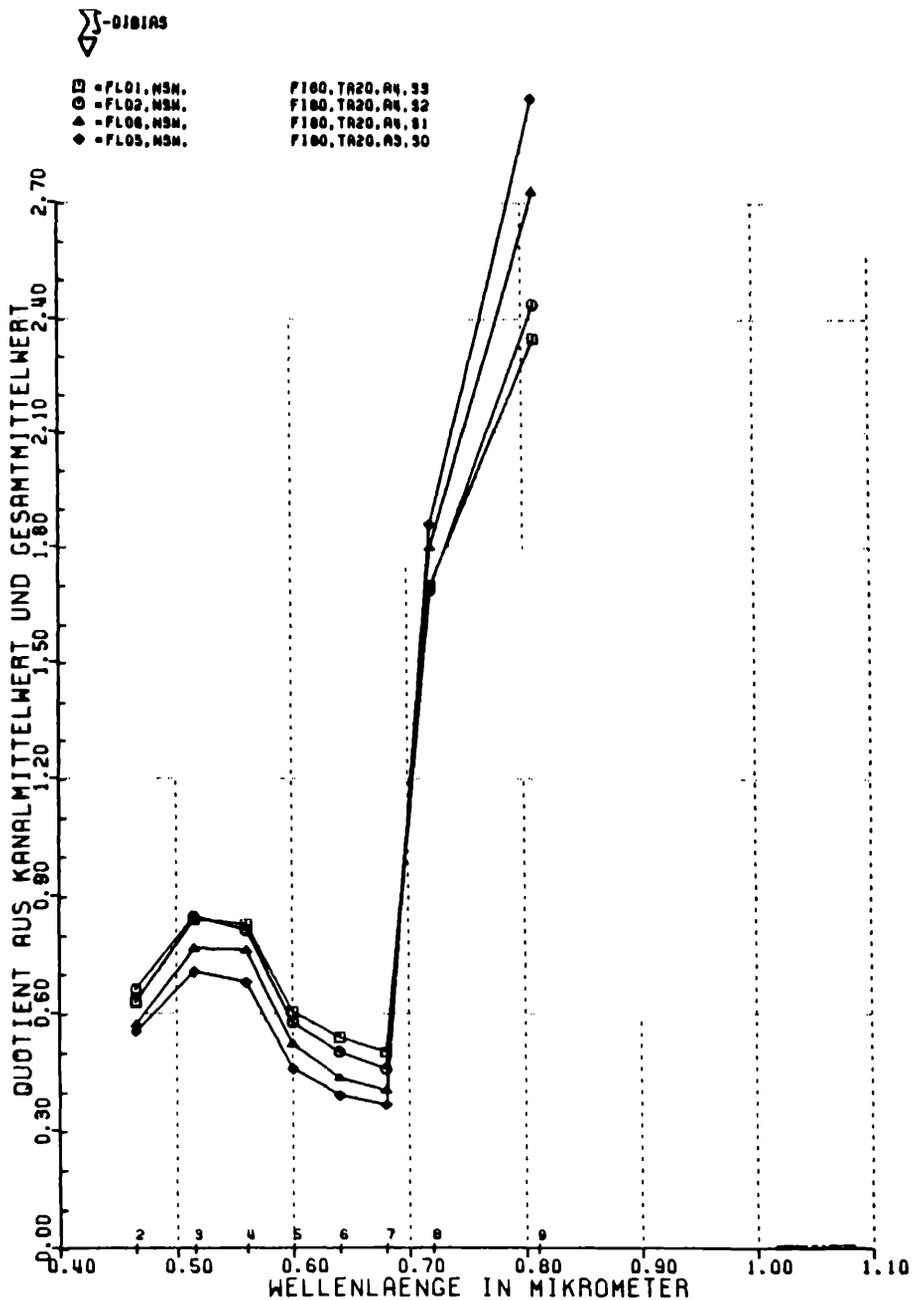


Abbildung 9

Typischer Signaturverlauf für Fichte. Unter Signatur versteht man das Reflexionsverhalten in Abhängigkeit von der Wellenlänge (s. auch Bild 3). Die Meßwerte wurden in den Spektralkanälen 2 bis 9 des Daedalus-Scanners gemessen. (Bearbeitet durch G. Kritikos, DFVLR)

- ◇ Schadstufe 0
- △ 1
- 2
- 3

(oder auch elektronisch) das überflogene Gebiet „abgescannt“ wird. Die reflektierte Strahlung wird simultan in den 11 Spektralkanälen digital auf Band aufgezeichnet, wobei 5 Kanäle im Sichtbaren, 3 im nahen Infrarot, 2 im mittleren und einer im thermischen Infrarot liegen (s. Bild 7). Analog befinden sich an Bord von Fernerkundungssatelliten multispektrale Scanner. So werden von der DFVLR im Rahmen der Waldschadensuntersuchungen Daten des TM-Sensors des LANDSAT/5 verwendet (s. Bild 8).

### Bilddatenverarbeitung und Klassifizierung

Die digital gespeicherten Scannerdaten werden anschließend im Labor der digitalen Bildverarbeitung zugeführt. Man erkennt, daß bis hin zur forstwissenschaftlichen Bildinterpretation und -bewertung alle Verarbeitungsschritte digital und autonom sind und damit (weitgehend) möglichen menschlichen Fehlerquellen entzogen sind.

Vorläufig sind die Ergebnisse bei der Beurteilung von Fichtenbeständen am vielversprechendsten: eine Klassifizierung nach den üblichen 4 Schad-



**Abbildung 10 a**

**Klassifiziertes Scannerbild - Testgebiet „Fichtelgebirge“**

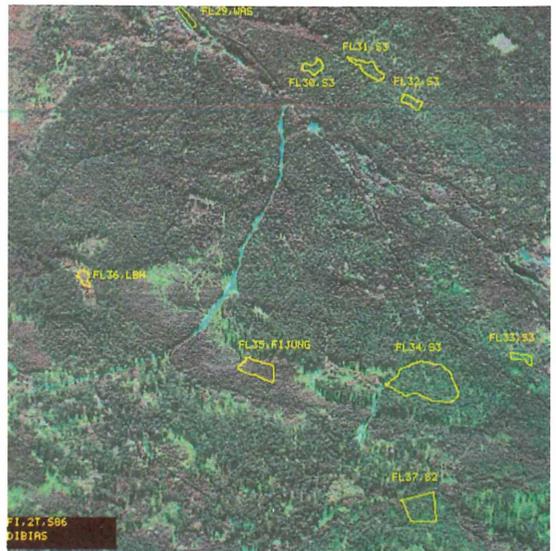
Flughöhe:	2000 m
Aufnahmedatum:	26.09.1986
dunkelgrün:	Fichte So - 1
hellgrün:	Fichte S2
rot:	Fichte S3
schwarz:	Schatten
gelb:	Laubholz
violett:	Kiefer
hellblau:	Nichtwaldfläche

stufen ist möglich (s. Bild 9, 10). Kiefer, Buche und Eiche sind dagegen in ihrem Signaturverhalten noch nicht eindeutig zu interpretieren. Die Untersuchungen werden in 10 verschiedenen Testgebieten in der Bundesrepublik Deutschland durchgeführt. Wie schon erwähnt, handelt es sich noch um Forschungsarbeiten, die zur Zeit kleinere, überschaubare Waldgebiete erfassen und noch keinen Beitrag zur jährlichen Waldschadensinventur des Bundes oder der Länder liefern. Jedoch ist das Ziel der Untersuchungen, die multispektrale Scannertechnik im Hinblick auf einen zukünftigen operationellen Einsatz weiterzuentwickeln.

**Kartierung mit Satellitendaten**

LANDSAT-TM Daten gestatten eine räumliche Auflösung auf der Erdoberfläche von 30 x 30 m<sup>2</sup>. Einzelbaumauflösung ist also nicht möglich und damit sind der Verwendung von digitalen Satellitendaten für die Waldschadenserkenung vorläufig noch Grenzen gesetzt. (Auch SPOT-Daten ermöglichen keine Einzelbaumauflösung.)

Der große Vorteil des Einsatzes von Satelliten liegt in der großräumigen Datenerfassung. Nur wenige Satellitenüberflüge auf der jeweils geforderten Bahn - gute Wetterbedingungen vorausgesetzt - würden theoretisch genügen, um das gesamte Bundesgebiet zu erfassen und hinsichtlich der Waldschäden zu kartieren. Diese heute noch als „Fernziel“ zu sehende Möglichkeit ist eine große Verlockung, intensiv die mit dem Satelliteneinsatz verbundenen Probleme zu bearbeiten. Schon heute kann man mit Satellitendaten Waldbestandsklassifizierung mit den Gruppen Nadel-



**Abbildung 10 b**

**Originalscannerbild mit einigen eingezeichneten Trainingsgebieten - Testgebiet „Fichtelgebirge“**

Flughöhe:	2000 m
Aufnahmedatum:	26.09.1986
Kanäle:	7, 5, 3 (R, G, B).

(Bearbeitet von R. Müller, H. H. Voß, DFVLR)

wald (Fichte, Kiefer), Laubwald, Mischwald und junge Aufforstungen durchführen (s. Bild 11).

**Ausblick**

Die Entwicklung der multispektralen Fernerkundungsmethoden zur Waldschadenserkenung ist noch im vollen Gange. Man kann aber jetzt schon erkennen, daß die digitale und rechnergestützte Waldschadenserfassung aus der Luft und vom Satelliten in Zukunft von hoher Bedeutung sein wird. Die zukünftige Entwicklung wird auf der Sensorseite höhere spektrale Auflösung (mehr Spektralkanäle mit geringer Einzelbandbreite) sowie höhere geometrische Auflösung am Boden (im Bereich um ca. 5 x 5 m<sup>2</sup>) bringen.

Im Bereich der Datenauswertung wird intensiv an heute teilweise noch nicht beherrschten Problemen gearbeitet, wie atmosphärische Einflüsse, Korrektur von durch die Aufnahmetechnik bedingten geometrischen Verzerrungen und Beeinflussung der Schadenssignaturen durch andere Parameter (Bestandesdichte, Hangneigungen, Schattenwürfe etc.). Wenn man aber die Möglichkeiten der wiederholt durchgeführten flächendeckenden Erfassung dem Stichprobenverfahren mit begrenzten menschlichen Erkennungsvermögen vom Boden aus gegenüberstellt, so erkennt man den Einsatz der Fernerkundung als wichtige und notwendige Ergänzung im Kampf gegen die Waldschäden. Freilich werden auch die Bodenerhebungen ihre Bedeutung behalten, so daß man hoffen kann, daß der Verbund beider Verfahren in Zukunft schnelle und sichere Erfassung des Zustandes der Wälder ermöglichen.



- Fichtenbestände sowie  
 Fichten-Kiefern-Mischbestände  
 (bis ca. 20% Laubholzanteil)
- Kiefernbestände sowie Kiefern  
 mit einzeln beigemischten Fichten,  
 teilw. mit Fichten im Unterstand  
 (bis ca. 20% Laubholzanteil)
- Laubholzbestände  
 (bis ca. 20% Nadelholzanteil)
- Laub-Nadelholz-Mischbestände
- noch nicht geschlossene Kulturen  
 sowie unbestockte Waldflächen  
 und stark durchbrochene Bestände  
 (Schneebruch/Windwurf)

**Abbildung 11**

**Topographische Übersichtskarte 1 : 200.000 Blatt CC 7134 Regensburg mit überlagerter Waldbestandsklassifizierung, abgeleitet aus LANDSAT/5/TM-Daten vom 20.04. und 09.07.1984.**  
 (vgl. auch Titelfoto; entspricht der Kartenbeilage)

**Anschrift des Verfassers:**  
 Dr. Gerd Landauer  
 Deutsche Forschungsanstalt  
 für Luft- und Raumfahrt e. V.  
 - Institut für Optoelektronik -  
 D-8031 Weßling - Oberpfaffenhofen



# Die Eignung der Fernerkundung für geowissenschaftliche Untersuchungen in Bayern

Friedrich Wieneke

## 1. Einleitung

In der Fernerkundung werden Geländeausschnitte aus geringerer oder größerer Entfernung mit Hilfe elektromagnetischer Strahlung registriert. Es entsteht ein Rohbild, das geometrisch und radiometrisch bearbeitet wird, bevor die Anwender es in analoger Form (als Papierabzug oder auf Transparentfilm) oder in digitaler Form (auf Magnetband) erhalten. Das dem Auswerter vorliegende Bild ist inhaltlich und formal einerseits von der Aufnahmetechnik und den Bearbeitungsverfahren bestimmt, andererseits vom Geländeausschnitt selbst mit seinem spezifischen Objektinhalt. Am deutlichsten wird dieser Geländeeinfluß im Wechsel der Atmosphären- und Beleuchtungszustände, im Wechsel des Objektinventares und der Objektzustände, in regionsspezifischen Objektvergesellschaftungen und räumlichen Mustern im Gelände. Der Raum Bayern liegt im südlichen Mitteleuropa und ist räumlich heterogen; diese Tatsache beeinflußt die Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung über die genannten raumspezifischen Größen.

Formal betrachtet sind Luft- und Satellitenbilder räumlich zweidimensional geordnete Strahlungsmeßwerte eines bestimmten Augenblickes. Als solche besitzen sie die drei fundamentalen Dimensionen räumlich, zeitlich und elektromagnetisch. Die elektromagnetische Dimension der Bilder (spektral und radiometrisch) ist bisher am häufigsten untersucht worden; aus ihr resultiert der multispektrale Ansatz. Daneben wird seit einiger Zeit verstärkt die zeitliche Dimension der Bilder untersucht mit der Zielsetzung optimierter Aufnahmezeiten und multitemporaler Auswertung. Die räumliche Dimension der Bilder ist bisher vor allem unter dem Aspekt kartographischer Anwendung untersucht worden, jedoch weniger der Einfluß geländespezifischer räumlicher Muster und Strukturen auf Luft- und Satellitenbilder. An dieser Stelle sollen Überlegungen entwickelt werden, wie weit der Raum Bayern die Eignung von Fernerkundungsverfahren für geowissenschaftliche Untersuchungen beeinflußt.

## 2. Die elektromagnetische Dimension

Ohne Berücksichtigung möglicher Veränderungen der Strahlungssignale in der Atmosphäre auf dem Weg vom Gelände zum Sensor ist die empfangene Strahlung eine Funktion der Objektstrahlung im Gelände und der Strahlungsempfindlichkeit des Sensors. Die objektspezifische Strahlung (Reflektion und Emission) in Abhängigkeit von der Wellenlänge wird als spektrale Signatur des strahlenden Objekts bezeichnet. Abb. 1 zeigt unten einen Ausschnitt (von 0,4 bis 2,6  $\mu\text{m}$ ) der spektralen Signaturen von klarem Wasser, trockenem unbedecktem

Boden und grüner Vegetation. Es wurde früh erkannt, daß Geländeobjekte erfolgreicher voneinander getrennt werden können, wenn Sensoren genutzt werden, die mehrere Ausschnitte der spektralen Signaturen nebeneinander erfassen. Dies ist das Grundprinzip der multispektralen Methode. Die Abb. 1 zeigt oben Spektralempfindlichkeitsbereiche verschiedener Sensoren (LANDSAT MSS und -TM, SPOT HRV-MS und -PC, panchromatische Emulsion und Farbinfrarot-Emulsion). Die ersten drei Systeme sind multispektral, die letzten drei monospektral. Es wird deutlich, daß derzeit noch der Vorteil multispektraler Aufnahmen mit dem Nachteil geringerer räumlicher Bodenaufklärung (hier in Bodenpixelgröße angegeben) erkauft werden muß.

Um den multispektralen Ansatz der Fernerkundung zu optimieren, sind zahlreiche Strahlungsmessungen im Labor und im Gelände vorgenommen worden. Als deren Ergebnis liegen Kurven spektraler Signaturen für viele Objekte vor. Es zeigte sich nur, daß sich die spektralen Signaturen vieler Geländeobjekte im Laufe der Zeit ändern, so daß Messungen zu verschiedenen Zeitpunkten erforderlich wurden. Die Abb. 2 zeigt anhand von Flugzeugmessungen im Osterseegebiet für elf nebeneinander liegende Spektralbereiche, daß die spektralen Signaturen ausgewählter Objektgruppen vom April bis zum Sommer sich deutlich änderten. Solche Effekte behindern rechnergestützte multispektrale Auswertungen und demonstrieren die Bedeutung einer genaueren Betrachtung der zeitlichen Dimension der Bilder.

## 3. Die zeitliche Dimension

Aufnahmezeitpunkt und Aufnahmedauer sind die wichtigen Aspekte der zeitlichen Dimension von Luft- und Satellitenbildern. Während photographische Aufnahmen für den gesamten erfaßten Geländeausschnitt im Bruchteil von Sekunden synchron erfolgen, benötigen nichtphotographische Systeme eine gewisse Zeit für die Aufnahmen eines Bildes von der Anfangszeile bis zur Endzeile – LANDSAT z. B. etwa 30 Sekunden, METEOSAT 25 Minuten. Schnelle bewegliche Objekte wie Wellen oder Wolken können während der Dauer einer Aufnahme ihre Position verändern. Von größerem Einfluß als die Dauer ist jedoch der Aufnahmezeitpunkt, da die Aufnahmesituation sich teils minütlich, teils stündlich im Tagesgang etwa –, teils wöchentlich oder monatlich – im Jahresgang etwa –, darüber hinaus von Jahr zu Jahr ändert. Sehr verschiedene Zeitskalen sind hier wirksam, und es wird schwierig, in Abstimmung der zeitlichen Missionsparameter einerseits und der zeitlichen Geländeparameter i. w. S. andererseits den Aufnahmezeitpunkt zu optimieren.

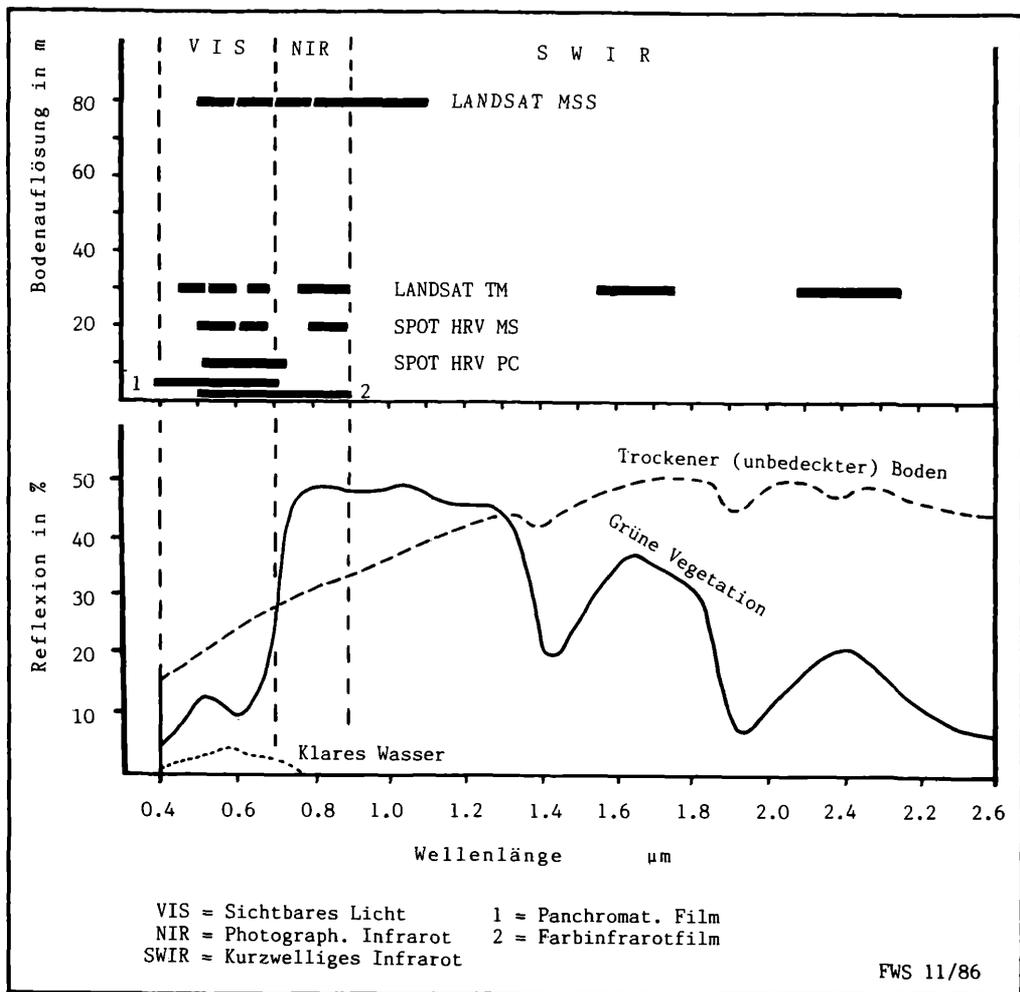


Abbildung 1

Spektrale Signaturen dreier Objektklassen und Spektralempfindlichkeitsbereiche von sechs Aufnahmesystemen im Wellenlängenintervall 0.4 bis 2.6 µm (aus STRATHMANN 1987).

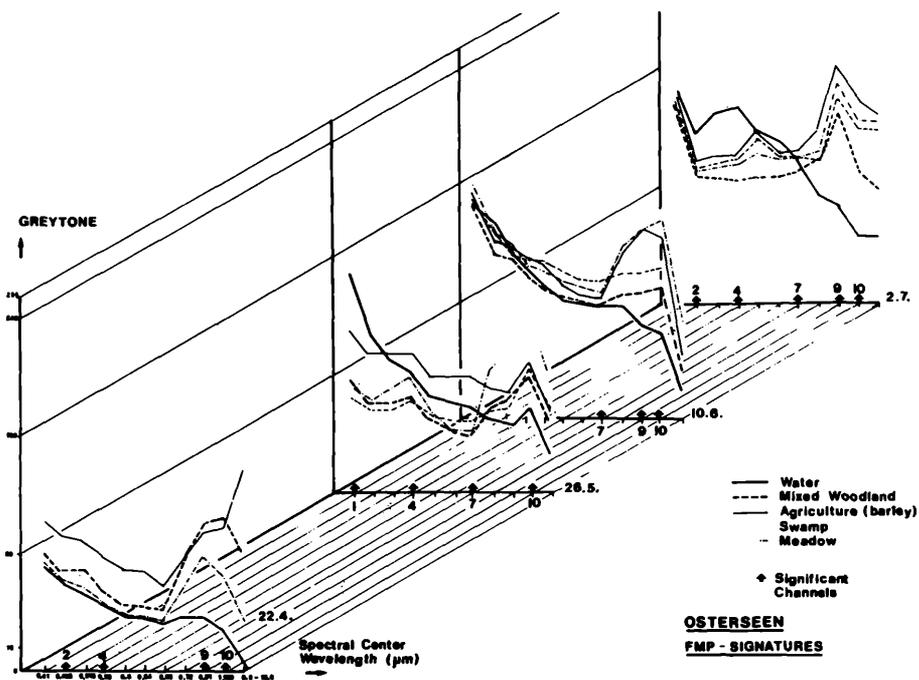


Abbildung 2

Jahreszeitlicher Wandel spektraler Signaturen von Objekten des Osterseengebietes/Obb. (aus BODECHTEL et al. 1978).

Geländeabhängig wandeln sich in verschiedenen Zeitskalen die Beleuchtungsgeometrie – soweit mit reflektierter Sonnenstrahlung gearbeitet wird –, der Atmosphärenzustand – soweit er die Strahlungssignale auf dem Weg vom Gelände zum Sensor beeinflusst –, der Geländezustand – nach Objektinventar, -position und -zustand – sowie die Begehbarkeit des Geländes, die unerlässlich ist zur Bodenreferenz der Bildauswertung. Während für Bayern eine prinzipielle Begehbarkeit des Geländes i. a. angenommen werden kann, unterliegen die übrigen Größen zeitlichen, z. T. periodischen Veränderungen, deren Art und Ausmaß raumspezifisch sind und die Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung beeinflussen.

### 3.1 Beleuchtungsgeometrie

Lässt man aktive Fernerkundungssysteme – LASER und RADAR – unberücksichtigt und ebenso diejenigen der passiven Systeme, die emittierte Strahlung nutzen, so basieren die restlichen Systeme einschließlich der photographischen Verfahren auf der Nutzung erdoberflächlich reflektierten Sonnen- und Himmelslichtes. Ersteres fällt gerichtet auf das Gelände, letzteres diffus. Je nach den Reflektions-eigenschaften der Geländeobjekte strahlen diese die direkt einfallende Sonnenstrahlung diffus, gemischt oder direkt gerichtet wieder ab, und die Relation von Rückstrahlungsrichtung und Aufnahmerichtung bestimmt sehr stark die Intensität der auf den Sensor fallenden Strahlung.

Bayern liegt in einer geographischen Breite von

ca. 47.5° n.Br. bis ca. 50.5° n.Br. Damit verläuft der Tagbogen der Sonne ganzjährig über Süden und steht die Sonne ganzjährig stundenweise über dem Horizont, erreicht aber nie den Zenit. Gleichwohl weist im Laufe der Jahreszeiten der Tagbogen der Sonne große Unterschiede auf. H. LOUIS (1957) kennzeichnet die Bestrahlungsverhältnisse der Mittelbreiten durch einen „echten Hochwinter mit tiefem Mittagssonnenstand und sehr kurzen Tagen“, einen „echten Hochsommer mit hohem Mittagssonnenstand und sehr langen Tagen“ sowie ausgeprägte Unterschiede von Sonnen- und Schattenseiten des Reliefs. Abb. 3 (aus REIDAT 1955/56) verdeutlicht die Tagbögen der Sonne für einen beliebigen Ort in 48° n.Br. Aus dem Diagramm können für jeden Tag des Jahres und jede Stunde des Tages die Sonnenhöhe über dem Horizont und das Azimut abgeleitet werden. Für die Tageszeiten ist das Diagramm symmetrisch auf den Sonnenhöchststand, d. h. auf 12 Uhr WOZ (wahre Ortszeit) bezogen. Die Differenz auf MOZ (mittlere Ortszeit) gibt die im Diagramm oben eingetragene Zeitgleiche an, die Differenz zur MEZ berechnet sich aus der Differenz der geographischen Länge des Ortes zu 15° ö.L.

Das vom Sonnenlicht bestrahlte Gelände ist in der Regel keine horizontale Ebene. In Bayern z. B. wechseln schwach geneigte, überwiegend ebene Flächen mit hügeligem Gelände, mit zerteilten Bergländern, mit steiflankigem Hochgebirge. Die einzelnen Reliefteile wechseln rein geometrisch betrachtet nach Neigung und Exposition.

Aus dem Zusammenspiel von Sonnenhöhe und

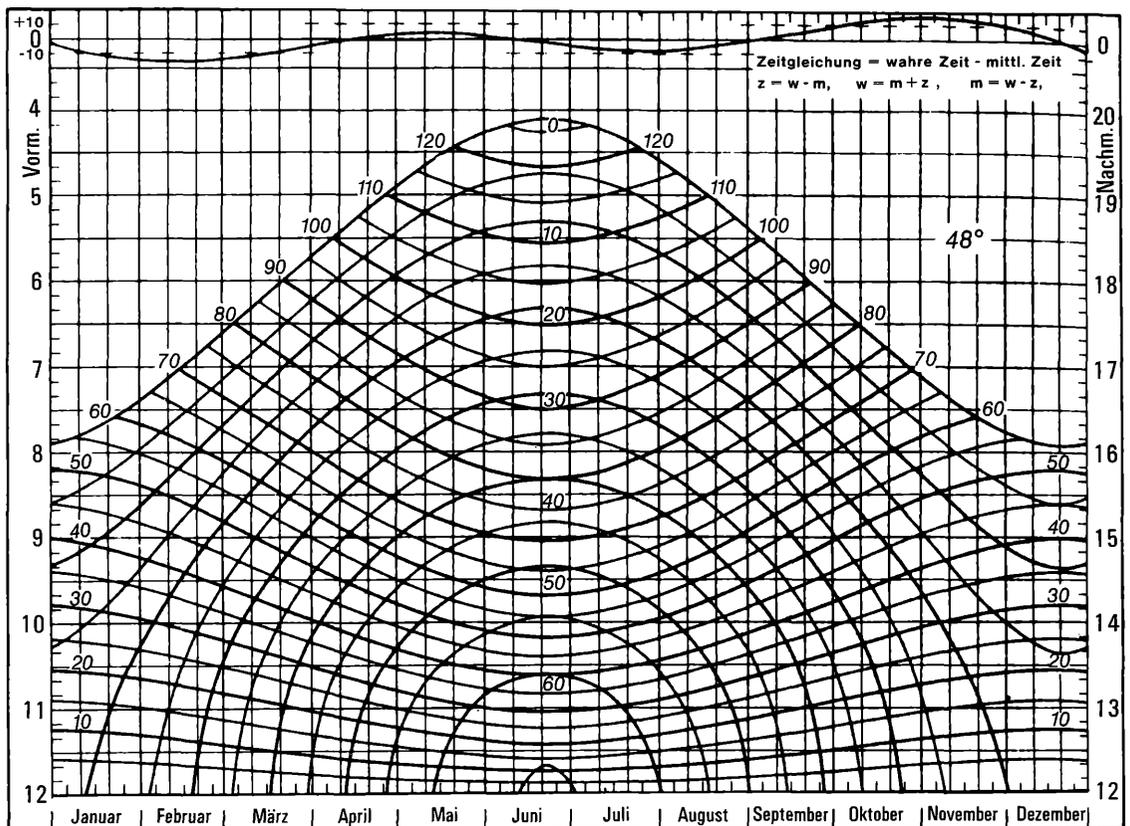


Diagramm zur Ermittlung der Sonnenposition für 48° N-Br. (Erläuterung siehe Text)

#### Abbildung 3

Diagramm zur Ermittlung der Sonnenposition für 48° n.Br., d. h. etwa Memmingen, Starnberg, Rott/Inn (aus REIDAT 1955/56).



**Abbildung 4**

**Computersimulation der beschatteten Flächen im Einzugsgebiet des Lainbaches unterhalb der Benediktenwand (unterer Rand) in Abhängigkeit der jahreszeitlichen Sonnenstandsänderung – links 1.2. 11 Uhr, rechts 1.4. 11 Uhr (nach Arbeitskarten WAGNER, WILHELM, Inst. f. Geogr. Univ. München).**

-azimut einerseits und von Reliefneigung und -exposition andererseits ergibt sich, ob überhaupt eine Ausleuchtung des Geländes im Aufnahmezeitpunkt stattfindet (oder Bergschatten alles weitgehend verdeckt) und ob eine mehr oder weniger direkte Rückstrahlung in Richtung des Aufnahmesystems stattfindet. Um die Schattenwirkung abzuschätzen, kann der durch Relief und Bauten, auch hohe Vegetation, vorgegebene wirkliche Gesichtskreis nach Höhe über dem Horizont und Azimut in Kreisdiagramme des Sonnenstandes eingetragen werden. Andererseits kann man über Computerberechnungen für gezielt gewählte Sonnenstände bei vorgegebenem Gelände den Beschattungseffekt simulieren und in Kartenskizzen ausdrucken lassen (Abb. 4).

### 3.2 Atmosphärenzustand

Auf dem Weg vom Gelände zum Sensor durchläuft die elektromagnetische Strahlung einen einige Hundert bis einige Tausend Meter (Luftaufnahmen) oder einen einige Hundert bis mehrere Tausend Kilometer (Satellitenaufnahmen) langen Weg durch die Erdatmosphäre. Hierbei wird die Strahlung beeinflusst, verändert durch Absorption, Streuung usw. Art und Ausmaß der Signalabschwächung hängen ab von der Wegstrecke und vom Zustand der Atmosphäre. Zustandsänderungen der Atmosphäre nennen wir Wetter und somit ist das raumspezifische Wetter eine essentielle Größe für die Einsatzmöglichkeiten von Fernerkundung – ausgenommen Systeme, die langwellige Strahlung nutzen und damit wetterunabhängig werden.

Bewölkung, Nebel und Dunst sind fernerkundungsrelevante Wetterparameter; indirekt wären Nieder-

schläge, bes. auch Schnee, dazu zu rechnen, da sie den Geländezustand (3.3) verändern. Die genannten Wetterparameter sind in ihrem Auftreten in Bayern an mehr oder weniger sicher auftretende Witterungsregelfälle i. S. von FLOHN und HESS gebunden. Nach BLÜTHGEN (1965, S. 43) sei hier die Statistik der Witterungsregelfälle für Mitteleuropa aufgrund der Großwetterlagenstatistik 1881 – 1947 vorgestellt (Tab. 1). Es werden nur Witterungsregelfälle berücksichtigt, die in dieser Jahresreihe in mindestens 67% der Fälle eintraten, wobei die angegebenen Eintrittszeiträume sich per definitionem um je 5 Tage nach vorn oder hinten verschieben können.

FLOHN (1954) gibt ergänzend eine Beschreibung des durchschnittlichen Witterungsablaufes für Mitteleuropa. Es gibt keine räumlich präzisere, auf Bayern oder bayerische Teilräume bezogene, und keine neuere, auf jüngeren Jahrgängen basierende Aufstellungen. Aufgrund der Zusammenstellung läßt sich aber z. B. zeigen, daß mit großer Häufigkeit Ende Mai / Anfang Juni eine Hochdruckwetterlage mit guten Aufnahmebedingungen wiederkehrte oder im Juni und Juli mehrere Schlechtwetterwellen mit großer Häufigkeit die Aufnahmesituation behindern können.

Luftbildbefliegungen können gezielt geplant werden und wetterabhängig auch verschoben werden. Satelliten kreisen jedoch auf fest installierten Bahnen um die Erde und überfliegen in genau festliegenden zeitlichen Abständen erneut den gleichen Geländestreifen (Repetitionsrate, z. B. bei LANDSAT-4/5 16 Tage). Fällt die Überfliegszeit in Schönwetterregelfälle mit hoher Eintrittswahrscheinlichkeit, so sind eher gute Aufnahmebedingungen zu erwarten, als bei Schlechtwetter-

Tabelle 1

Witterungsregelfälle für Mitteleuropa nach FLOHN 1954 (aus BLÜTHGEN 1965).

Regelfall (mit Abkürzung) zyklonal antizyklonal	Zeitraum	Großwetterlage		rel. Häufigk. 1881—1947
		zyklonal	antizyklonal	
Tauwetter 2(T <sup>2</sup> )	1.—10.XII.	Westwetter		81%
Frühwinter (Wf)	14.—25.XII.	Winterhoch Osteuropa		67%
Weihnachtstauwetter (T <sup>3</sup> )	23.XII.—1.I.	Westwetter		72%
Hochwinter (Wh)	15.—26.I.	Kontinentalhoch		78%
Spätwinter (Ws)	3.—12.II.	Winterhoch Nordosteuropa		67%
Vorfrühling (Fv)	14.—25.III.	Kontinentale Hochs		69%
Spätfrühling (Fs)	22.V.—2.VI.	Nord- u. Mitteleur.hochs		80%
Sommermonsun 2(M <sup>2</sup> ) ( Schafkälte)	9.—18.VI	Nordwestwetter		89%
Sommermonsun 5(M <sup>5</sup> )	21.—30.VII.	Westwetter		89%
Sommermonsun 6(M <sup>6</sup> )	1.—10.VIII.	Westwetter		84%
Spätsommer (Ss)	3.—12.IX.	Mitteleuropahochs		79%
Frühherbst (Hf) (= Altweibersommer)	21.IX.—2.X.	Mittel- und Südost- europahochs		76%
Mittherbst (Hm) (= Martinssommer)	28.X.—10.XI.	Mitteleuropahochs		69%
Spätherbst (Hs)	11.—22.XI.	Mitteleuropahochs		72%

regelfällen mit ausgedehnten Wolkenfeldern und Niederschlagsgebieten, aber z. B. auch als bei herbstlichen Hochdruckwetterlagen mit Nebelbildungen. Jedoch sind raumspezifisch bei uns die infraannuellen Schwankungen der Witterungsjahresgänge zu hoch und die zeitlichen Abfolgen nicht hinreichend prognostizierbar, um gesicherte Empfehlungen für günstige Aufnahmezeitpunkte in Bayern ableiten zu können. Mit neuen Satellitenentwicklungen (SPOT z. B.) versucht man, dieses Problem zu verringern durch schwenkbare Sensoren, die von einer benachbarten Umlaufbahn wenige Tage später das gleiche Gelände erneut, nun jedoch aus anderer Blickrichtung aufnehmen können und somit eine größere Chance bieten, ein bestimmtes Gelände bei geeignetem Atmosphärenzustand aufzunehmen.

### 3.3 Geländezustand

Klimatisch bedingt und witterungsmäßig gesteuert verändert sich der aufzunehmende Geländeauschnitt im Jahresgang. Eis und Schnee sind winterliche Phänomene, die Vegetationszeit fällt in die Zeit vom Frühjahr bis zum Herbst. Auch gerade landschaftsgestaltende anthropogene Aktivitäten sind stark jahreszeitenabhängig, so z. B. Verkehr und Freizeitverhalten oder Verkehrs- und Siedlungsbauten.

Raumspezifisch ändern sich die Verbreitungs- und Zustandsmuster solcher Geländezustände. In Bayern spielt der hypsometrische Wandel – für die Mittelgebirge wie fürs Hochgebirge – eine wichtige Rolle. Der höhenstufenabhängige Wandel ist am Beispiel phänologischer Phasen in den Alpen, z. B. von GAMS (nach SCHMIDT 1969, 83) dokumentiert. Mit wachsender Meereshöhe werden vom Vorfrühling bis zum Hochsommer für ein bestimmtes Aufnahmezeitpunkt immer frühere, vom Früh- bis Spätherbst immer spätere phänologische Phasen erfaßt. Insgesamt nimmt die Anzahl auftretender phänologischer Phasen mit der Meereshöhe ab. Stellvertretend für alle Aspekte von Geländezu-

ständen in Bayern seien die prinzipiellen Probleme am Beispiel von Grünland erläutert. Abb. 5a zeigt schematisch verschiedene Blühaspekte von Wiesen- und Grünlandschaften im Jahresgang. Je nach Aufnahmezeitpunkt werden unterschiedliche bildwirksame Oberflächen der Pflanzenbestände erfaßt. Ergänzend dazu zeigt Abb. 5b (beide SCHMIDT 1969) in der Aufsicht die Veränderungen eines kleinen Geländeauschnittes (Dauerquadrat) vom Mai bis Juli und von einem Jahr zum nächsten. STEINER (1961, 1970) hat für das Schweizer Mittelland an Kulturpflanzen dokumentiert, wie mit dem phänologischen Jahresgang sich im Bild Grafton, also registrierter Strahlungswert, Stereoeffekt, also Wuchshöhe, und Textur, also Muster und Struktur der bildwirksamen Oberfläche, ändern. Da mitteleuropäisches Gelände bis auf wenige Ausnahmen bewirtschaftet ist, wird die natürliche Entwicklung im Jahresgang durch agrare anthropogene Aktivitäten beeinflusst, ja unterbrochen. Als Beispiel mag Abb. 6 (aus ELLENBERG, 1982) dienen, das in schematischen Profilen den Einfluß verschiedener Mähzyklen auf Zustand und Entwicklung des Grünlandes aufzeigt. Mit Geländephotoserien aus dem Freiburger Raum hat DÖRFEL (1978) den Einfluß des phänologischen Zustandes von Vegetation auf die Erfäßbarkeit im Photo untersucht und dokumentiert.

Es bleibt eine bislang nicht gelöste Aufgabe, für Bayern aufgrund der mittleren phänologischen Jahresgänge und anthropogener Aktivitätsabläufe unter Berücksichtigung intraannueller Schwankungen Zeitabschnitte bestimmter Geländezustände zu erarbeiten, um besonders die Auswertung von Satellitenbilddaten zu erleichtern.

### 4. Die räumliche Dimension

Ein aufgenommener Geländeauschnitt hat im Augenblick der Aufnahme ein bestimmtes Objektinventar mit bestimmten räumlichen Eigenschaften: Die einzelnen Objekte besitzen eine absolute und relative Lage, sie haben Größe, Form, Richtung;

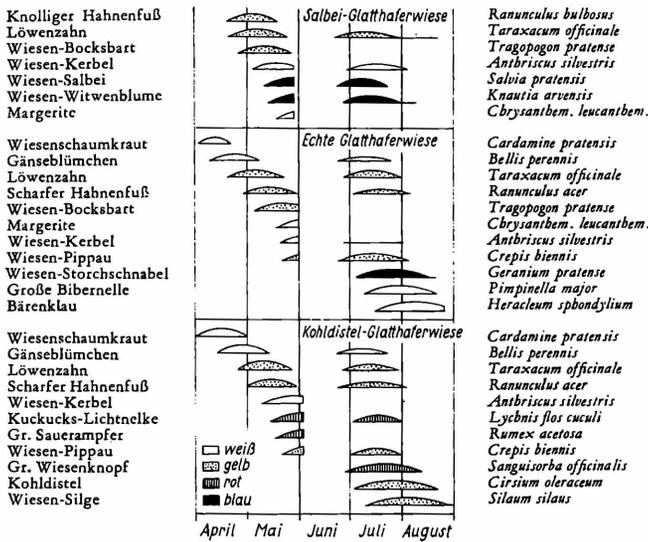


Abbildung 5 a

Wandel des Blühaspektes von Wiesengesellschaften im Jahresgang (aus SCHMIDT 1969).

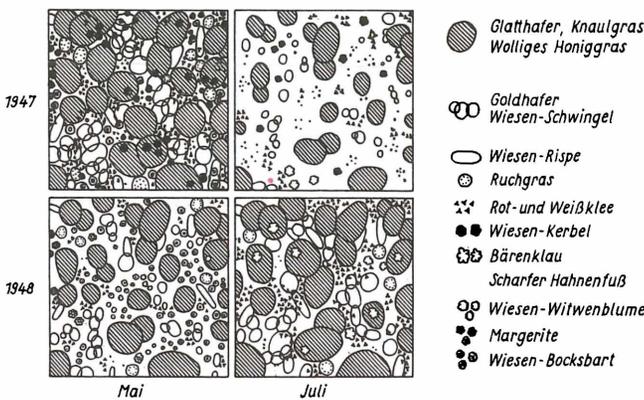


Abbildung 5 b

Wandel der bildwirksamen Oberfläche eines Dauerquadrates von Mai bis Juli und von einem Jahr zum nächsten (aus SCHMIDT 1969).

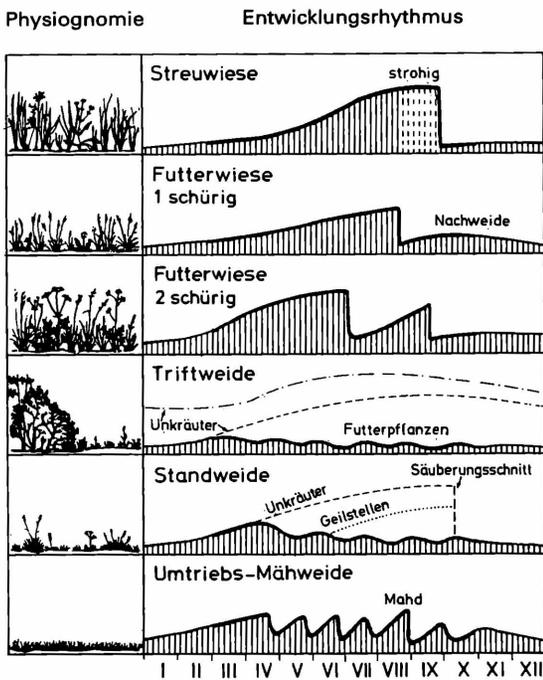


Abbildung 6

Einfluß der Bewirtschaftungsform (Mahd, Beweidung) auf den Zustand von Grünland (aus ELLENBERG 1982).

die Objekte sind stets vergesellschaftet, d. h. sie weisen eine bestimmte Dichte und u. U. eine typische Struktur auf; sie erzeugen Raummuster. Diese räumlichen Eigenschaften des Geländes bedingen in Abhängigkeit von den räumlich-geometrischen Eigenschaften des Aufnahmesystems die räumlichen Eigenschaften des Bildes. Wie weit die räumlichen Eigenschaften oder Merkmale der Bildobjekte als Auswertungsindikatoren genutzt werden können, d. h. wie gut ihnen Geländeobjekteigenschaften zugeordnet werden können, wird v. a. durch die Abbildungsgeometrie, den Maßstab und die räumliche Auflösung bestimmt.

Die Ausdehnung des aufgenommenen Geländeausschnitts wird maßstäblich in die Ausdehnung der Bildobjekte überführt. Hier legt die räumliche Auflösung des Aufnahmesystems eine untere Grenze fest. Die Ausdehnungen mehrerer Objekte in Vergesellschaftung erzeugen ein der räumlichen Struktur, dem Muster, im Gelände entsprechendes Muster im Bild, das im Makrobereich des Bildes Struktur, im Mikrobereich Textur oder Feinstruktur genannt wird (P. MEIENBERG, 1966). Die Lage, absolut wie relativ, der Objekte im Bild wird durch die Abbildungsgeometrie aus der Lage der Objekte im Gelände erstellt. Sie liefert Information für die Auswertung und ist von fundamentaler Bedeutung für die kartographische Darstellung der Fernerkundungsdaten und der Auswerte- und Interpretationsergebnisse.

#### 4.1 Aufnahmetechnik und Bearbeitungsverfahren

Die Abbildungsgeometrie ist nicht trivial. Besonders nichtphotographische Aufnahmesysteme besitzen in verschiedenen Richtungen unterschiedliche Geometrie. Photographien sind zentralperspektivisch und damit geometrisch richtungsunabhängig. Durch Neigungen des Aufnahmesystems gegen die Vertikale können Lagefehler entstehen, ebenso durch den Einfluß von Erdkrümmung und Relief (s. u.). Bevor die Bilder an Nutzer ausgegeben werden, sind sie in der Regel geometrisch und radiometrisch überarbeitet. Die größte Genauigkeit ist erreicht, wenn sie lagemäßig auf geographische oder geodätische Koordinaten umgerechnet wurden.

Der Maßstab gibt das Verkleinerungsverhältnis des Bildes an und hat in der Fernerkundung eine analoge Bedeutung zu der in der Kartographie. Der Maßstab hängt nicht von der Flughöhe über Grund alleine ab, sondern auch von Sensor konstanten (bei Photographien von der Brennweite). Unter der Auflösung oder dem Auflösungsvermögen eines Aufnahmesystemes wird seine Fähigkeit verstanden, dicht beieinander liegende Signale zu unterscheiden, sei es räumlich, zeitlich, spektral oder radiometrisch.

P. ROSENBERG (1971) hat betont, daß die räumliche oder geometrische Auflösung, wie alle technischen Begriffe, in bezug auf ein Meßverfahren definiert sein muß. In der Praxis zeigt sich, daß die räumliche Auflösung realer Objekte geringer ist als diejenige von Testobjekten. Da ein Objekt durch den Strahlungsunterschied zu seiner Umgebung festgestellt und erkannt, also unterschieden wird, ist die räumliche Auflösung stark kontrastabhängig. Der Auflösung eines Aufnahmesystems entspricht eine Boden- oder Geländeauflösung, die sich über den Maßstab aus der Bildauflösung errechnen läßt. Um die Sichtbarkeit oder Detailerkennbarkeit von Objekten zu beschreiben, verwendet P. ROSENBERG (a. a. O.) zusätzlich zur räumlichen Auflösung zwei Erkennbarkeitsbegriffe. Unter „Wahrnehmung“ wird die Fähigkeit von Aufnahmesystem und Auswerter zusammen verstanden, die Existenz eines Signals festzustellen, unter „Erkennbarkeit/Identifizierbarkeit“ die Fähigkeit, das festgestellte Signal zu identifizieren.

In Abb. 7 sind Aufnahmen photographischer Fernerkundung koordinatenmäßig als Ausgangspunkt

zweier orthogonaler Pfeile eingetragen. Dieser Punkt hat die Koordinaten Originalmaßstab des Bildes, Aufnahme fläche des Bildes am Boden, Bodenauflösung des Bildes bei visueller Auswertung (Auflösungsvermögen des Auges hier mit 8 lp/mm angesetzt). Für Luftphotos ist nur eine photographische Auflösung von 40 lp/mm berücksichtigt worden, neuere Emulsionen erreichen nominal bis 400 lp/mm. Die beiden Pfeile zeigen den Effekt einer Vergrößerung des Bildes bei visueller Auswertung: Das räumliche Auflösungsvermögen kann nun besser ausgeschöpft werden, der Maßstab vergrößert sich entsprechend. Im Grunde wäre ein diagonaler Pfeil einzuzeichnen, da bei gleitender Vergrößerung nutzbare Bodenauflösung und Maßstab gleichzeitig wachsen. Erfolgt die Vergrößerung nicht im virtuellen Bild eines Auswerteinstrumentes, sondern reprototechnisch, so sinkt die Bildqualität und damit nimmt dann das photographische Auflösungsvermögen ab. Für den Praktiker läßt sich abschätzen, welches photographische Aufnahmesystem für seine Fragestellung und sein Untersuchungsgebiet geeignet ist hinsichtlich der Flächendeckung (d. h. Anzahl der erforderlichen Bilder), der Bodenauflösung (d. h. Minimalgröße der zu untersuchenden Objekte) und Maßstab (Untersuchungs- bzw. Kartierungsmaßstab).

#### 4.2 Geländeeinfluß

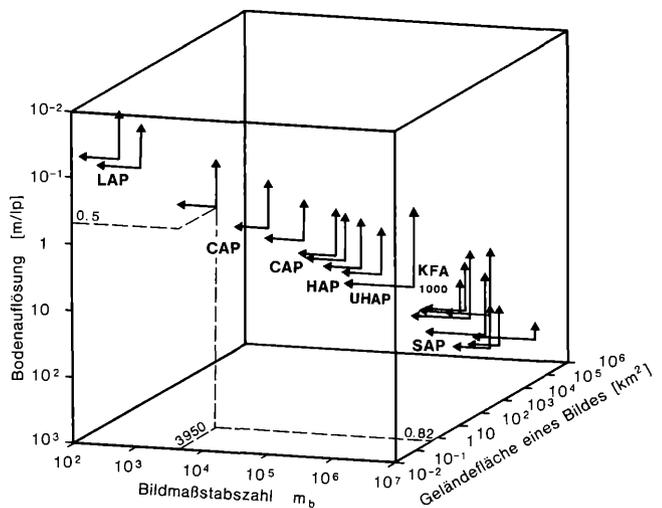
Geometrisch gesehen ist ein aufgenommener Geländeausschnitt eine gekrümmte Fläche, das Bild eine euklidische Ebene. Die Abbildung einer gekrümmten Fläche auf eine Ebene ist verzerrungsfrei nicht möglich. Die Erdkrümmung verursacht Lagefehler v. a. bei Satellitenaufnahmen, das Relief v. a. bei Luftaufnahmen. Beide Einflüsse sind bei Aufnahmen bayerischer Gebiete voll wirksam.

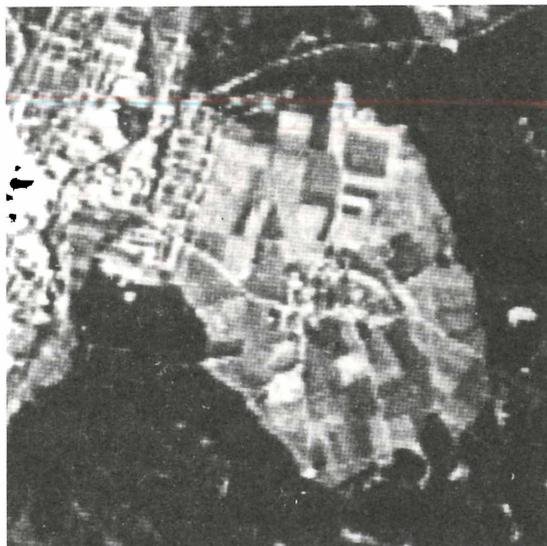
Lage, Form und Größe der Geländeobjekte werden abbildungsgeometrisch und maßstäblich in Lage, Form und Größe der Bildobjekte überführt. Sie sind daher von erheblicher Bedeutung für den Bildinhalt, andererseits Geländeeigenschaften. Am Beispiel von agraren Parzellen mag dies verdeutlicht werden (Abb. 8). Die auf gleichen Maßstab gebrauchten Ausschnitte einer oberbayerischen Flur stammen aus einer Photographie und einem Abtastbild. Die Unterschiede der Erfassung bzw. Darstellung der Parzellenstruktur sind deutlich; besondere Probleme treten auf in Abtastbildern durch die

Abbildung 7

#### Maßstab, Bodenauflösung und Gelände fläche eines Bildes für verschiedene photographische Systeme.

LAP = Tiefbefliegungsphoto, CAP = konventionelles Luftphoto, HAP = Hochbefliegungsphoto, UHAP = Ultrahochbefliegungsphoto, SAP = Satellitenphoto, KFA 1000 = Photo der KFA 1000-Kamera vom Kosmos-Satelliten (nach WIENEKE 1987).





**Abbildung 8**

**Parzellenstruktur einer oberbayerischen Flur im Luftphoto (verkleinert) und im Abtastbild (vergrößert; Bearbeitung STRATHMANN, KAUFMANN 1986). Freigabe Reg. Präs. Münster Nr. 5839/84.**

Überlagerung eines Pixelrasters mit der Parzellenstruktur. Die räumliche Lage der Parzellen zur Abtaststrichung, die Form der Parzellen im Vergleich zur Pixelform und die Parzellengröße in Relation zur Pixelgröße verändern die Genauigkeit und Deutlichkeit der Darstellung.

CRAPPER (1980) hat z. B. Schätzfunktionen für die Flächenmessung an Abtastbildern abgeleitet, die neben der Arealgröße und der Arealform auch die Pixelform und -größe berücksichtigen. Die Untersuchung zeigt, daß mit wachsender Unregelmäßigkeit der Parzellenform und mit abnehmender Parzellengröße der Flächenschätzfehler sehr schnell sehr groß wird (Tab. 2). D. h. flurbereinigte Gebiete Bayerns werden mit geringeren Flächenfehlern abgebildet als z. B. Gewinnfluren in Realerteilungsgebieten.

**Tabelle 2**

**Flächenschätzfehler für LANDSAT-MSS-Aufnahmen unterschiedlich geformter und großer Parzellen (nach CRAPPER 1980).**

Parzellenform	Form-	Durchschnittl.	Relat.
	faktor	Parzellengröße	Flächenfehler
	(ha)	(%)	
Quadratisch	1.13	150	0.17
Quadratisch	1.13	1000	0.17
Rechteckig	1.51	500	0.33
Unregelmäßig	1.82	2	23

## 5. Synthese

Der bayerische Raum liegt im südlichen Mitteleuropa und ist naturräumlich wie kulturräumlich reich gegliedert. Daher stellt sich der Geländeeinfluß auf die Qualität von Fernerkundungsdaten sehr abwechslungsreich dar. Die räumlichen und zeitlichen Variationen von Atmosphären- und Beleuchtungszuständen, von Objektinventar und Objektzuständen, von Objektvergesellschaftungen und räumlichen Mustern im Gelände verändern die

jeweiligen Bildinhalte. Zur optimalen Bildauswertung ist daher eine räumliche Gliederung Bayerns, statistisch gesehen eine Stratenbildung, unumgängliche Voraussetzung. Hier kann einerseits auf naturräumliche bzw. standortkundliche Landschaftsgliederungen Bayerns (MEYNEN/SCHMITHÜSEN 1953-1959 bzw. WITTMANN 1984) zurückgegriffen werden, andererseits auf wirtschaftsräumliche Gliederungen Bayerns. Die aufgezeigten geländespezifischen Einflüsse auf die Fernerkundungsaufnahmen variieren mit dem räumlichen Wechsel der bayerischen Teillandschaften und sind für jeden Teilraum neu zu untersuchen bzw. zu berücksichtigen. Nur unter Berücksichtigung der instrumentellen Besonderheiten des Aufnahmesystems und der räumlichen Besonderheiten des aufgenommenen Geländes sind optimale Anwendungen der Fernerkundung für geowissenschaftliche Untersuchungen zu erreichen.

## 6. Literatur

- BODECHTEL, J., FERNANDEZ, R., HAYDN, R., JASKOLLA, F. (1978):  
The Use of Aircraft and Spaceborne MSS Data (FMP-National Aircraft Measurement Program, Test Area VI, Bavarian Alps; Landsat; Skylab) for the Definition of Optimum Spectral Bands for a Future Multispectral Sensing System; Proc. Sympos. Freiburg/Br. July, 2-8, Vol. I. - Int. Arch. Photogrammetry XXII-7, 519-534.
- BLÜTHGEN, J. (1965):  
Synoptische Klimageographie. - Geogr. Z. 53, 10-51.
- CRAPPER, P. F. (1980):  
Errors Incurred in Estimating an Area of Uniform Land Cover Using Landsat. - Photogramm. Engin. Remote Sensing 46 (10), 1295-1301.
- DÖRFEL, H.-J. (1978):  
Phänologische Aspekte bei der Fernerkundung von Vegetationsflächen; Proc. Sympos. Freiburg/Br. July, 2-8, Vol. II. - Int. Arch. Photogrammetry XXII-7, 1611-1624.
- ELLENBERG, H. (1982):  
Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen; 3. Aufl., Stuttgart: Ulmer, 989 S.

- FLOHN, H. (1954):  
Witterung und Klima in Mitteleuropa. – Forsch. dt. Landeskde 78, 3. Aufl., 156 S.
- LUOIS, H. (1957):  
Der Bestrahlungsgang als Fundamentalerscheinung der geographischen Klimaunterscheidung. – Schlern-Schriften 190, 155 – 164.
- MEIENBERG, P. (1966):  
Die Landnutzungskartierung nach Pan-, Infrarot- und Farbluftbildern. – Münchner Stud. Soz.-Wirtsch. Geogr. I, 133 S. u. Bildmappe.
- MEYNEN, E., SCHMITHÜSEN, J. (1953/1955):  
Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands, 1. Lfg./2. Lfg.; Bundesanstalt Landeskde Remagen, 1 – 258.
- REIDAT, R. (1955/56):  
Arbeitsblätter zur Ermittlung des Sonnenstandes und der Besonnungsdauer. – Ann. Meteorologie 7, 321 – 337.
- ROSENBERG, P. (1971):  
Resolution, detectability and recognizability. – Photogramm. Engin. Remote Sensing 37 (12), 1255 – 1258.
- SCHMIDT, G. (1969):  
Vegetationsgeographie auf ökologisch-soziologischer Grundlage; Leipzig: Teubner, 596 S.
- STEINER, D. (1961):  
Die Jahreszeit als Faktor bei der Landnutzungsinterpretation, gezeigt am Beispiel des schweizerischen Mittel-landes. – Landeskdl. Luftbildausw. mitteleurop. Raum 5, 81 S.
- STEINER, D. (1970):  
Time Dimension for Crop Surveys from Space. – Photogramm. Engin. 36 (2), 187 – 194.
- STRATHMANN, F.-W. (1987):  
Fernerkundung in der stadtökologischen Planung. Mater. Angew. Geogr. 16, 155 – 168.
- STRATHMANN, F.-W., KAUFMANN, H. (1986):  
Urban Development Planning Using Thematic Mapper Data of Munich. – ESA SP-258, 9 – 14.
- WIENEKE, F. (1987):  
Der Einfluß der räumlichen Dimension der Daten auf die Einsatzmöglichkeit photographischer Fernerkundung für landschaftsökologische Untersuchungen. Geomethodica 12, 57 – 90.
- WITTMANN, O. (1984):  
Standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern; Bayer. Staatsmin. Landesentw. Umweltfr.; Materialien 21, 2. Aufl., 30 S.

**Anschrift des Verfassers:**  
Prof. Dr. Friedrich Wieneke  
Institut für Geographie  
der Universität München  
Luisenstraße 37  
8000 München 2



# Flächenbilanzierungen aus Landsat 5 Thematic Mapper Daten

Rüdiger Glaser

## 1. Einleitung

Flächenbilanzierungen nehmen schon seit einigen Jahren eine wichtige Stellung in der Umweltdiskussion ein. Fragen zum Landschafts- und Flächenverbrauch lassen sich ebenso wie Untersuchungen zur Flächenversiegelung unter diesen Begriff subsumieren. Abb. 1 zeigt die Entwicklung des Flächenverbrauchs von 1950 bis 1982 für Baden-Württemberg (STADLER 1983, S. 215). Die darin enthaltenen unterschiedlichen Prognosen (Modelle) sind auf die unklare Wirtschaftsentwicklung, die als wesentlicher Steuerungsfaktor angesehen wird, zurückzuführen.

An einer Subszene von Würzburg und Umgebung (der Bildausschnitt umfaßt 512 x 512 Pixels = ca. 15 x 15 km) wird untersucht, in wieweit monotonale LANDSAT-TM-Daten (Aufnahmezeitpunkt April 1984) unter Ausnutzung digitaler und visueller Methoden gerade auch durch Integration weiterer Planungsinformation für Flächenbilanzierungen geeignet sind.

Eine ausführliche Darstellung und Diskussion von Systemparametern und Anwendungsmöglichkeiten findet sich u. a. bei GLASER (1986).

## 2. Flächenversiegelung

Im ersten Beispiel soll die Verwendbarkeit der Landsat TM Daten für die Beurteilung der Flächenversiegelung überprüft werden. Die Ausarbeitung der Flächenversiegelung mittels Methoden der digitalen Bildverarbeitung ist für das Untersuchungsgebiet v. a. deshalb von besonderem Interesse, weil

seitens des Stadtplanungsamtes bereits eine derartige Auswertung aus Infrarotluftbildern über rein visuelle Methoden durchgeführt worden war. Man hat damit die Möglichkeit, das durch digitale Bildverarbeitung gewonnene Ergebnis an dieser Auswertung zu verifizieren!

### 2.1. Darstellung der visuellen Verarbeitung

Für die vom Stadtplanungsamt Würzburg im Rahmen ihrer stadtoökologischen Untersuchungen in Zusammenarbeit mit dem Geographischen Institut unter Leitung von Herrn Prof. Dr. D. Busche durchgeführten Untersuchungen sollten bebaute bzw. versiegelte Flächen von unversiegelten Freiflächen bzw. Vegetationsflächen unterschieden werden. Die Abschätzung erfolgte an Infrarotluftbildern mit Hilfe einer Rasterfolie, wobei die Anteile für eine 20 x 20 m große Fläche auf 5% Stufen geschätzt wurden. Nach arithmetischer Mittelung der Prozentwerte erfolgte die Darstellung in einem 100 x 100 m Raster, das in das Gauß-Krüger-Netz eingepaßt ist (Abb. 2). In digitalisierter Form wurde das Ergebnis als Matrix in das Umweltkataster eingelesen.

### 2.2. Darstellung der digitalen Verarbeitung mit Landsat TM Daten

Der Versuch, die oben beschriebene visuelle Methode durch eine digitale Verarbeitung zu ersetzen, wird im wesentlichen durch 2 Komponenten begünstigt. Zum einen kann die von der Planung für ausreichend befundene räumliche Auflösung der

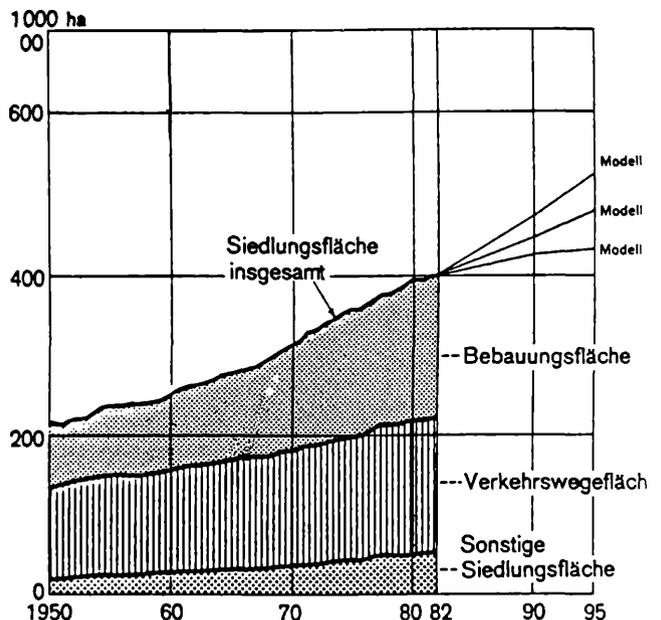


Abbildung 1

Entwicklung des Flächenverbrauchs in Baden-Württemberg von 1950 bis 1978

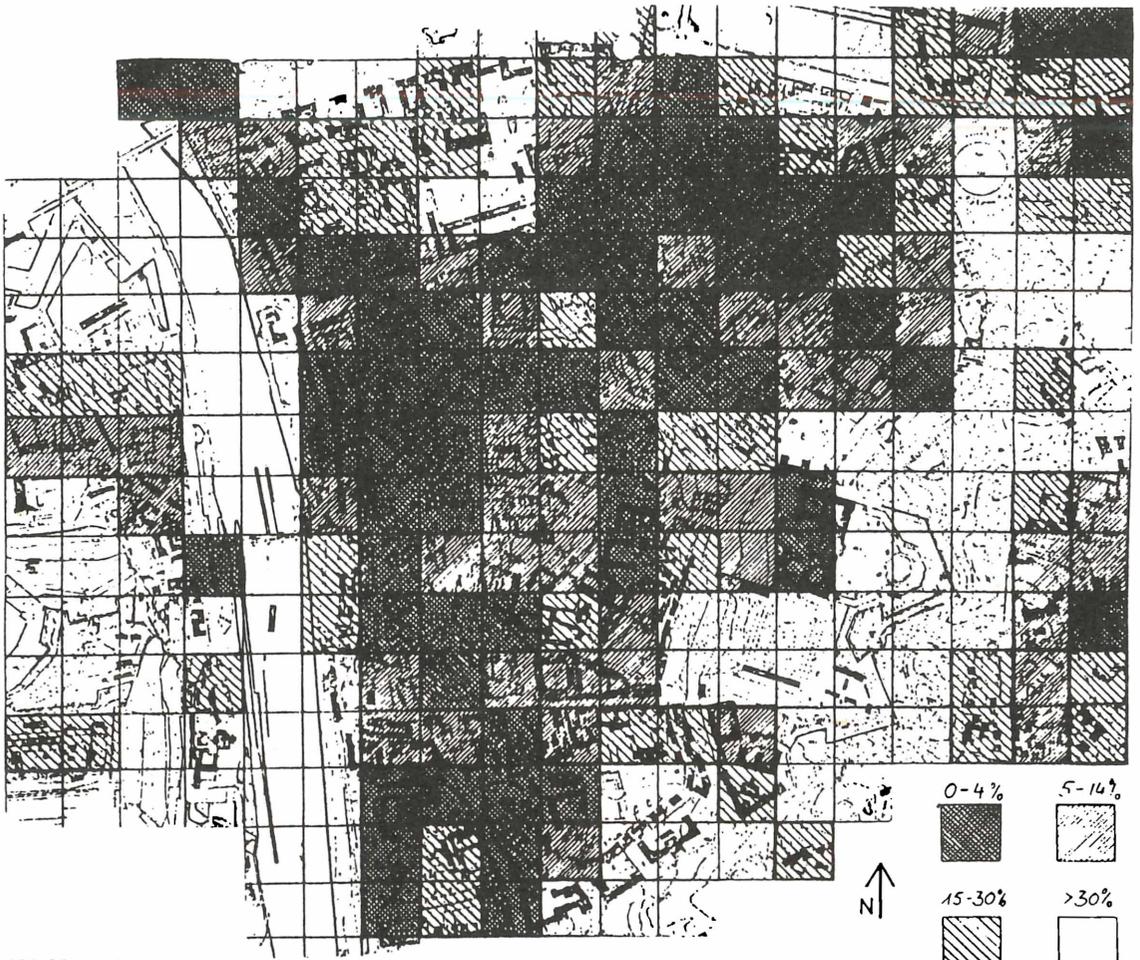


Abbildung 2

Flächenbilanz der unversiegelten Freiflächen in % in der Altstadt von Würzburg

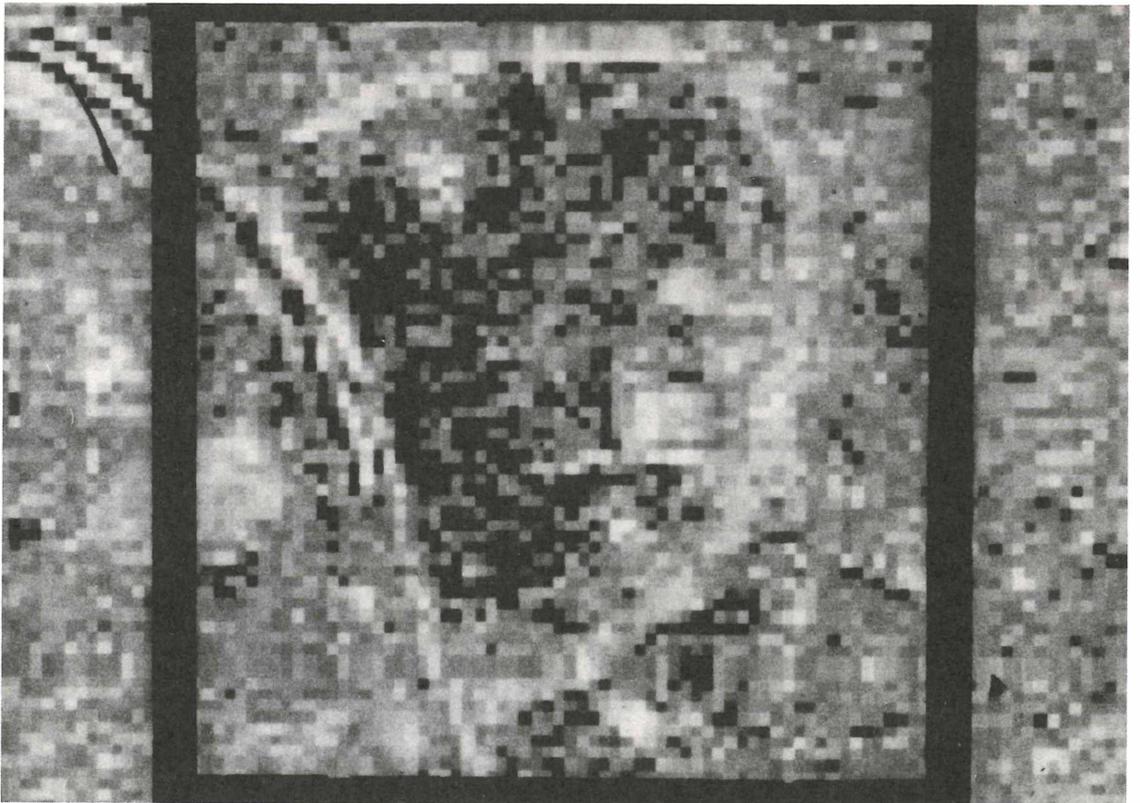


Abbildung 3

Flächenbilanz der versiegelten Flächen im Stadtgebiet von Würzburg aus einer Ratiobildung von Landsat 5 TM Daten

Bearbeitung von 100 x 100 m durch Landsat TM, dessen räumliche Auflösung in den interessierenden Kanälen 30 x 30 m beträgt, erreicht werden, zum anderen ist der TM was seine spektrale Charakteristik anbelangt primär für Vegetationsuntersuchungen geeignet.

### 2.2.1. Bearbeitungsmethode

Die Herausarbeitung und Darstellung von Vegetation zu Nichtvegetation erfolgt in der digitalen Bildverarbeitung mittels sogenannter Ratiobildungen. Abb. 4 zeigt einige der gängigen Verarbeitungen, deren genaue Ausprägung vielfach empirisch ermittelt wurde. Für das angestrebte Ergebnis wurde ein Vegetationsindex aus den Kanälen 5 und 4 erarbeitet. Das so erhaltene einkanalige Ergebnisbild wurde als Äquidensitendarstellung farbcodiert ausgegeben, wobei der in Abb. 3 zunehmende Frei- bzw. Vegetationsflächenanteile entsprechen. Der schwarz umrandete Ausschnitt entspricht der Darstellung in Abb. 2.

### 2.3. Vergleich und Ergebnis

Der Vergleich des digital erhaltenen Ergebnisbildes mit dem der visuellen Ausarbeitung zeigt, daß mit beiden Methoden ein nahezu identisches Raumpattern erzeugt werden konnte. Es ist in diesem Fall also möglich, Landsat TM Daten auf kommunaler Ebene einzusetzen.

Dabei kommt die von der Stadtplanung ebenso wie in der Umweltforschung vielfach geforderte Rasterdarstellung dem eingeschränkten räumlichen Auflösungsvermögen des TM entscheidend entgegen.

Die Einspielung des Ergebnisses in ein Informationssystem auf der Grundlage eines Gauß-Krüger-Meßnetzes ist ebenfalls problemlos möglich, da Gauß-Krüger-Entzerrungen inzwischen zu den grundlegenden Arbeitsschritten der digitalen Bildverarbeitung gerechnet werden können.

## 3. Landnutzungsklassifikation

Landnutzungsklassifikationen zählen zu den klassischen Anwendungen der Fernerkundung. Bei der hier vorgestellten Maximum-Likelihood-Klassifikation (Abb. 5) wird die Gesamtfläche nach den 4 Hauptnutzungsklassen Wald, Gewässer, Besiedlung und Agrarfläche bilanziert. Innerhalb dieser Klassen wird dann nach Siedlungsdichten (Abb. 5), Waldarten und auf der agraren Nutzfläche nach Anbauprodukt, Stand der Bodenbearbeitung und phänologischer Phase unterschieden. Um einen der Auswertung angemessenen Generalisierungseffekt zu erhalten, wurde das Ausgabebild mit dem Median-Filter bearbeitet. Den jeweils zugehörigen Prozentanteil der einzelnen Klassen kann man aus Abb. 6 entnehmen.

### 3.1. Beurteilung des Ergebnisses

Das vorliegende Ergebnis entspricht was den quantitativen Aspekt betrifft einer in Abb. 1 dargestellten Auswertung.

Es konnten in dieser Auswertung aber weit weniger Klassen ausgewiesen werden, als es z. B. DECH (1987) in der Sommeraufnahme des vergleichbaren Gebietes gelang. Als Hauptgrund muß der frühe Aufnahmezeitpunkt dieser Aufnahme (April) genannt werden. Auf der Agrarfläche war zu diesem Zeitpunkt zu wenig differenzierbare Vegetation bzw. registrierbare Chlorophyllanteile vorhanden. DECH erreichte seine höhere Klassenzahl im wesentlichen durch eine hohe Klassenzahl der Anbauprodukte.

Es bleibt festzuhalten, daß die Klassenzahl stark von diesen saisonalen Aspekten abhängen. Im Idealfall sollte man für derartige Verarbeitungen multitemporale Datensätze verwenden. Mit derartigen Datensätzen ließen sich auch die vorhandenen Fehlklassifizierungen mindern. Eine weitere Möglichkeit, die zu einem erheblichen Anteil auf expositionsbedingten Einfluß zurückzuführenden

Name	Formula	Example
Simple subtraction	$IR - R$	Pearson <i>et al.</i> (1976)
Simple division	$\frac{IR}{R}$	Kanemasu (1974)
Complex division	$\frac{IR}{R + \text{other wavelengths}}$	Carter and Gardner (1977)
Simple multiratio (vegetation index)	$\frac{IR - R}{IR + R}$	Ashley and Rea (1975)
Complex multiratio (transformed vegetation index)	$\sqrt{\frac{IR - R}{IR + R} + 0.5}$	Rouse <i>et al.</i> (1973)
Perpendicular vegetation index (vegetation reflectance departure from soil background)	$\sqrt{(R^{soil} - R^{veg})^2 + (IR^{soil} - IR^{veg})^2}$	Richardson and Wiegand (1977)
Green vegetation index (for use with Landsat wavebands)	$-0.29(G) - 0.56(R) + 0.60(IR) + 0.49(IR)$	Kauth and Thomas (1976)

Abbildung 4

Ratiobildungen aus den Rot- und Infrarotkanälen



**Abbildung 5**

**Maximum Likelihood Klassifikation von Würzburg und Umgebung aus Landsat 5 TM Daten**

Ausgewählte Spektralkanäle: 2 3 4 5 7  
 Anzahl der Klassen: 10  
 Sigma (Vielfaches der Standardabweichung): 3.5  
 Anzahl maximal mögl. Funktionsaufrufe: 2621440  
 Anzahl benötigter Funktionsaufrufe: 1301783 (49.7%)

Klasse	Identifizierung	Grauwert	Prozent
1	Gewässer	0	1.0
2	Nadelwald	40	3.6
3	Mischwald	70	10.2
4	Laubwald	90	13.3
5	Landwirtschaft.Nutzfl. I	110	7.7
6	Landwirtschaft.Nutzfl. II	130	13.2
7	Landwirtschaft.Nutzfl.III	150	26.7
8	Dichtbebaut	180	3.1
9	Lockerbebaut	200	3.9
10	Durchgrünt	220	17.2
	Zurückweisung	255	0.2

**Abbildung 6**

**Ergebnis der Flächenbilanz aus einer Maximum-Likelihood Klassifikation von Würzburg und Umgebung in % Flächenanteile; Grundlage Landsat 5 TM**

Fehlzuweisungen zu verringern, ist die Verwendung von digitalen Geländemodellen.

Allgemein kann man sagen, daß flächenhafte Information ab einer bestimmten Mindestgröße gut erfaßt wird, - z.T. können einzelne Pixel zugeordnet werden - daß aber linienhafte Information nur partiell zu gewinnen ist.

### 3.2. Visuelle Nachführung der digital vorverarbeiteten Bilddaten

In einem weiteren Arbeitsschritt war versucht worden, über eine visuelle Nachbearbeitung des Klassifikationsergebnisses in Verbindung mit den Falschfarbenkompositen die Klassenzahl zu erhöhen und

# SIEDLUNGSWACHSTUM IM KÜRNACHTAL



- SIEDLUNGSFLÄCHE
- 1945
  - 1959
  - 1986
  - geplant
  - unbebaute Fläche

- GRENZEN
- morphologisches Einzugsgebiet -Jör Körnach
  - Gemeindegrenze
  - Grenze der Siedlungsfläche
  - Straße

Entwurf und Zeichnung R. Patsch 1987



Abbildung 7

gleichzeitig die vorhandenen Fehlzuweisungen zu verringern.

Es war versucht worden, die im Flächennutzungsplan vorhandenen Klassen zu erfassen. Insgesamt konnten 25 Klassen auskartiert und die Genauigkeit deutlich verbessert werden. Als wesentliche Parameter für diese Verbesserung sind die erweiterten Bestimmungsgrößen v.a. Regionalkenntnis des Interpreten, Einbeziehung der Textur und Integration logischer Lagebeziehungen zu nennen.

Als negativ hat sich bei diesem Verarbeitungsschritt die Subjektivität des Interpreten und die aus der allgemeinen Farbenlehre bekannten Phänomene wie das Problem der Umfeldfarben und des bunten Simultankontrastes (vergl. KÜPPERS 1986) erwiesen.

Trotzdem hat sich die visuelle Nachführung digital vorverarbeiteter Bilddaten als sinnvolle Alternative an diesem regionalen Beispiel bewährt.

### 3.3. Diskussion qualitativer Aussagen

Für viele Fragestellungen des Umweltschutzes ist es wichtig, neben der rein quantitativen Bilanzierung, die ja zu einem bestimmten Teil bereits von den Statistischen Landesämtern vorgenommen wird, qualitative Aussagen zu erarbeiten. Zu diesen qualitativen Aspekten gehört die Darstellung des räumlichen Beziehungsgefüges umweltrelevanter Sachverhalte. Die Verortung von Phänomenen kann nur durch aufwendige Kartierung oder mit Methoden der Fernerkundung erreicht werden. Durch die Verknüpfung von Zeitschnitten (multitemporaler Aspekt) wird es darüberhinaus möglich, die diesen Erscheinungen innewohnende Raumdynamik zu dokumentieren. In Verbindung mit weiteren Informationen gelangt man zu abgelei-

teten Planungsgrundlagen. Im nächsten Abschnitt sollen diese Aussagen verifiziert werden.

### 3.3.1. Raum-Zeit-Darstellung der Siedlungsentwicklung

Da keine multitemporalen Landsat-Aufnahmen vorlagen, wurde die hier vorgestellte Verarbeitung mit Luftbildern durchgeführt.

Es sei noch einmal ausdrücklich betont, daß eine derartige Verarbeitung mit TM-Daten mit einer etwas höheren Fehlerquote möglich ist.

Die Ausarbeitung Abb. 7 (PATSCHE 1987) zeigt die Siedlungsentwicklung in einem Würzburger Seitental (Kürnachtal). Bei den Aufnahmen von 1945 handelt es sich um Kriegsaufnahmen der Alliierten, die vom historischen Luftbildarchiv, Fa. Stereodata in Würzburg zur Verfügung gestellt wurden.

Aus der Darstellung ist der dramatische Flächenverbrauch zu ersehen (quantitativer Aspekt). Daneben wird deutlich, daß dadurch der Talausgang zunehmend abgeriegelt wurde (qualitativer Aspekt). In dem nachfolgenden dritten Beispiel wird deutlich, welche weitreichenden Konsequenzen diese Bebauung für das Regionalklima hat (abgeleitete Information).

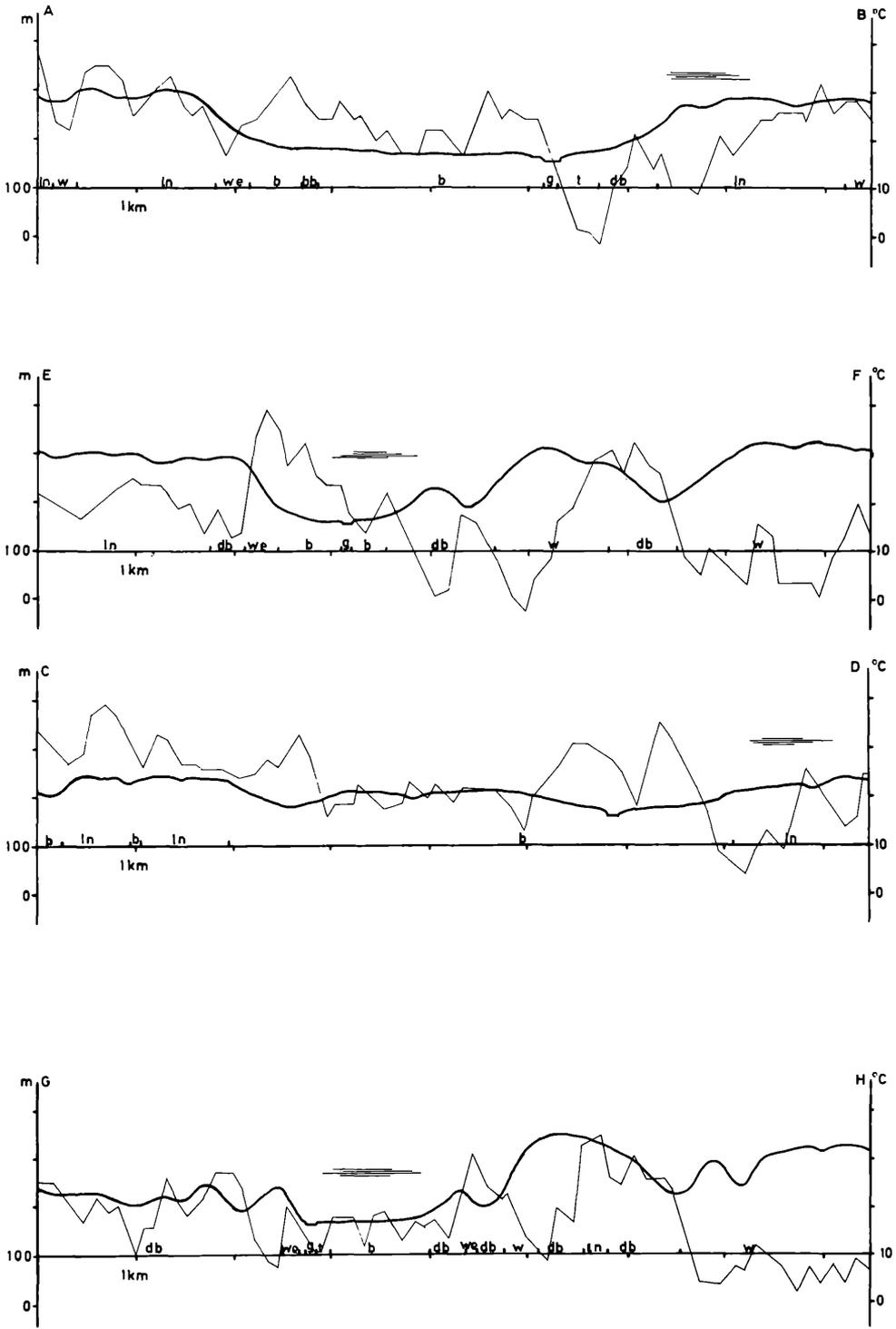
### 4. Verwendung von Landsat TM Daten zur Darstellung der Oberflächentemperatur

Das dritte Beispiel soll verdeutlichen, wie Landsat Daten für klimatologische Untersuchungen herangezogen werden können. Weiterhin wird aufgezeigt, daß die Verknüpfung mit anderen Daten für komplexe Aussagen sinnvoll ist.



Abbildung 8

Oberflächentemperaturen von Würzburg und Umgebung aus Landsat 5 TM Daten, Kanal 6



ZEICHG. U. ENTW.: R. GLASER '85

- |    |                      |    |                   |
|----|----------------------|----|-------------------|
| b  | Bebauung             | ln | Landw. Nutzfläche |
| bb | Bundesbahn           | w  | Wald              |
| db | durchgrünte Bebauung | we | Weinberg          |
| g  | Gewässer             | t  | Wiese             |
- Parallelschraffur = Wolken - keine absolute Höhenangabe

**Abbildung 9**  
**Strahlungstemperaturprofile von Würzburg aus Landsat 5 TM, Kanal 6**

#### 4.1. Beschreibung von Systemparametern, Einflußgrößen und Verarbeitung

Kanal 6 des TM registriert elektromagnetische Strahlung im Bereich des thermischen Infrarots. Unter Berücksichtigung systemspezifischer und physikalischer Einflußgrößen ist es möglich, aus den Digitalwerten (Strahlungstemperaturen) Oberflächentemperaturen zu bestimmen. Zu diesen Einflußgrößen gehören u. a. die Emissivität der Oberflächen, atmosphärische Beeinflussung u. a. m. Aus der in Abb. 8 ausgegebenen Äquidensitendarstellung, die darüberhinaus mit einem Textoverlay versehen wurde, lassen sich nun nach Grauwerten abgestuft die Oberflächentemperaturen der Region Würzburg in einer Rastergröße von 120 x 120 m erkennen.

#### 4.2. Interpretation des Ergebnisses

Das vorliegende Ergebnis ist als Relativkarte der Oberflächentemperaturen zu verstehen.

Hohe Temperaturen sind im Bereich hoher Siedlungsdichten v. a. auch in Industrie- und Eisenbahngebieten festzustellen. Kühl erscheinen die Waldgebiete und Gewässer. Als Abflußleitlinien bzw. -flächen dienen v. a. die Talhänge und Seitentälchen, als Hauptkaltluftsammlinien die größeren Täler. Diese starken Temperaturkontraste zwischen warmen Siedlungsflächen und kühlen Ausgleichsflächen können gerade bei der Talkessellage des Stadtgebietes für die klimatischen Verhältnisse sehr wichtig sein. Nur Methoden der Fernerkundung können derartige flächendeckende Information liefern.

Um die Abhängigkeit der Oberflächentemperaturen von Bodenbedeckungsart und Relief zu verdeutlichen, wurden in Abb. 9 diese drei Komponenten in mehreren Profillinien miteinander in Beziehung gesetzt.

#### 4.3. Verknüpfung der TM Daten mit weiteren Informationen

Um zu einer abgeleiteten Klimabeurteilung der Region Würzburg zu kommen, wurden weitere Daten herangezogen. Zum einen waren das Ergebnis einer Klimauntersuchung, die von TEICHTWEIER (1983) mittels Temperaturmeßfahrten durchgeführt wurden, zum anderen konnten Daten des Deutschen Wetterdienstes verwendet werden. Der Vergleich der Ergebnisse mit denen von Teichtweier zeigt eine hohe Übereinstimmung.

Mit aus Daten des DWD abgeleiteten Windrosen konnte die Wirksamkeit der einzelnen Kaltluftstränge für das Stadtgebiet beurteilt werden. Man erkannte deutlich, daß auf der Fläche mit ganzjährig wechselnden Windrichtungen gerechnet werden muß, daß aber am Talboden eine starke Abhängigkeit von der Talformung festzustellen ist.

In der Synopsis mit den Ergebnissen aus der Flächenbebauung läßt sich nun auch ableiten, daß die Abriegelung des Talausganges offenbar dazu geführt hat, die eigentlich zu erwartende Kaltluftversorgung aus diesem Talbereich erheblich zu mindern! Hier könnte man der Planung konkrete Hinweise auf zukünftige Maßnahmen geben.

**Fazit:** Es kann nach den bisherigen Erfahrungen festgestellt werden, daß Landsat TM Daten auch

auf kommunaler Ebene eingesetzt werden können. Dabei müssen hinsichtlich der räumlichen Auflösung Restriktionen hingenommen werden, die aber durch die vielfach von der Umweltforschung für ausreichend befundenen Rasterdarstellungen nicht in dem Maße ins Gewicht fallen.

Die visuelle Nachführung hat sich als hilfreich erwiesen. Darüberhinaus konnte festgestellt werden, daß gerade aus der Zusammenschau von Satellitendaten und sonstigen Planungsinformationen abgeleitete und neue Erkenntnisse gewonnen werden können.

#### 5. Zusammenfassung

An drei Beispielen (Landnutzung, Flächenversiegelung und Relativkarte der Oberflächentemperatur) wird an einer Subszene von Würzburg und Umgebung dargestellt, wie Landsat TM Daten zu Fragen der Flächenbilanzierung herangezogen werden können. Hierbei wird deutlich, daß in der gerade für qualitative Aspekte des Umweltschutzes notwendigen flächenhaften Registrierung des Raumgefüges ein unschätzbare Vorteil dieser Daten liegt. Restriktionen treten hingegen aufgrund der räumlichen Auflösung der Scanner auf. Häufig fallen diese Restriktionen aber deshalb nicht ins Gewicht, weil die Umweltforschung in der Darstellung von räumlichen Sachverhalten vermehrt auf Rasterwerte übergeht. Die Nutzenanwendung dieser Daten kann v. a. durch die Integration weiterer Planungsinformation gesteigert werden.

Eine visuelle Nachführung der digital vorverarbeiteten Bilddaten hat sich auf der hier bearbeiteten regionalen und kommunalen Ebene als äußerst hilfreich erwiesen. Es kann nach den bisherigen Erfahrungen festgestellt werden, daß TM-Daten auch auf kommunaler Ebene sinnvoll eingesetzt werden können.

#### 6. Literatur

CURRAN, P. (1980): Multispektral Remote Sensing of Vegetation Amount. - Progr. i. Physic. Geogr. 4 (3): 315-341.

DECH, S. W. (1987): Erfassung der Landnutzungsstrukturen nordwestlich von Würzburg anhand digitaler, multispektraler LANDSAT-5-Thematic-Mapper-Daten. DFVLR-FB 87-37, 180 S.

GLASER, R. (1986): Fernerkundung mit Landsat-5-Thematic-Mapper. Anwendungsmöglichkeiten am Beispiel von Würzburg und Umgebung, auch unter Berücksichtigung verschiedener Planungsebenen. - DFVLR-FB 86-62, 128 S.

KÜPPERS, H. (1986): Das Grundgesetz der Farbenlehre, 216 S.

PATSCH, R. (1987): Anthropogen bedingte Bodenversiegelung am Beispiel des Kürnachteles. - Univ. Würzburg, Geogr. Inst., Diplomarbeit.

STADLER, R. (1983): Trendwende beim Landschaftsverbrauch? Baden-Württemberg in Wort und Zahl 31: 207-216.

STADTPLANUNGSAMT WÜRZBURG (1983): Stadtökologische Untersuchungen; Heft 1.

TEICHTWEIER, C. (1983): Ausgewählte Aspekte zum Stadtklima. Die thermischen und lufthygienischen Verhältnisse im Stadtgebiet von Würzburg. - Univ. Würzburg, Geogr. Inst., Diplomarbeit.

#### Anschrift des Verfassers:

Dr. Rüdiger Glaser  
Geographisches Institut  
Am Hubland  
D-8700 Würzburg

# Kriegsflugbilder 1940 – 45: Ein Hilfsmittel bei der Verdachtsflächenermittlung von Kriegsaltslasten und in der Umweltplanung

R. Glaser & H.-G. Carls

Das Problem der Kriegs- und Rüstungsaltslasten wurde in den letzten Jahren durch spektakuläre Funde von Bombenblindgängern sowie von Rüstungsaltslasten ausgehenden Grundwasserverunreinigungen immer mehr in das Bewußtsein von Planungsbehörden und Öffentlichkeit gerückt. Zu Kriegs- und Rüstungsaltslasten zählen alle Arten von Munitions- und Kampfstoffresten sowie deren Produktionsstandorte aus dem II. Weltkrieg, von denen eine Gefahr oder Beeinträchtigung für die menschliche Gesundheit oder die Umwelt ausgeht. Aufgrund der Korrosionsanfälligkeit der Behältnisse und Anlagen und der Wandergeschwindigkeit der Stoffe im Boden und Grundwasser muß in Zukunft vermehrt mit Grundwasserbeeinträchtigungen gerechnet werden. In den letzten Jahren ist bereits eine kaum mehr abzuschätzende Menge großflächig verteilter Stoffe in den Untergrund gesickert. Sprengstoffspezifische Fremdstoffe werden inzwischen im Grundwasser mehrerer Altstandorte nachgewiesen, Kontaktbereiche im Boden sind bereits in vielen Fällen kontaminiert.

Eine systematische flächendeckende Erfassung, Untersuchung und Sanierung dieser Standorte und der betroffenen Ressourcen erscheint heute dringend geboten. Aus rechtlicher Sicht sind die Planungsbehörden verpflichtet Vorsorge vor möglichen Beeinträchtigungen und Schäden zu treffen, die aus diesem Problemkreis resultieren. Kriegsflugbilder sind heute eine wertvolle zusätzliche Planungshilfe für alle mit der Verdachtsflächenermittlung befaßten Disziplinen. Darüberhinaus kann ihr Informationsgehalt auch von Fachbereichen wie z. B. Natur- und Umweltschutz, Stadt- und Landschaftsplanung, Wasserwirtschaft oder Flurbereinigung benutzt werden.

Der vorliegende Beitrag verdeutlicht an Fallbeispielen wie Kriegsflugbilder bei der Lösung umwelt- und planungsrelevanter Probleme herangezogen werden können. Da mit den Kriegsflugbildern derzeit nur ein kleiner Expertenkreis vertraut ist, sollen zuerst die für diese Bilddaten typischen Charakteristika kurz vorgestellt werden.

## I. Bildcharakteristika

Man schätzt den heute verfügbaren Bestand an stereoskopisch auswertbaren panchromatischen Senkrechtluftaufnahmen (aerial reconnaissance photographs) aus dem Zeitraum 1940 – 1945 für das Gebiet der Bundesrepublik auf ca. 3 – 5 Mio. Hinzu kommt eine bislang unbekannte Anzahl von sogenannten Kampfaufnahmen (combat photographs) mit schrägem und senkrechtem Aufnahmewinkel, die von jedem einzelnen Piloten während des Luft-

angriffes ausgelöst wurden. Die inhaltlichen Ergebnisse dieser Bildflüge können mit wenigen technisch bedingten Einschränkungen mit heutigen verglichen werden. Grundlegende Unterschiede zu heutigen Bildflügen ergeben sich aber aus den damaligen Rahmenbedingungen, da die Aufnahmebedingungen neben den technischen Möglichkeiten von den militärischen Gegebenheiten diktiert waren.

Diese Unterschiede zu heutigen Bildflugergebnissen sind primär unter temporal/saisonalen und weniger unter technischen Aspekten zu sehen, beispielsweise Aufnahmen zu allen Jahreszeiten, also auch mit Schneebedeckung am Boden, oder Aufnahmen zu sehr späten Tageszeiten mit entsprechendem Sonneneinfallswinkel. Aus den militärischen Gegebenheiten resultieren darüberhinaus z. T. abrupt wechselnde, eher linienhafte Flugstreckenverläufe mit räumlich voneinander abgesetzten Bildfluggebieten. Bildflüge (engl. sortie) und Bildfluggebiete wurden damals eindeutig registriert (engl. sortie plot).

Im Durchschnitt wurde aus Höhen von 6.000 – 10.000 m mit Brennweiten von 152.4 mm – 1016 mm (Weitwinkel-Supertele) aufgenommen. Zu den Besonderheiten zählt auch der synchrone Einsatz von mehreren Kammern unterschiedlicher Brennweite, Aufnahmeachsen und Bildformate. Als typisch kann die spezifische Kameraanordnung von um etwa 10° voneinander geneigten Aufnahmeachsen (split vertical) gelten. Hieraus resultieren neben kleinmaßstäbigen Übersichten (1 : 50.000) mittel- bis großmaßstäbige Reihenmeßbilder (1 : 5000 – 1 : 10.000).

Der Einsatz von synchron arbeitenden Meßkammern unterschiedlicher Brennweiten und Aufnahmeachsen erlaubte die Abdeckung großer Bildfluggebiete während eines Überfluges. Im Regelfall ergaben sich bei der sogenannten split-vertical Anordnung zwei synchron aufgezeichnete Flugstreifen. Jeder dieser Streifen weist in Flugrichtung stereoskopisch auswertbare Überlappungen von 60 – 80% und Querüberlappungen von 2 – 10% auf (Abb. 1).

Ziele der Befliegungen waren in erster Linie Siedlungen, Industrieanlagen, Verkehrsinfrastruktureinrichtungen (Straßen, Bahnlinien, Häfen, Kanäle, Flughäfen) sowie sonstige militärische Einrichtungen. Ein ganz wesentlicher Teil der außerhalb dieser Gebiete aufgenommenen Aufklärungsphotos dient uns heute als Beleg für die damalige Kultur- und Naturlandschaft. Aus diesem Grunde müssen derartige Daten als Informationsquellen für alle im weitesten Sinne mit Raum und Zeit befaßten Disziplinen und Institutionen wie z. B. Umwelt- und Planungsbehörden gelten.

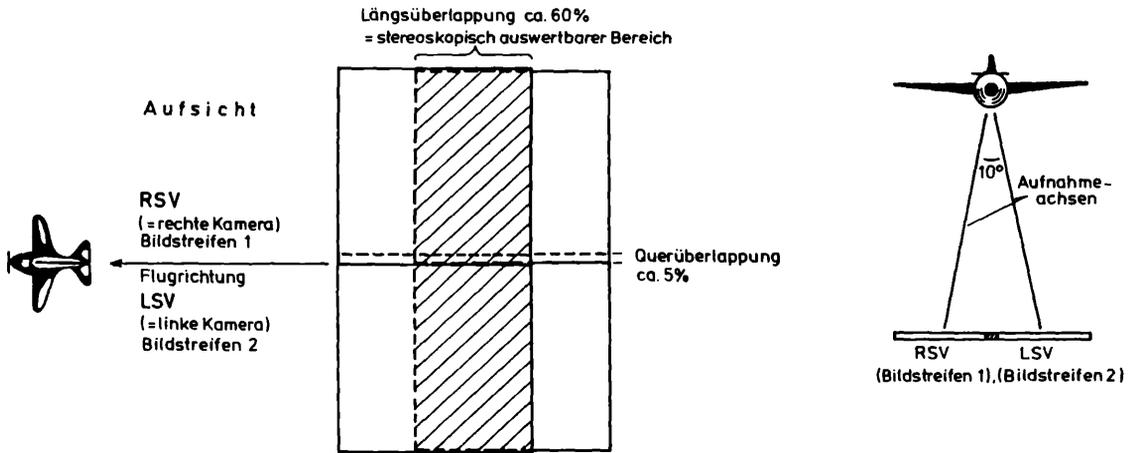


Abbildung 1

Anordnung der Flugstreifen bei der split-vertical Konfiguration

**1. Heutige Bildqualität und Möglichkeiten der Bildverbesserungen**

Die bislang nur noch in Form von Papierkontaktkopien verfügbaren Bilddaten unterscheiden sich im Qualitätsstandard, abgesehen von Alterungerscheinungen, nicht grundsätzlich von rezenten Aufnahmen. Reproduziert wird heute noch überwiegend mit Hilfe der konventionellen Reprotechnik (Zwischennegativ). Optische Bildverbesserungen sind über moderne Bildverarbeitungsmethoden, wie z. B. quasi verlustfreie Reproduktionen über Scannerverfahren, möglich.

**II. Kriegsluftbilder in der Verdachtsflächenermittlung von Kriegsaltlasten**

**1. Fallbeispiel: Rüstungsaltlasten**

Der Problemkreis der Rüstungsaltlasten soll im vorliegenden Fall im Rahmen einer möglichen Verfahrensabwicklung erläutert werden. Die Verfahrensabwicklung läßt sich in die Komponenten Verdachtsflächenermittlung, Gefahrenabschätzung, Untersuchung, Beurteilung und Sanierung gliedern.

**1.1. Erfassung**

Der grundlegende Schritt in der Verfahrensabwicklung ist die systematische und flächendeckende Erfassung von Verdachtsflächen. Ausgangspunkt ist dabei der Besorgnisgrundsatz, da strenggenommen fast in allen Fällen Verunreinigungen oder nachteilige Veränderungen wahrscheinlich sind (PREUSS et al. 1988). Auf die Rüstungsaltlasten bezogen können sowohl Kriegsluftbilder als auch Karten (Baupläne, Skizzen, Stofflisten), Akten und Augenzeugenberichte als Informationsquellen herangezogen werden. DODT (1987) weist in diesem Zusammenhang ausdrücklich auf den besonderen Wert des Informationsträgers Luftbild im multitemporalen Einsatz hin.

Im Rahmen dieser ersten Verfahrensstufe kommt der systematischen Interpretation von Vorkriegs-, Kriegs- und Nachkriegsluftbildern eine Schlüsselstellung zu. Für die Zeit 1939–45 kann meist nur mit Hilfe dieser fast nach jedem Angriff aufgenommenen Aufklärungsluftbilder das für die Ab-

schätzung der Gefährdung notwendige Ausmaß der Kriegszustörungen rekonstruiert werden. Ein ökonomischer Einsatz des Arbeitshilfsmittels Luftbild im Rahmen der Interpretation setzt voraus, daß auch zu den historischen Luftbildserien aus der Kriegszeit zumindest Bildflugübersichten, besser noch auf die TK 1 50 000 bezogene Bildmittenübersichten (Abb. 2) verfügbar sind. Neben einem Überblick über die räumliche Verteilung der Bilddaten sind speziell für den Zeitraum vor 1950 Übersichten zur zeitlichen Verteilung der Bildflüge im Arbeitsgebiet zu fordern. Fehlen diese Unterlagen, so ergeben sich bereits bei der Festlegung der sogenannten Zeitschnitte (in die Auswertung einzubeziehende Luftbildsequenzen) Probleme. Eine optimale problemgerechte Auswahl der Zeitschnitte im Rahmen der multitemporalen Luftbildinterpretation setzt ein vollständiges und aktuelles Bestandsverzeichnis aller heute verfügbaren Bildflüge voraus.

Die Erfassung der Altlasten im Sinne einer deskriptiv historischen Raumanalyse (JÄGER 1987) muß durch eine Überprüfung der Befunde im Gelände (groundcheck) und durch eine Erhebung der geökologischen Rahmenbedingungen ergänzt werden. Die lokalisierten Flächen können dann – wie bereits in einigen Fällen geschehen – in Informationssysteme oder Kataster übertragen werden. Bereits in dieser Phase kann eine erste Abschätzung der Gefährdungsstufe erfolgen. Ziel dieses ersten Schrittes ist also die räumliche und funktionale Zuordnung von Verdachtsflächen und eine vorläufige Gefährdungsabschätzung.

**1.2. Untersuchung und Bewertung**

Auf die Erfassung der Verdachtsflächen folgen Untersuchungen, die Auskunft über den Stoffeintrag, Reaktionen, Belastungen und Gefährdungen geben. Im Idealfall können aus der Funktionszuweisung die verfahrenstechnischen Abläufe rekonstruiert werden. Die Bestimmung der dabei verwendeten Stoffe bzw. Produkte kann über Stofflisten ergänzt werden. Erst dann kann eine qualitative Beurteilung der stofflichen Belastung erfolgen. Die Beurteilung stellt auf die aktuelle, zukünftige oder auch potentielle Inanspruchnahme der belasteten Flächen ab. Sie ist Grundlage für ein umfassendes Sanierungskonzept.





Anl. 1  
Plan der Kampfmittelproduktionsstätte



**Abbildung 3**

**Das Gelände einer ehemaligen Munitionsproduktionsstätte im Kriegsluftbild, Aufnahme Frühjahr 1945 (vgl. Abb. 4)**

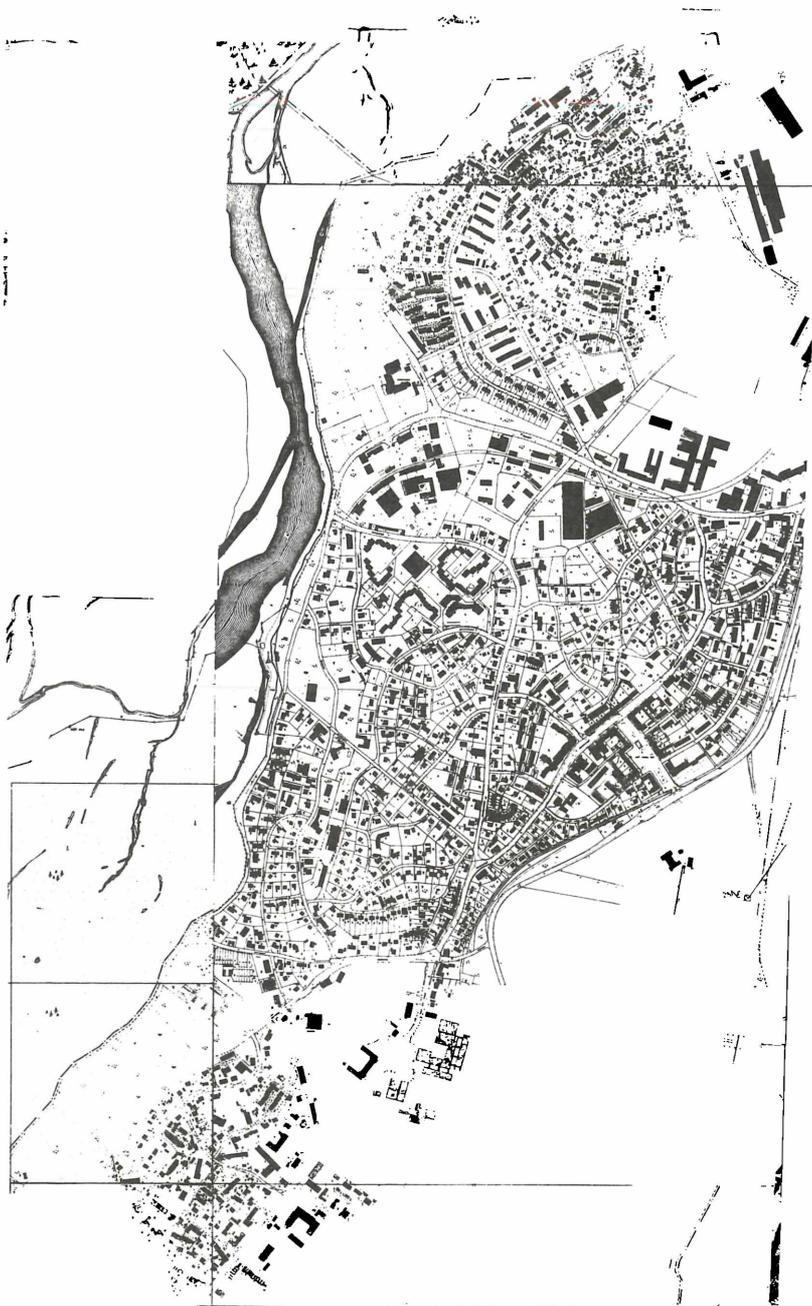
dungen, Bronchitis und Lungenleiden. Die technische Gewinnung erfolgt durch Überführung von Phenol in konzentrierte Salpetersäure, Herausfilterung der entstandenen Blättchen, Waschen, Trocknen und Sieben. Die geringe Stoßempfindlichkeit führt zur Eignung als Granat- und Bombenfüllung (MAURER 1988).

### 1.3.2. Die Herstellung des Pentrits (Auszug)

Pentrit oder auch Nitopenta, Penta, Niperyt, PETN und Nitropentaerythrit genannt, ist bei guter Stabilität und relativ geringer Empfindlichkeit einer der stärksten und brisantesten Sprengstoffe. Es wird

durch Eintragen von Pentaerythrit in konzentrierte Salpetersäure unter guter Kühlung hergestellt. Der größte Teil des gebildeten Tetranitrats kristallisiert hierbei aus der Säure aus. Zur Ausfällung des Restes genügt eine Verdünnung auf ca. 70%  $\text{HNO}_3$ . Das gewaschene Rohprodukt wird zur Reinigung aus Aceton gefällt.

Im Nitrator (Anlage 07,09.109) wurden 1000 kg 99%iger Salpetersäure in 200 kg Pentaerythrit eingetragen. Ein Edelstahlrohrsystem förderte die Salpetersäure aus den Lagern in ein Dosiergefäß, danach in den Nitrator. Eine Vakuumleitung saugte das Pentrit aus den Lagern in den Vorrats- und Dosierbehälter, Schnecken besorgten die Eintragung



**Abbildung 4**

**Überbauung auf dem  
ehemaligen Produktions-  
gelände, Zustand 1982.**  
(Vgl. dazu Luftbildaus-  
schnitt Abb. 3)

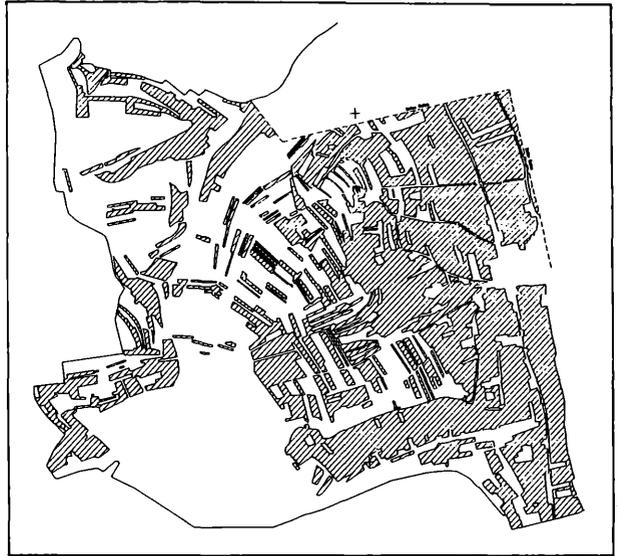
in den Nitrator. Eine Mantel- und Schlangenkühlung hielt die Temperatur konstant, danach erfolgte die Kühlung mit 5-10 Grad C kalter Natriumnitratlösung, wobei eine 20%ige Salpetersäure absetzte. Die so erhaltene kristalline Suspension wurde mit Weichwasser verdünnt, über Filter geleitet, das abgesaugte Pentrit in die Waschanlage eingeleitet, um die Restsäure auszuwaschen, dann gesammelt und in die Säureabteilung der Hochkonzentrationsanlage gebracht. Neutralisiert mit Natriumcarbonatlösung und feucht schüttete man das Pentrit in den Stabilisator, in dem es in Aceton bei einer Temperatur von 45 Grad C gelöst wurde – die Pentritkristalle fallen aus, während das Aceton abdestilliert. Aus den Kondensatoren floß verdünntes Aceton, das rektifiziert wurde (MAURER 1988).

#### 1.4. Folgerungen

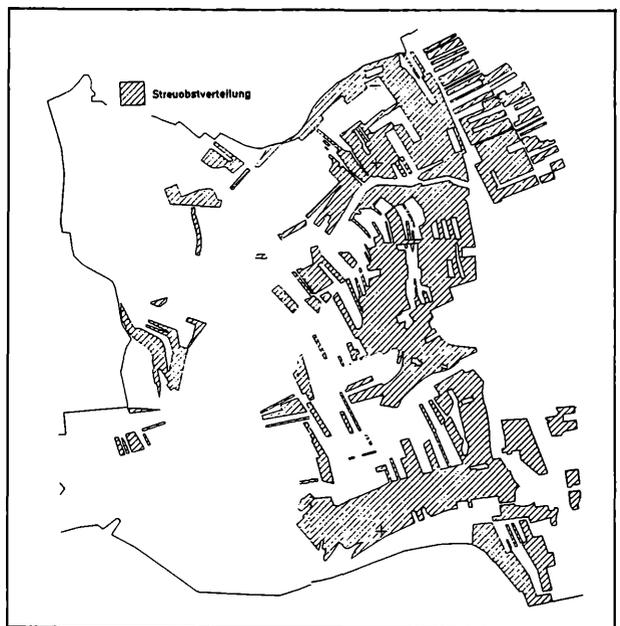
Mit möglichen Kontaminierungen muß man zunächst in allen Produktionstadien rechnen. Probleme traten schon im geregelten Produktionsablauf vor allem durch den großen Wasserbedarf und Abwasseranfall auf (Entsorgung, Selbstexplosionen und undichte Rohrleitungen etc.). Unkontrolliert wurde die Schädigung durch Zerstörungen infolge von Luftangriffen während des Krieges sowie durch Sprengungen, Demontage und Abrisse nach Kriegsende.

Das Produktionsgelände wurde bis auf den heutigen Tag keiner sachgerechten Sanierung unterzogen. Es ist inzwischen vollständig überbaut (Abb. 4). Sprengstoffspezifische Stoffe sind inzwischen im Grundwasser nachgewiesen.

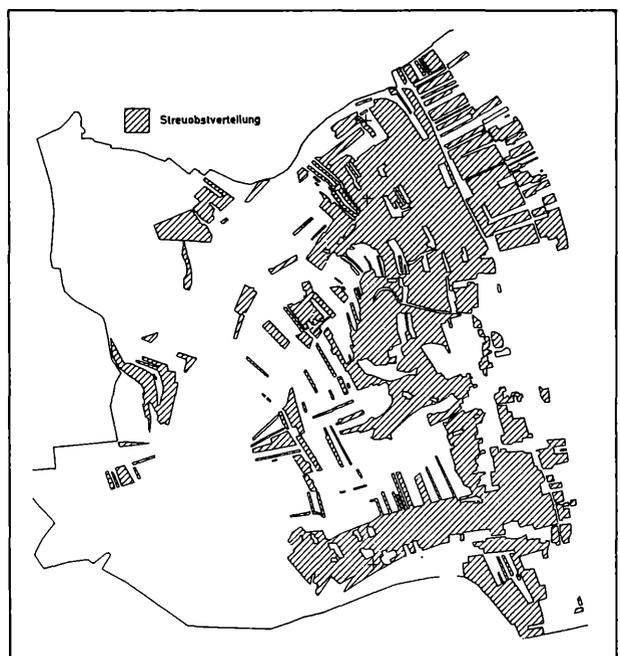
1945



1964



1983



**Abbildung 5**

Die Entwicklung des Streuobstbestandes bei Margetshöchheim, dargestellt in drei Zeitabschnitten



**Abbildung 6**

Ungeregelte Ablagerung von umweltgefährdeten Stoffen südlich von Troisdorf, Aufnahme Frühjahr 1945

### III. Kriegsluftbilder in der Umweltplanung

#### 1. Fallbeispiel: Beweisführung Landschaftsökologie

Die Umwandlung der Natur- und Kulturlandschaft im Rahmen von Flurbereinigungsmaßnahmen spielt heute bei einer qualitativen landschaftsökologischen Beurteilung eine entscheidende Rolle. Wesentliche Umstrukturierungen fanden erst nach Kriegsende statt. Somit kann man mit Hilfe der Kriegsluftbilder die oft entscheidende „Ausgangssituation“ für viele der in diesem Zusammenhang relevanten Entwicklungen erfaßt werden (Abb. 5).

#### 2. Fallbeispiel: Beweisführung Baurecht

Im Zuge rechtlicher Auseinandersetzungen ergibt sich z. B. im Problembereich „Schwarzbauten“ häufig die Notwendigkeit der Beweisführung. Der Zeitpunkt der Errichtung an sich genehmigungspflichtiger Anlagen kann in vielen Fällen anhand dieser Aufnahmen eingegrenzt werden. Speziell in den ersten Nachkriegsjahren kann man, bedingt durch die damaligen Zeitumstände, von einer Hochphase der Errichtung von Schwarzbauten sprechen. Die Kriegsluftbilder dokumentieren in diesem Zusammenhang den vielleicht wichtigsten Zeitschnitt.

### 3. Fallbeispiel: Entsorgung

Als typisch für die Zeit nach Abschluß der Kriegshandlungen im Mai 1945 kann eine unregelmäßige Entsorgung von stark umweltbelastenden Stoffen gelten. Die in den meisten Fällen unkontrollierte und wenig koordinierte Entsorgung dieser Stoffe z. B. durch unsachgemäße Verfüllung der zahllosen Bombenrichter muß aus heutiger Sicht oftmals als stark umweltgefährdend beurteilt werden. Viele dieser Standorte sind heute nicht mehr bekannt. Die Kriegsluftbilder können in bestimmten Fällen Aufschluß über Lage, Tiefe, Größe sowie Verfüllstadien und in besonders günstigen Fällen auch über die Art des Stoffeintrages geben (Abb. 6).

### 4. Fallbeispiel: Renaturierung

Die Rekonstruktion ursprünglicher Geländestrukturen beschäftigt schon seit einigen Jahren die Planungsbehörden. Rückbau von Straßen und Kanälen und die Schaffung alter Landschaftsformen lassen sich nicht ohne weiteres mit Hilfe anderer Methoden (z. B. Feldvergleich) ableiten. Erst der Informationsträger Luftbild kann darüber Auskunft geben. Auch für diese Aufgabenstellung eignen sich die Kriegsluftbilder deshalb besonders gut, weil sie wie schon bei den vorherigen Fallbeispielen oftmals den Ausgangspunkt dieser landschaftsverändernden Maßnahmen greifbar machen.

**Fazit:** Kriegsluftbilder stellen bei der Ermittlung von Kriegs- und Rüstungsaltslasten eine unverzichtbare Informationsquelle dar, die eine flächenhafte Ortung von Verdachtsflächen ermöglicht. Darüberhinaus können aus ihnen das Schadensausmaß der Zerstörungen, die für eine Beurteilung der qualitativen Beeinträchtigung unabdingbar ist, abgeschätzt sowie Funktionszuweisungen vorgenommen werden. Kriegsluftbilder stellen aber über die Erfassung von Kriegsaltslasten hinaus auch für alle anderen Umwelt- und Planungsbehörden eine unverzichtbare Informationsquelle und Planungshilfe dar.

### 5. Literatur

AKADEMIE FÜR RAUMFORSCHUNG UND LANDESPLANUNG (1984):  
Angewandte Fernerkundung. Hannover (Vincentz), 285 S.

DODT, J. (1987):

Die Verwendung von Karten und Luftbildern bei der Ermittlung von Altlasten Teil I & II. – Hrsgg. i. Auftr. d. Ministers für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW, 124 S.

HUBER, E. & VOLK, P. (1986):

Deponie und Altlasterkundung mit Hilfe von Fernerkundungsdaten. – Wasser & Boden 10: Sonderdruck, 6 S.

JÄGER, H. (1987):

Entwicklungsprobleme europäischer Kulturlandschaften. – Wiss. Buchgesellschaft Darmstadt, 280 S.

MAURER, K. (1988):

Die Herstellung des Pentrits; unveröffentl. Manuskript Stadtarchiv Geretsried.

MOHL, H. & TAUBER, H. (1987):

Detection of unexploded bombs of World War II by quantitative interpretation of Reconnaissance Photographs. – Schriftenreihe Inst. f. Photogr. Univ. Stuttgart 12: 253–259.

PREUSS, J., HAAS, R. & KOSS, G. (1988):

Altstandorte, Altablagerungen, Altlasten. – GR 40, 6: 31–38.

STANLEY II, R. M. (1981):

World War II. Photo Intelligence. – London (Sidgwick & Jackson), 362 S.

#### Bezugsquellen:

- Air-Photo Library University of Keele/Staffordshire – GB
- Luftbilddatenbank Würzburg, Postfach 126, 8700 Würzburg – D
- National Archives and Records Administration, Washington, DC 20408 – USA

#### Anschriften der Autoren:

Dr. R. Glaser,  
Geogr. Institut Universität  
D-8700 Würzburg  
und  
Dipl.-Ing. H.-G. Carls,  
Postfach 126  
D-8700 Würzburg



# Auswertung von Satellitendaten für Aufgaben der Landesplanung und des Umweltschutzes in der Region München

Johannes Braedt

## 1. Satellitendaten als neue Informationsquelle

Erdbeobachtungssatelliten stellen heute vor allem für großräumige Analysen der Umweltsituation und ihrer Veränderung eine vielseitige und vergleichsweise kostengünstige Informationsquelle dar. Nicht zuletzt die verstärkte Berücksichtigung von Umweltbelangen in der Regional- und Landesplanung erfordert flächendeckende Informationen zur Umweltentwicklung, die in ihrer Aktualität und Objektivität den seit Jahrzehnten verfügbaren sozio-ökonomischen Statistiken mindestens vergleichbar sein sollten. Besonders wichtig ist dabei eine flächendeckende Fortschreibung in regelmäßigen Intervallen als unabdingbare Voraussetzung für Trendanalysen und Risikoabschätzungen. Bereits im 2. Raumordnungsbericht der Bayerischen Staatsregierung für den Zeitraum 1972/73 finden sich Auswertungen von Bilddaten des 1972 gestarteten ersten Erdbeobachtungssatelliten ERTS-1 der NASA. An diesen ganz frühen Ergebnissen der Fernerkundung mit Satelliten lassen sich die charakteristischen Eigenschaften dieser neuen Informationsquelle schon erkennen:

- Satellitenbilder stehen ohne zusätzlichen Digitalisierungsaufwand in computerlesbarer Form zur Verfügung und eignen sich daher besonders gut zur Integration in computergestützte Geo-Informationssysteme.

- Die Umlaufbahnen der Erdbeobachtungssatelliten gestatten eine regelmäßige Aktualisierung der aufgezzeichneten Bilddaten, was für die Beobachtung von Umweltveränderungen und regionalen Entwicklungstrends große Vorteile bringt.

Die Infrarotsensoren von Erdbeobachtungssatelliten können auch Umweltphänomene abbilden, die für das menschliche Auge unsichtbar oder nur schwer erkennbar sind, wie z. B. die Temperaturen an der Erdoberfläche oder die Vitalität von Wäldern.

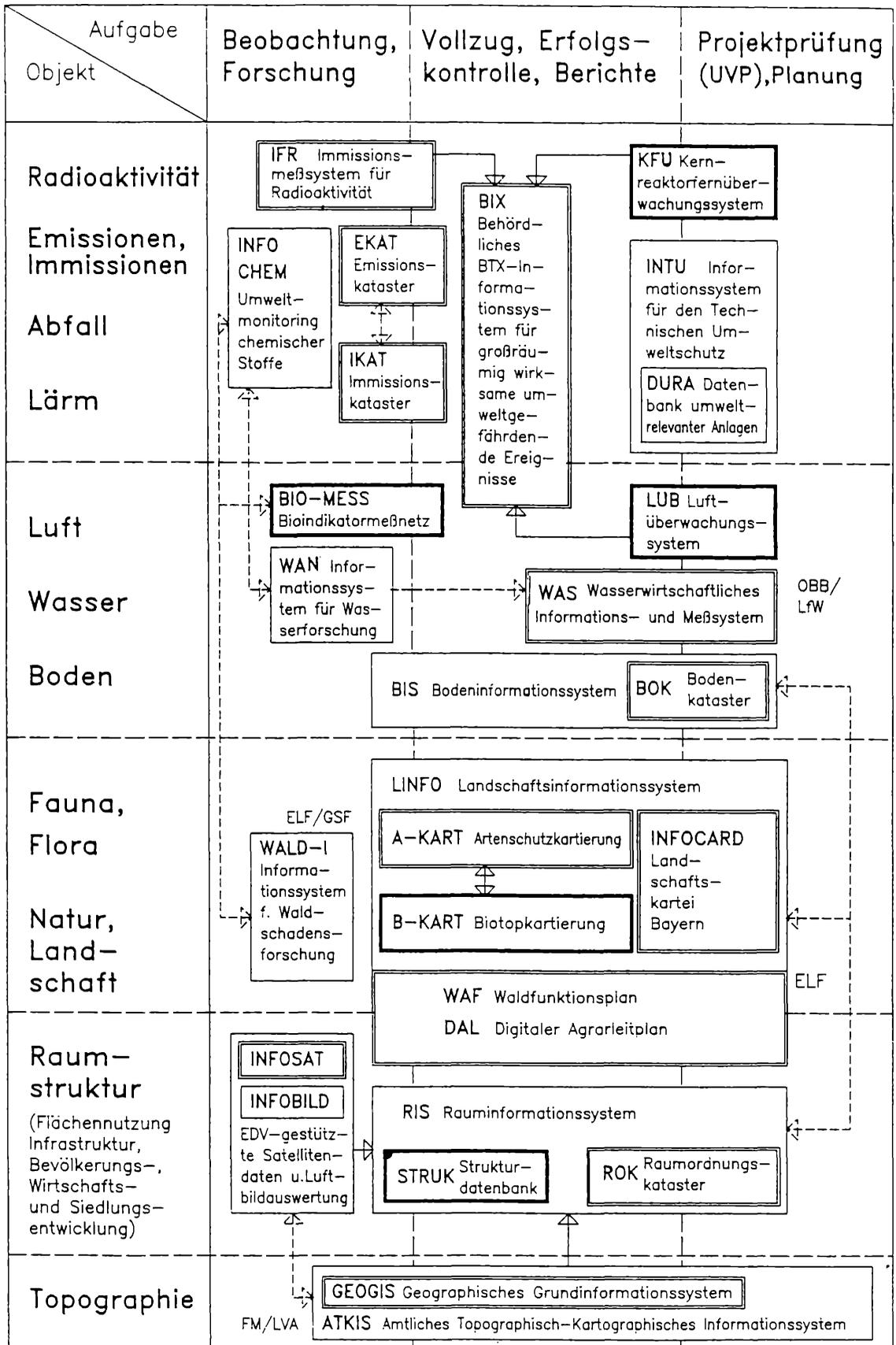
Satellitenbilder sind in der Regel Computerausdrucke von Bilddaten, die aus etwa 700 bis 800 Kilometern Höhe zu den Bodenempfangsstationen gefunkt werden. Während man sich Anfang der siebziger Jahre bei der Ausgabe der auf Magnetband gespeicherten Satellitenbilder meist noch mit



Satellitendatenauswertung von 1973; Südlicher Starnberger See mit angrenzenden Wäldern (W=Wasser; T=Waldgebiete)

Abbildung 1

# KOMPONENTEN EINES UMFASSENDEN UMWELTKONTROLLSYSTEMS



vollständig realisiert   
  teilweise realisiert   
  geplant

Abbildung 2



### Der Münchner Norden im Satellitenbild

Aus den Datenaufzeichnungen des in 705 km Höhe kreisenden Erdbeobachtungssatelliten Landsat 5/Thematic Mapper läßt sich ein guter Überblick über die Flächennutzungs- und Siedlungsstruktur gewinnen.

dem Schnelldrucker behelfen mußte, steht heute eine breite Palette hochauflösender Farbbildschirme und Zeichenautomaten hierfür zur Verfügung. Mit Hilfe computergesteuerter Kathoden-, Laser- oder Tintenstrahlen entstehen auf Bildschirm, Film oder Papier luftbildähnliche Darstellungen der Erdoberfläche. Parallel zur Verbesserung der Auswertungs- und Darstellungsmethoden wurde in den vergangenen eineinhalb Jahrzehnten auch die Aufnahmetechnik der Beobachtungssatelliten wesentlich verbessert.

## 2. Pilotprojekt für die Region München

Der Start der LANDSAT-Satelliten 4 und 5 mit dem neuen Aufnahmesystem „Thematic Mapper“, dessen Daten 1984 erstmals verfügbar wurden, gab den Anstoß zu einem Pilotprojekt des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen, dessen Ergebnisse im Band 42 der Reihe „Materialien“ veröffentlicht wurden.

Mit den hier entwickelten, erprobten und am Beispiel der Planungsregion München demonstrierten Methoden der digitalen Bildverarbeitung können insbesondere folgende für Landesplanung und Umweltschutz wichtigen Informationen regelmäßig und flächendeckend beschafft werden:

- Ein für Aufgaben der Raumordnung und Landesplanung in der Regel ausreichend genaues **Bild der aktuellen Flächennutzungs- und Siedlungsstruktur** als Grundlage für

- die großräumige Bilanzierung von gewidmeter und tatsächlicher Flächennutzung sowie die überschlägige Ermittlung des Ausschöpfungsgrades bestehenden Baurechts
- die Ermittlung des aktuellen Umfangs und Zustands von Abgrabungsflächen (z. B. Trocken- und Naßabbau von Kies, Stand der Rekultivierung)
- einen regionalen Überblick über den aktuellen Stand der Siedlungsentwicklung und den Baufortschritt von Großprojekten sowie über großräumige, landwirtschaftliche Flächennutzungsmuster und deren Veränderung (z. B. Wald, Grünland, Ackerbauflächen)

- Kartierungen regionaler Unterschiede der **Oberflächentemperatur** für unterschiedliche Jahres- und Tageszeiten (Beobachtungsintervall: alle 16 Tage, 10.00 Uhr vormittags und 10.00 Uhr nachts), u. a. zur Identifikation von Kaltluftgebieten und starken Temperaturkontrasten (Entstehungsursache von Flurwinden, Luftzirkulation) als wichtige Informationsgrundlage für

- die Begründung von Bannwaldausweisungen und regionalen Grünzügen
- die Entwicklung von Konzepten für die Siedlungsentwicklung, u. a. für die Überprüfung und Weiterentwicklung des Entwicklungsachsensystems
- die Beurteilung der Umweltverträglichkeit von beabsichtigten Bauleitplanänderungen und überörtlich raumbedeutsamen Vorhaben

- Farbkodierte Darstellungen der **Vitalität von Laubvegetation und Nadelwald**, ausgehend von der gemessenen Intensität der von Pflanzen reflektierten Infrarotwellen, als ein Hilfsmittel für

- die Abgrenzung von Räumen unterschiedlicher Umweltbelastung und -belastbarkeit

- die Früherkennung und Grobabschätzung von Waldschäden
- die Erarbeitung und Begründung landesplanerischer Konzepte für die Umlenkung von Wachstumsimpulsen aus belasteten in weniger belastete Räume
- die Entwicklung und Begründung fachübergreifender Sanierungsprogramme für besonders belastete Gebiete

Auftragnehmer der Pilotstudie war die Gesellschaft für Angewandte Fernerkundung (GAF), München, die mittels digitaler Bildverarbeitung aus den LANDSAT-Daten für die Region München u. a. die im folgenden näher erläuterten Bilder hergestellt hat.

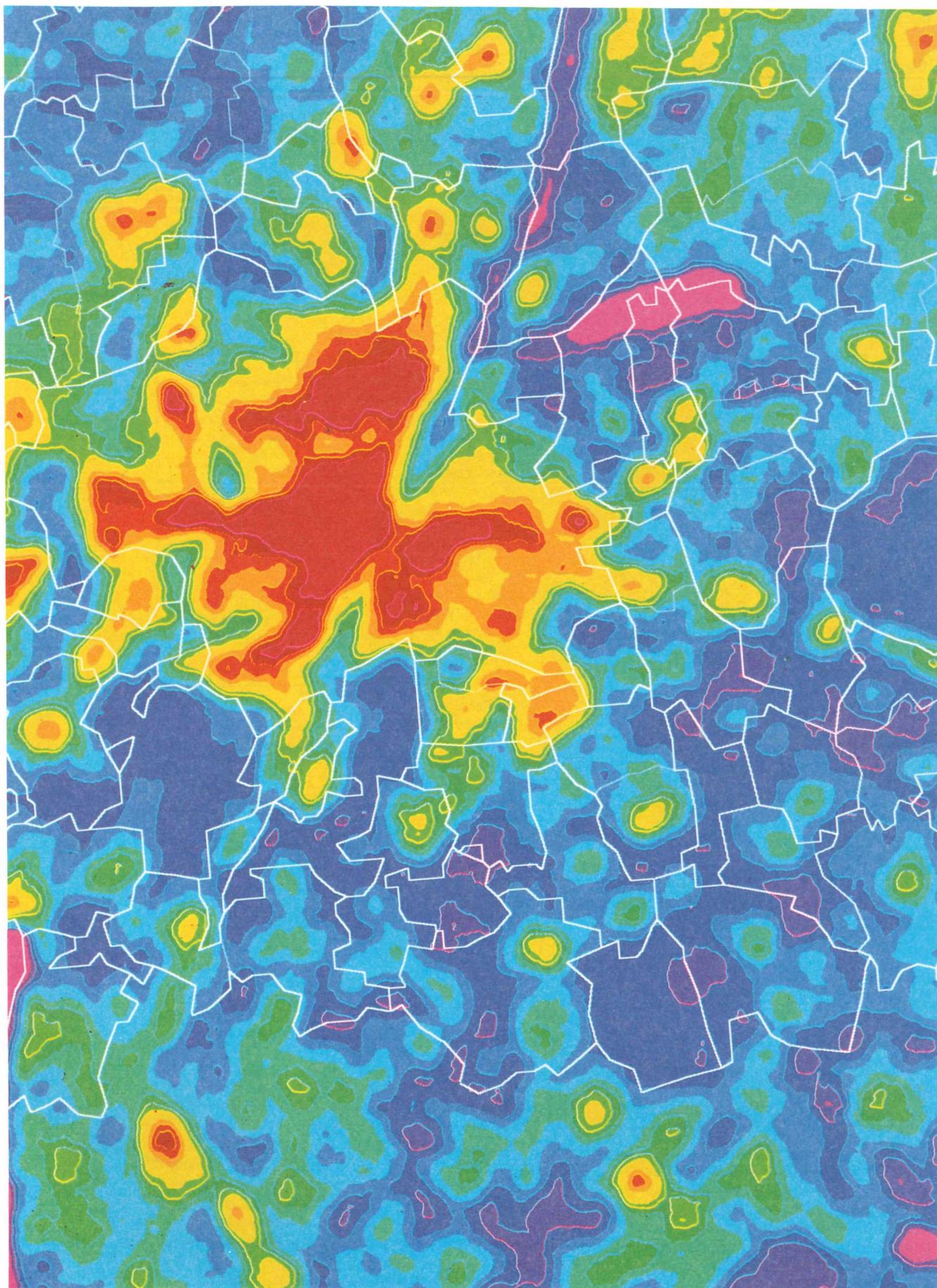
## 3. Naturfarbenbilder

Satellitenbilder in Naturfarbendarstellung wie die LANDSAT-Aufnahme des Münchner Nordens entstehen auf ähnliche Weise wie Farbfernsehbilder. Drei Sensoren des Aufnahmesystems „Thematic Mapper“, eines sog. Multispektralscanners, registrieren von der Erdoberfläche reflektierte oder ausgesandte Lichtwellen in dem für das menschliche Auge sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Wellenspektrums. Vereinfacht gesagt, registriert Sensor 1 die Intensität des blauen, Sensor 2 des grünen und Sensor 3 des roten Lichts. Auf dem Monitor des Bildverarbeitungssystems oder auf einem angeschlossenen Zeichenautomaten wird durch Mischung roter, grüner und blauer Punkte die zur Naturfarbendarstellung nötige Farbvielfalt wiederhergestellt.

Bei Bildern des amerikanischen Erdbeobachtungssystems LANDSAT 5/TM entspricht ein Bildpunkt einem Quadrat von 30 x 30 Metern auf der Erdoberfläche. Der französische Satellit SPOT liefert in panchromatischer Grautondarstellung Bilder mit einer Auflösung von 10 x 10 Metern, auf denen einzelne Gebäude gut zu erkennen sind. Die mit einer Kamera von Zeiss, Jena, ausgerüsteten russischen Satelliten der KOSMOS-Baureihe liefern belichtete 2-Schichten-Farbfilm mit einer Auflösung, die etwa bei 5 Metern liegt. Ein KOSMOS-Bild wird derzeit als Informationsgrundlage für ökologische Planungen und Programme des Landkreises Miesbach verwendet. Für das begonnene Hagpflegeprogramm war die Identifizierbarkeit einzelner Hecken wichtig.

## 4. Infrarotaufnahmen

Von den 4 Infrarotsensoren des Thematic Mapper werden Lichtwellen registriert, die das menschliche Auge nicht sieht. Im Bereich des thermalen Infrarot aufgezeichnete Meßdaten waren das Ausgangsmaterial für das Temperaturbild der Region München. Dargestellt sind die Unterschiede der Oberflächentemperaturen an einem Julivormittag des Jahres 1984. Bei den rotgefärbten, warmen Gebieten handelt es sich in der Regel um Flächen mit hoher Siedlungsdichte. Zu den besonders kühlen, blauviolett gekennzeichneten Arealen gehören neben Wäldern und Gewässern auch Teile der Wiesenflächen südlich des Speichersees in der rechten oberen Bildhälfte. Bei solchen kühlen Wiesen handelt es sich häufig um ökologisch wertvolle Feuchtgebiete.



### Kaltluftentstehungsgebiete im Südosten Münchens

Der Thermalsensor des Erdbeobachtungssatelliten Landsat 5/Thematic Mapper liefert ein aufschlußreiches Bild der Oberflächentemperaturen (rot = warm; blau = kalt).

# INFORMATIONSSYSTEM FÜR RAUMORDNUNG UND UMWELTSCHUTZ

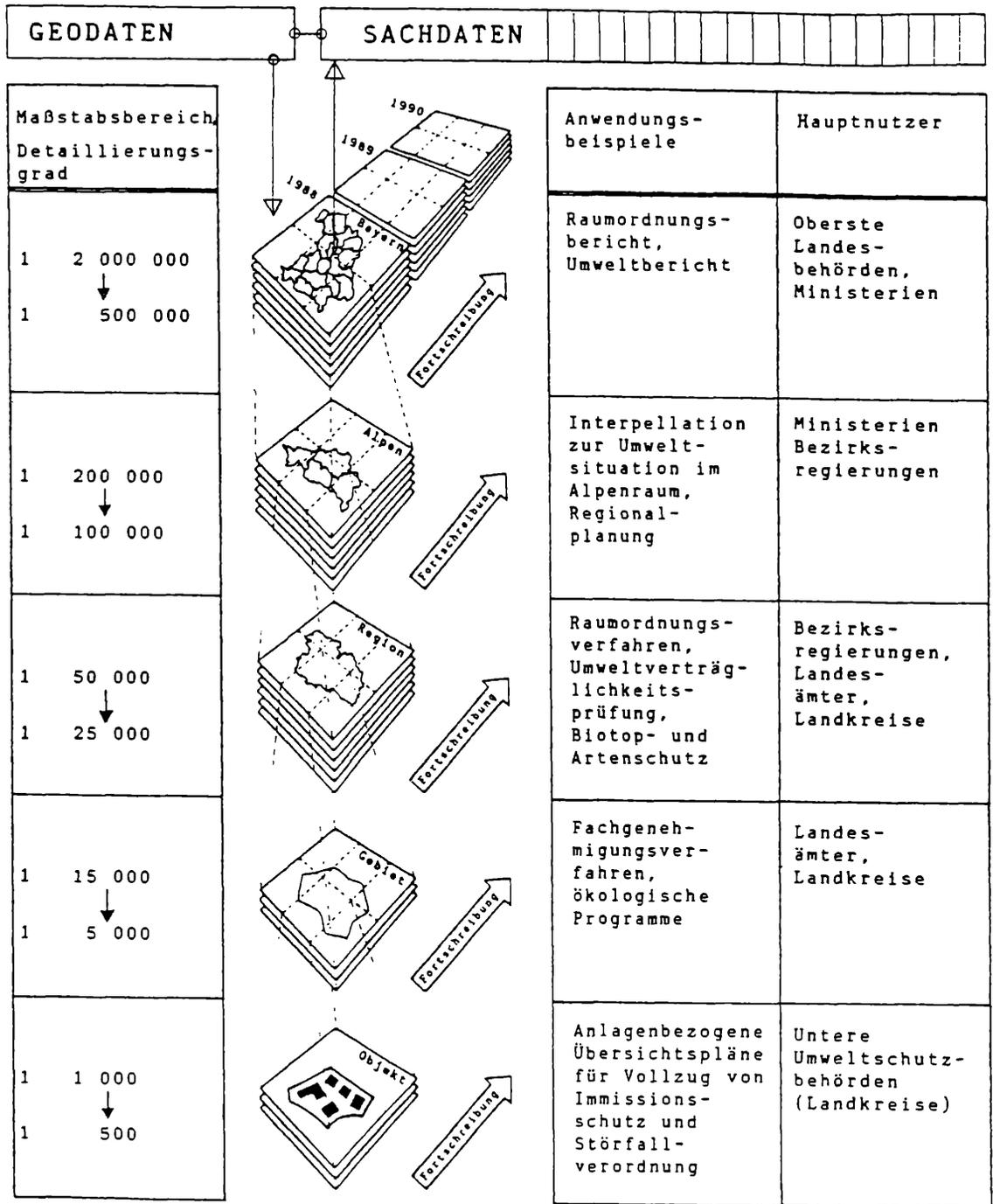
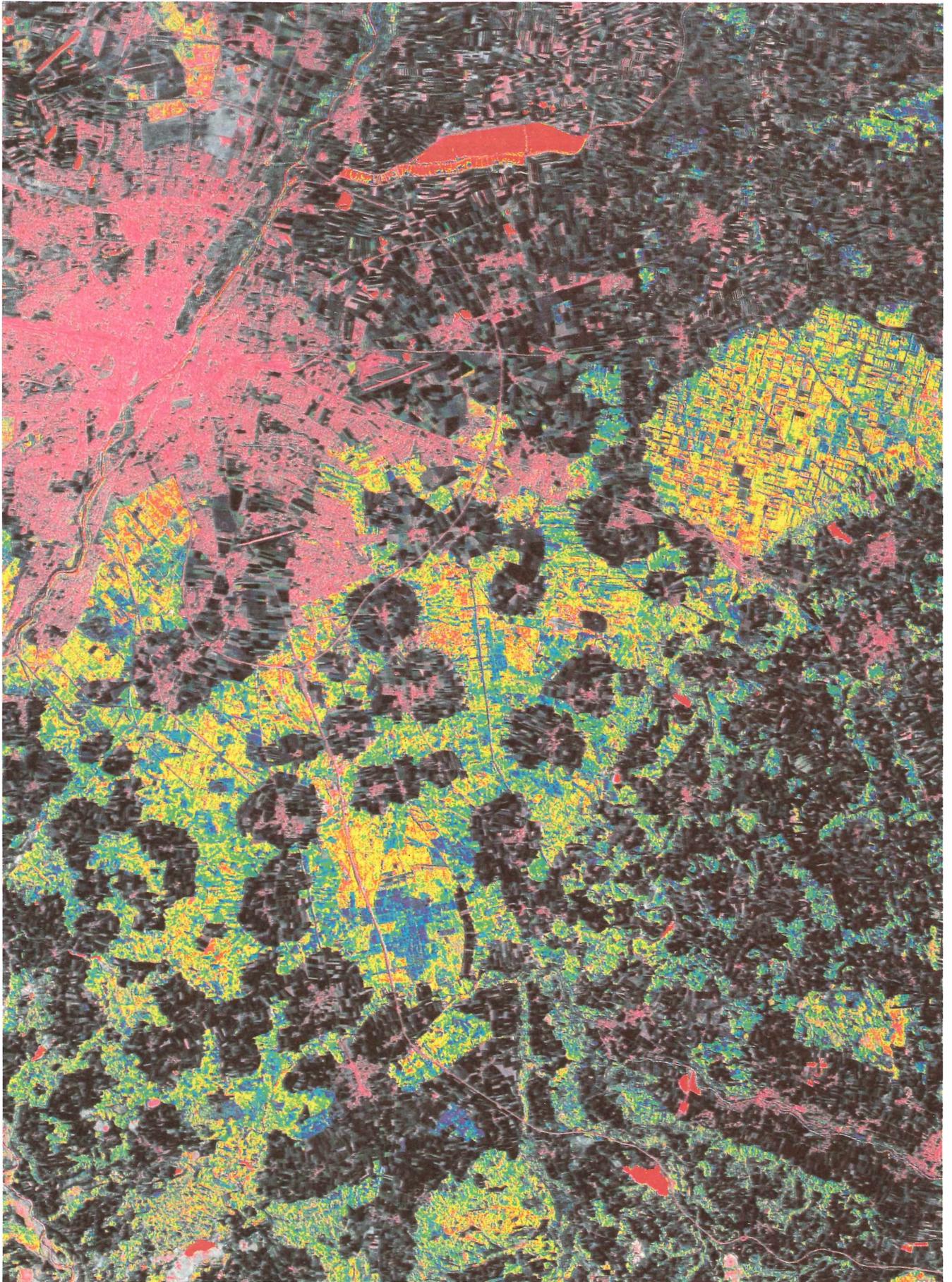


Abbildung 3

Starke Temperaturkontraste zwischen warmen Siedlungsflächen und kühlen Wald- oder Wiesenflächen können vor allem bei Inversionswetterlagen und Windstille für die mikroklimatischen Verhältnisse im Raum München sehr wichtig sein, wenn sie dazu beitragen, ein Mindestmaß an Luftzirkulation aufrecht zu erhalten und dadurch auch den Abtransport von Luftschadstoffen zu erleichtern. Die Erhaltung stadtnaher Wälder ist für die Regionalplanung in Bayern zu einem vorrangigen Ziel geworden.

Bei der Auswertung von Satellitendaten kommt es darauf an, aus der schwer überschaubaren Datenflut diejenigen Informationen herauszufiltern, die für eine bestimmte Aufgabe wesentlich sind. Dies

kann z. B. durch gezielte Kontrastverstärkung, aber auch durch Generalisierung und Aggregation des Datenmaterials erreicht werden. Das Temperaturbild der Region München zeigt eine generalisierte Darstellung der Aufzeichnungen des Thermalsensors. Rund 50 Mio. Bildpunkte einer Satellitenszene wurden mit einem Filterprogramm zu Temperaturzonen zusammengefaßt, die zwar nicht mehr jedes einzelne Bildelement, dafür aber wesentliche Strukturmerkmale der Region um so deutlicher erkennen lassen. Gut sichtbar ist der Kranz von Kaltluftentstehungsgebieten, der München umgibt. Im Süden der Stadt sorgen Nadelwälder für Kühlung, im Nordosten schließen sich der Speichersee mit großen Feuchtwiesengebieten und die Isarauen



### Vitalitätsanalyse der Nadelwälder im Südosten Münchens

Infrarotsensoren des Erdbeobachtungssatelliten Landsat 5/Thematic Mapper können wertvolle Hinweise auf den Gesundheitszustand größerer homogener Vegetationsflächen geben (blau = höchster Vitalitätsgrad, meist Neuaufforstungen; gelb und rot = verminderte Vitalität).

an. Im Westen Münchens ist der Kaltluftgürtel wesentlich stärker von Siedlungsflächen durchbrochen als im Südosten.

Infrarotluftbilder haben als Hilfsmittel bei der Analyse von Waldschäden in den vergangenen Jahren große Bedeutung erlangt. Auch die Infrarotsensoren des Thematic-Mapper-Systems können zur Identifikation von Vegetationsschäden genutzt werden, sofern es sich um großflächige Schädigungen handelt. Sie messen das von Blättern reflektierte Infrarotlicht. Gesunde Blätter reflektieren bis zu 70% der einfallenden Lichtwellen im Bereich des nahen Infrarot. Bei verminderter Vitalität nimmt die Fähigkeit der Blätter, Infrarotlicht zu reflektieren, stark ab.

Da das Lichtreflexionsvermögen von Blattoberflächen nicht nur vitalitätsbedingte sondern auch artenspezifische Unterscheide aufweist, eignet sich die hier verwendete Auswertungsmethode am besten für die Vitalitätsanalyse von Monokulturen, wie z. B. die Fichtenwälder im Umland Münchens. Der relativ große Anteil an Waldflächen mit verringerter Vitalität im Südosten Münchens dürfte zum einen auf die ungünstigeren Standortvoraussetzungen der Münchner Schotterebene, zum anderen auf Schadstofftransporte aus dem Verdichtungsraum infolge vorherrschender nordwestlicher Winde zurückzuführen sein.

##### **5. Integration in ein Geo-Informationssystem**

Viele Satellitendatenauswertungen erfordern zusätzliche Informationen aus anderen Datenquellen. Vor allem die Zusammenschau vielfältiger Daten Grundlagen zur Umweltsituation und Raumstruktur, wie sie etwa bei der Durchführung von Raumordnungsverfahren und von Umweltverträglichkeitsprüfungen gefordert ist, wird durch ein raumbezogenes Informationssystem wesentlich er-

leichtert. In Vollzug der Regierungserklärung vom 10. 12. 1986 arbeitet das Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen am Aufbau eines „umfassenden Systems zur Umweltkontrolle“. Dabei geht es nicht zuletzt darum, einen reibungslosen Datentransfer zwischen den im eigenen Geschäftsbereich bereits bestehenden Teilinformationssystemen zu gewährleisten und die Voraussetzungen für einen raschen Austausch umweltrelevanter Daten zwischen unterschiedlichen Ressorts und Verwaltungsebenen zu verbessern. Die Integration von Satellitenbildern und aufgerasterten (gescannten) Luftbildern oder Karten in ein Geo-Informationssystem ist nur mit Programmsystemen möglich, die eine integrierte Datenhaltung und -verarbeitung von Vektor- und Rasterdaten gestatten. Mit dem Prototyp eines solchen „Hybriden Grafischen Systems“ werden im Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen zur Zeit erste Erfahrungen gesammelt. Es wäre gewiß einfacher, in Ruhe abzuwarten, bis ausgereifte und erprobte Softwaresysteme auf den Markt kommen, doch bei der Beschaffung von Informationsgrundlagen, die helfen sollen, Umweltrisiken so früh wie möglich zu erkennen, um vorbeugende Umweltschutzmaßnahmen zu ermöglichen, handelt es sich ja fast immer um einen Wettlauf mit der Zeit.

##### **Anschrift des Verfassers:**

Min.rat Johannes Braedt  
Bayer. Staatsministerium für  
Landesentwicklung und Umweltfragen  
Postfach 81 01 40  
8000 München 81

Stand: November 1989

## ☐ Berichte der ANL

Die seit 1977 jährlich erscheinenden Berichte der ANL enthalten Originalarbeiten, wissenschaftliche Kurzmittelungen und Bekanntmachungen zu zentralen Naturschutzproblemen und damit in Zusammenhang stehenden Fachgebieten.

Heft 1-3/1979 (vergriffen)	
Heft 4/1980	DM 23,-
Heft 5/1981	DM 23,-
Heft 6/1982	DM 34,-
Heft 7/1983	DM 27,-
Heft 8/1984	DM 39,-
Heft 9/1985	DM 25,-
Heft 10/1986	DM 48,-
Heft 11/1987	DM 38,-
Heft 12/1988	DM 39,-

## Heft 4/1980

- ZIEGLER Josef H.: Geoökologie und Landschaft. Eine Zwischenbilanz. 6 S., 2 Abb.
- SEIBERT Paul: Ökologische Bewertung von homogenen Landschaftsteilen, Ökosystemen und Pflanzengesellschaften. 14 S.
- RINGLER Alfred: Artenschutzstrategien aus Naturraumanalysen. 26 S., 16 Abb. und 10 Farbfotos
- HERINGER Josef K.: Wert und Bewertung landschaftlicher Eigenart. 16 S., 2 Abb. und 20 Fotos
- JODL Otto: Sanierung bei baulichen Anlagen, die das sog. Landschaftsbild stören. 5 S.
- ENGELMAIER Alois: Entwicklungstendenzen der Alm/Alpwirtschaft in Bayern im Hinblick auf Naturhaushalt und Landschaftsbild. 5 S.
- REMMERT Hermann: Feuchtgebiete – von Menschen geschaffen. 1 S.
- DROSTE Michael; NENTWIG Wolfgang; VOGEL Michael: Lebensraum Niedermoor: Zustand und geplante Entwicklung. 6 S.
- TAMM Jochen: Die Edertalsperre – schutzwürdiger Naturraum von Menschenhand. 6 S., 2 Abb. und 4 Farbfotos
- ESSER Joachim, REICHHOLF Josef: Die Höhe der Igelverlustrate auf bayerischen Straßen. 3 S.
- BAUER Gerhard: Die Situation der Flußperlmuschel (*Margaritifera margaritifera*) in der Oberpfalz u. Niederbayern. 3 S., 2 Abb.
- ENDERS Gerhard: Die Siedlung als klimatisch differenzierter Lebensraum. 7 S., 7 Abb.
- MAGERL Christian: Der Saatkrähenbestand in Bayern in den Jahren 1950–1979. 8 S.
- BEZZEL Einhard: Beobachtungen zur Nutzung von Kleinstrukturen durch Vögel. 7 S., 6 Abb.
- Veranstaltungsspiegel der ANL. 16 S.

## Heft 5/1981

- RINGLER Alfred: Die Alpenmoore Bayerns – Landschaftsökologische Grundlagen, Gefährdung, Schutzkonzept. 95 S., 26 Abb. und 14 Farbfotos
- AMMER Ulrich; SAUTER Ulrich: Überlegungen zur Erfassung der Schutzwürdigkeit von Auebiotopen im Vor-alpenraum. 38 S., 20 Abb.
- SCHNEIDER Gabriela: Pflanzensoziologische Untersuchung der Hag-Gesellschaften in der montanen Egartenlandschaft des Alpenvorlandes zwischen Isar und Inn. 18 S., 6 Abb.
- KRACH J. Ernst: Gedanken zur Neuauflage der Roten Liste der Gefäßpflanzen in Bayern. 20 S., 12 Rasterkarten
- REICHHOLF Josef: Schutz den Schneeglöckchen. 7 S., 4 Abb. und 5 Farbfotos
- REICHHOLF Josef: Die Helmorchis (*Orchis militaris* L.) an den Dämmen der Innstauseen. 3 S.
- REICHEL Dietmar: Rasterkartierung von Amphibienarten in Oberfranken. 3 S., 10 Rasterkarten DIN A 3
- HERINGER Josef K.: Akustische Ökologie. 10 S.
- HOFMANN Karl: Rechtliche Grundlagen des Naturschutzes und der Landschaftspflege in Verwaltungspraxis und Rechtsprechung. 6 S.
- Veranstaltungsspiegel der ANL. 23 S.

## Heft 6/1982

- DICK Alfred: Rede anlässlich der 2. Lesung der Novelle zum Bayerischen Naturschutzgesetz vor dem Bayerischen Landtag. 2 S.
- DIETZEN Wolfgang; HASSMANN Walter: Der Wanderfalke in Bayern – Rückgangursachen, Situation und Schutzmöglichkeiten. 25 S., Abb.
- BEZZEL Einhard: Verbreitung, Abundanz und Siedlungsstruktur der Brutvögel in der bayerischen Kulturlandschaft. 16 S., Abb.
- REICHHOLF Josef; REICHHOLF-RIEHE, Helgard: Die Stausseen am unteren Inn – Ergebnisse einer Ökosystemstudie. 52 S., Abb., 7 Farbfotos

## FORTSETZUNG: Heft 6/1982

- ČEŘOVSKÝ Jan: Botanisch-ökologische Probleme des Artenschutzes in der ČSSR unter Berücksichtigung der praktischen Naturschutzarbeit. 3 S.
- BRACKEL Wolfgang v.; u.a.: Der Obere Wöhrder See im Stadtgebiet von Nürnberg – Beispielhafte Gestaltung von Insel- und Flachwasserbiotopen im Rahmen der Pegnitz-Hochwasserfreilegung. 16 S., Abb., 3 Farbfotos
- MÜLLER Norbert; WALDERT Reinhard: Stadt Augsburg – Biotopkartierung, Ergebnisse und erste Auswertung. 36 S., Abb., 10 Karten
- MERKEL Johannes: Die Vegetation der Naturwaldreservate in Oberfranken. 94 S., zahlr. Abb.
- REIF Albert; SCHULZE Ernst-Detlef; ZAHNER Katharina: Der Einfluß des geologischen Untergrundes, der Hangneigung, der Feldgröße und der Flurbereinigung auf die Heckenichte in Oberfranken. 23 S., Abb.
- KNOP Christoph; REIF Albert: Die Vegetation auf Feldrainen Nordost- und Ostbayern – natürliche und anthropogene Einflüsse, Schutzwürdigkeit. 25 S., 7 Farbfotos
- Leitlinien zur Ausbringung heimischer Wildpflanzen. Empfehlungen für die Wiedereinbürgerung gefährdeter Tiere. Leitsätze zum zoologischen Artenschutz. 4 S.
- Veranstaltungsspiegel der ANL. 25 S.

## Heft 7/1983

- EDELHOFF Alfred: Auebiotope an der Salzach zwischen Laufen und der Saalachmündung. 33 S., Abb., Tab., Ktn.
- BAUER Johannes: Benthosuntersuchungen an der Salzach bei Laufen (Oberbayern). 4 S.
- EHMER-KÜNKLE Ute: Pflanzensoziologische und ökologische Untersuchungen im Schönramer Filz (Oberbayern). 39 S., Abb., 5 Farbfotos
- REICHHOLF Josef: Relative Häufigkeit und Bestands-trends von Kleinraubtieren (Carnivora) in Südostbayern. 4 S.
- BEZZEL Einhard: Rastbestände des Haubentauchers (*Podiceps cristatus*) und des Gänsejägers (*Mergus merganser*) in Südbayern. 12 S., Abb.
- BEUTLER Axel: Vorstudie Amphibienkartierung Bayern. 22 S., Abb.
- RANFTL Helmut; REICHEL Dietmar; SOTHMANN Ludwig: Rasterkartierung ausgewählter Vogelarten der Roten Liste in Oberfranken. 5 S., 7 Faltktn.
- HACKER Hermann: »Eierberge« und »Banzer Berge«, bemerkenswerte Waldgebiete im oberen Maintal: ihre Schmetterlingsfauna – ein Beitrag zum Naturschutz. 8 S.
- ULLMANN Isolde; RÖSSNER Katharina: Zur Wertung gestörter Flächen bei der Planung von Naturschutzgebieten – Beispiel Spitalwald bei Bad Königshofen im Grabfeld. 10 S., Abb., Tab., 3 Farbfotos
- RUF Manfred: Immissionsbelastungen aquatischer Ökosysteme. 10 S., Abb.
- MICHLER Günter: Untersuchungen über die Schwermetallgehalte in Sedimentbohrkernen aus südbayerischen und alpinen Seen. 9 S., Abb.
- GREBE Reinhard; ZIMMERMANN Michael: Natur in der Stadt – das Beispiel Erlangen. 14 S., Abb., 5 Farbfotos
- SPATZ Günter; WEIS G. B.: Der Futterertrag der Waldweide. 5 S., Abb.
- Veranstaltungsspiegel der ANL. 22 S.

## Heft 8/1984

- GOPPEL Christoph: Emittentenbezogene Flechtenkartierung im Stadtgebiet von Laufen. 18 S., 33 Abb.
- ESSER Joachim: Untersuchung zur Frage der Bestandsgefährdung des Igels (*Erinaceus europaeus*) in Bayern. 40 S., 16 Abb., 23 Tab.
- PLACHTER Harald: Zur Bedeutung der bayerischen Naturschutzgebiete für den zoologischen Artenschutz. 16 S. mit Abb.
- HEBAUER Franz: Der hydrochemische und zoogeographische Aspekt der Eisenstörfer Kiesgrube bei Plattling. 24 S., Abb. u. 18 Farbfotos
- KIENER Johann: Veränderung der Auenvegetation durch die Anhebung des Grundwasserspiegels im Bereich der Staustufe Ingolstadt. 26 S., 5 z. T. farb. Faltktn.
- VOGEL Michael: Ökologische Untersuchungen in einem Phragmites-Bestand. 36 S., 9 Tab., 28 Abb.
- BURMEISTER E.-G.: Zur Faunistik der Libellen, Wasserkäfer und wasserbewohnenden Weichtiere im Naturschutzgebiet »Osterseen« (Oberbayern) (Insecta: Odonata, Coleoptera, limnische Mollusca). 8 S. mit Abb.
- REISS Friedrich: Die Chironomidenfauna (Diptera, Insecta) des Osterseengebietes in Oberbayern. 8 S. mit Abb.
- BURMEISTER H.; BURMEISTER E.-G.: II. Die Köcherfliegen des Osterseengebietes. Beiträge zur Köcherfliegenfauna Oberbayerns (Insecta, Trichoptera). 9 S.

## FORTSETZUNG: Heft 8/1984

- BURMEISTER E.-G.: Auswertung der Beifänge aquatischer Wirbelloser (Macroinvertebrata), aquatischer Wirbeltiere (Vertebrata) und terrestrischer Wirbelloser (Macroinvertebrata). Ein Beitrag zur Kenntnis der Fauna Oberbayerns. 7 S.
- KARL Helmut; KADNER Dieter: Zum Gedenken an Prof. Dr. Otto Kraus. 2 S. mit 1 Foto
- Veranstaltungsspiegel der ANL. 6 S.

## Heft 9/1985

- BURMEISTER Ernst-Gerhard: Bestandsaufnahme wasserbewohnender Tiere der Oberen Alz (Chiemgau, Oberbayern) – 1982 und 1983 mit einem Beitrag (Ill.) zur Köcherfliegenfauna Oberbayerns (Insecta, Trichoptera). 25 S., Abb.
- REICHHOLF Josef: Entwicklung der Köcherfliegenbestände an einem abwasserbelasteten Wiesenbach. 4 S.
- BANSE Wolfgang; BANSE Günter: Untersuchungen zur Abhängigkeit der Libellen-Artenzahl von Biotopparametern bei Stillgewässern. 4 S.
- PFADENHAUER Jörg; KINBERGER Manfred: Torfabbau und Vegetationsentwicklung im Kulbinger Filz. 8 S., Abb.
- PLACHTER Harald: Faunistisch-ökologische Untersuchungen auf Sandstandorten des unteren Brombachtals (Bayern) und ihre Bewertung aus der Sicht des Naturschutzes. 48 S., Abb., 12 Farbfotos
- HAHN Rainer: Anordnung und Verteilung der Lesesteinriegel der nördlichen Frankenalb am Beispiel der Großgemeinde Heiligenstadt in Oberfranken. 6 S., Abb.
- LEHMANN Reinhold; MICHLER Günther: Paläökologische Untersuchungen an Sedimentkernen aus dem Wörthsee mit besonderer Berücksichtigung der Schwermetallgehalte. 23 S., Abb.
- Veranstaltungsspiegel der ANL. 21 S.

## Heft 10/1986

- DICK Alfred; HABER Wolfgang: Geleitworte.
- ZIELONKOWSKI Wolfgang: 10 Jahre ANL – ein Rückblick.
- ERZ Wolfgang: Ökologie oder Naturschutz? Überlegungen zur terminologischen Trennung und Zusammenführung.
- HABER Wolfgang: Umweltschutz – Landwirtschaft – Boden.
- SUKOPP Herbert; SEIDEL Karola; BÖCKER Reinhard: Bausteine zu einem Monitoring für den Naturschutz.
- PFADENHAUER Jörg; POSCHLOD Peter; BUCHWALD Rainer: Überlegungen zu einem Konzept geobotanischer Dauerbeobachtungsflächen für Bayern. Teil 1: Methodik der Anlage und Aufnahme.
- KNAUER Norbert: Halligen als Beispiel der gegenseitigen Abhängigkeit von Nutzungssystemen und Schutzsystemen in der Kulturlandschaft.
- ZIERL Hubert: Beitrag eines alpinen Nationalparks zum Schutz des Gebirges.
- OTTE Annette: Standortansprüche, potentielle Wuchsgebiete und Vorschläge zur Erhaltung einer naturraum-spezifischen Ackerwildkraut-Flora (Agrarlandschaft südlich von Ingolstadt).
- ULLMANN Isolde; HEINDL Bärbel: »Ersatzbiotop Straßerand« – Möglichkeiten und Grenzen des Schutzes von basiphilen Trockenrasen an Straßerböschungen.
- PLACHTER Harald: Die Fauna der Kies- und Schotterbänke dealpiner Flüsse und Empfehlungen für ihren Schutz.
- REMMERT Hermann; VOGEL Michael: Wir pflanzen einen Apfelbaum.
- REICHHOLF Josef: Tagfalter: Indikatoren für Umweltveränderungen.
- ALBRECHT Ludwig; AMMER Ulrich; GEISSNER Wolfgang; UTSCHICK Hans: Tagfalterschutz im Wald.
- KÖSTNER Barbara; LANGE Otto L.: Epiphytische Flechten in bayerischen Waldschadensgebieten des nördlichen Alpenraumes: Floristisch-soziologische Untersuchungen und Vitalitätstests durch Photosynthesemessungen.
- Veranstaltungsspiegel der ANL.
- Anhang: Natur und Landschaft im Wandel. S. unter Sonderdrucken.

- WILD Wolfgang: Natur – Wissenschaft – Technik.
- PFADENHAUER Jörg; BUCHWALD Rainer: Anlage und Aufnahme einer geobotanischen Dauerbeobachtungsfläche im Naturschutzgebiet Echinger Lohe (Lkr. Freising).
- ODZUK Wolfgang: Die Pflanzengesellschaften im Quadranten 8037/1 (Glonn; bayer. Alpenvorland).
- OTTE Annette; BRAUN Wolfgang: Veränderungen in der Vegetation des Charlottenhofer Weihergebotes im Zeitraum von 1966 – 1986.
- REICHEL Dietmar: Veränderungen im Bestand des Laubfroschs (*Hyla arborea*) in Oberfranken.
- WÖRNER Sabine; ROTHENBURGER Werner: Ausbringung von Wildpflanzen als Möglichkeit der Arterhaltung?
- SCHNEIDER Eberhard; SCHULTE Ralf: Haltung und Vermehrung von Wildtierarten in Gefangenschaft unter besonderer Berücksichtigung europäischer Waldvögel – ein Beitrag zum Schutz gefährdeter Tierarten?
- STÖCKLEIN Bernd: Grünfläche an Ämtern – eine bürgerefreundliche Visitenkarte. Tierökologische Aspekte künftiger Gestaltung und Pflege.
- BAUER Johannes; SCHMITT Peter; LEHMANN Reinhold; FISCHER-SCHERL Theresia: Untersuchungen zur Gewässerversauerung an der oberen Waldnaab (Oberpfälzer Wald; Nord-Ostbayern).
- MELZER Arnulf; SIRCH Reinhold: Die Makrophytenvegetation des Abtsees – Angaben zur Verbreitung und Ökologie.
- ZOTT Hans: Der Fremdenverkehr am Chiemsee und seine Auswirkungen auf den See, seine Ufer und seine Randbereiche.
- VOGEL Michael: Die Leistungsfähigkeit biologischer Systeme bei der Abwasserreinigung.
- SCHREINER Johann: Der Flächenanspruch im Naturschutz.
- MAUCKSCH Wolfgang: Mehr Erfolg durch bessere Zusammenarbeit von Flurbereinigung und Naturschutz.
- ZIELONKOWSKI Wolfgang: Erfordernisse und Möglichkeiten der Fortbildung von Biologen im Berufsfeld Naturschutz.
- Veranstaltungsspiegel der ANL.

Heft 12/1988

- SUHR Dieter: Grundrechte gegen die Natur – Haftung für Naturgüter?
- REMMERT Hermann: Naturschutzforschung und -vermittlung als Aufgabe der Universitäten.
- LIEDTKE Max: Unterricht und Naturerfahrung – Über die Bedingungen der Vermittlung von ökologischen Kenntnissen und Wertvorstellungen.
- TROMMER Gerhard: Mensch hier – Natur da Was ist und was soll Naturschutzzerziehung?
- HAAS Anneliese: Werbestrategien des Naturschutzes.
- HILDEBRAND Florian: Das Thema »Boden« in den Medien.
- ROTT Alfred: Das Thema »Boden« in Dichtung, Mythologie und Religion.
- BURMEISTER Ernst-Gerhard: Die Beweissicherung von Arten als Dokumentation faunistischer Erhebungen im Sinne eines Instruments des Naturschutzes.
- PFADENHAUER Jörg: Naturschutzstrategien und Naturschutzansprüche an die Landwirtschaft.
- PFADENHAUER Jörg; WIRTH Johanna: Alte und neue Hecken im Vergleich am Beispiel des Tertiärhügellandes im Lkr. Freising.
- REIF Albert; GÖHLE Silke: Vegetationskundliche und standörtliche Untersuchungen nordostbayerischer Waldmäntel.
- SCHALL Burkhard: Die Vegetation der Waldwege und ihre Korrelation zu den Waldgesellschaften in verschiedenen Landschaften Süddeutschlands mit einigen Vorschlägen zur Anlage und Pflege von Waldwegen.
- ULLMANN Isolda; HEINDL Bärbel; FLECKENSTEIN Martina; MENGLING Ingrid: Die straßenbegleitende Vegetation des mainfränkischen Wärmegebietes.
- KORN Horst; PITZKE Christine: Stellen Straßen eine Ausbreitungsbarriere für Kleinsäuger dar?
- RANFTL Helmut: Auswirkungen des Luftsportes auf die Vogelwelt und die sich daraus ergebenden Forderungen.
- FUCHS Karl; KRIGLSTEIN Gert: Gefährdete Amphibienarten in Nordostbayern.
- TRAUTNER Jürgen; BRUNS Diedrich: Tierökologische Grundlagen zur Entwicklung von Steinbrüchen.
- HEBAUER Franz: Gesichtspunkte der ökologischen Zuordnung aquatischer Insekten zu den Sukzessionsstufen der Gewässer.
- DORNBUSCH Max: Bestandsentwicklung und aktueller Status des Elbweibers.
- WITTMANN Helmut; TÜRK Roman: Immissionsbedingte Flechtenzonen im Bundesland Salzburg und ihre Beziehungen zum Problemkreis »Waldsterben«.
- DEIXLER Wolfgang: Die gemeindliche Landschaftsplanung und die landschaftspflegerische Begleitplanung als Fachplanungen für Naturschutz und Landschaftspflege.
- KUFELD Walter: Geographisch-planungsrelevante Untersuchungen am Aubachsytstem (südlich von Regensburg) als Grundlage eines Bachsanierungskonzeptes.

FORTSETZUNG: Heft 12/1988

- KRAUS Werner: Rechtsvorschriften und Verfahrensbe-teiligung von Naturschutz und Landschaftspflege bei der Wasserwirtschaft.
- ZIELONKOWSKI Wolfgang: Gedenken an Professor Dr. Hermann Merxmüller.
- Veranstaltungsspiegel der ANL.

Beihfte zu den Berichten

Beihfte erscheinen in unregelmäßiger Folge und beinhalten die Bearbeitung eines Themenbereiches.

Beihfte 1

HERINGER, J.K.: Die Eigenart der Berchtesgadener Landschaft – ihre Sicherung und Pflege aus landschaftsökologischer Sicht, unter besonderer Berücksichtigung des Siedlungswesens und Fremdenverkehrs. 1981. 128 S. mit 129 Fotos. DM 17,-

- Überblick über den Landschaftsraum Berchtesgadener Land.
- Überblick über die landschaftlich bedeutsamen Teilbereiche Berchtesgadener Geschichte.
- Beurteilungs- und Wertungsmaßstab für landschaftliche Eigenart.
- Eigenartsträger – Wertung, Sicherung und Pflege.
- Fremdenverkehr – Verderben oder Chance für die landschaftliche Eigenart.

Beihfte 2

Pflanzen- und tierökologische Untersuchungen zur BAB 90 Wolnzach-Regensburg. Teilabschnitt Elsendorf-Saalhaupt. 71 S., Abb., Ktn., 19 Farbfotos. DM 23,-

- KRAUSS, Heinrich: Zusammenfassende Aussagen zum Gesamtvorhaben. Einzelbeiträge der Gutachter:
- KIMMERM, Hans: Vergleichende Untersuchungen von Gehölzstrukturen.
- MADER, Hans-Joachim: Tierökologische Untersuchungen.
- HEIGL, Franz und SCHLEMMER, Richard: Ornithologische Untersuchungen.
- SCHOLL, Günter: Untersuchungen zum Vorkommen der Amphibien mit Vorschlägen für Erhaltungs- und Ausgleichsmaßnahmen.
- STUBBEMANN, Hans Nikolaus: Arachnologische Untersuchungen. Bestandsaufnahmen auf Beobachtungsflächen anlässlich von Trassenbegehungen am 7. und 8.8.1979:
- ZIELONKOWSKI, Wolfgang: Vegetationskundliche Bestandsaufnahmen.
- Zoologische Beobachtungen.

Beihfte 3

SCHULZE, E.-D. et al.: Die pflanzenökologische Bedeutung und Bewertung von Hecken. = Beihfte 3, T. 1 zu den Berichten der ANL. DM 37,-

Gegenstand und Umfang des Forschungsauftrags: Sträucher in der natürlichen und anthropogen beeinflussten Vegetation Mitteleuropas · Kohlenstoffhaushalt, Wachstum und Wuchsform von Holzgewächsen im Konkurrenzgefüge eines Heckenstandortes, Diss. von Manfred Küppers · Die Ökologie wichtiger Holzarten der Hecken · Die Beziehung von Hecken und Ackerrainen zu ihrem Umland · Die Bewertung der nordbayerischen Hecken aus botanischer Sicht · Autoren: Ernst-Detlef Schulze, Albert Reif unter Mitarbeit von Christoph Knop und Katharina Zahner.

ZWÖLFER, H. et al.: Die tierökologische Bedeutung und Bewertung von Hecken. = Beihfte 3, T. 2 zu den Berichten der ANL. DM 36,-

Ziele und Grundlagen der Arbeit · Wissenschaftliche Ergebnisse · Schlußfolgerungen für die Praxis der Landschaftspflege und für den integrierten Pflanzenschutz · Kontakte zu anderen Institutionen · Ergebnisse des Klopffproben-Programmes · Zur Phänologie ausgewählter Arthropodengruppen der Hecke · Die Erfassung von Lepidopteren-Larven an Schlehe und Weißdorn · Einfluß des Alters auf der räumlichen Verteilung von Weißdornbüschen auf Phytophage und ihre Parasiten · Einfluß von Alter und räumlicher Verteilung von Wildrosen auf den Wicler *Notoecia roborana* D. & S. und seine Parasiten · Zur Populationsökologie einiger Insekten auf Wildrosen · Untersuchungen zum Verhalten, zur Biologie und zur Populationsdynamik von *Yponomeuta padellus* auf der Schlehe · Faunistisch-ökologische Analyse ausgewählter Arthropoden-Gruppen · Untersuchungen zum Brutvogelbestand verschiedener Heckengebiete – Wildspurendeichte und Wildverbiß im Heckenbereich · Analyse des Blatt-Biomasse-Konsums an Schlehe, Weißdorn und Wildrose durch photophag Insekten · Begründung der Bewertungszahlen für Heckengehölzarten aus Kleinschmetterlingen in Hecken gezogene Parasitoidenarten (Tabellen) · Heckenpflanzen als Wirte landwirtschaftlicher Schadorganismen (Tabellen) · Autoren: Helmut Zwölfel, Gerhard Bauer, Gerd Heusinger u.a.

Beiheft 4

ZAHLHEIMER, W.: Artenschutzgemäße Dokumentation und Bewertung floristischer Sachverhalte – Allgemeiner Teil einer Studie zur Gefäßpflanzenflora und ihrer Gefährdung im Jungmoränengebiet des Inn-Vorland-Gletschers (Oberbayern). 143 S., 97 Abb. und Hilfskärtchen, zahlr. Tab., mehrere SW-Fotos. DM 21,-

- Floristische Kartierungsprojekte aus der Perspektive des praktischen Artenschutzes · Erfassung der Bestandesgröße · Erfassung der Pflanzenmenge · Verteilungsaspekte (Verteilungsfläche) · Floristische Geländearbeit · Flächendeckende floristische Bestandsaufnahme · Biotopkartierung · Alternative Dokumentationsweise botanisch wertvoller Flächen · Floristische Bestandeskarten (Bestandesgrößen-Rasterkarte mit Strichliste, Bestandes-Punkt-Karten) · Das Ringsegment-Verfahren zur numerischen Bewertung der subregionalen Artenschutzrelevanz artgleicher Populationen · Lokalisationswert · Bewertungskomponenten Fundortslage im Areal und subregionale Arealgröße · Gebrauch von Ringsegment-Schablonen · Bestandesgrößenfaktoren und Bestandesgrößenklassen · Umfeldbezogener Bestandeswert · EDV-gemäße Variante des Ringsegmentverfahrens · Konstruktion minimaler Stützpunkt-Verbindungsnetze für artenschutzrelevante Pflanzen · Vergleichende numerische Bewertung von Beständen verschiedener Taxa nach den überregionalen, regionalen und subregionalen Verhältnissen · Bewertung der Gefährdung nach Roten Landeslisten · Ergänzungskriterium · Anleitung zur Ermittlung des »Regionaler Gefährdungswert« · Populationspezifischer Artenschutzwert · Bezugsquadrat-Verfahren zur numerischen Bewertung von Sippen und Pflanzenbeständen nach der lokalen Artenschutzrelevanz · Lokale Gefährdungszahl · EDV-gemäßes Bewertungsverfahren für Pflanzenbestände · Anmerkungen zur Behandlung vegetationskundlicher Aspekte bei naturschutzorientierten Gebietsbewertungen · Floristische Sachverhalte · Pflanzengesellschafts-Ebene · Vegetationskomplexe · Zusammenfassung · Literatur · Anhang (Arbeitsbegriffe, Verarbeitungs- bzw. Bestandeskarten).

Beiheft 5

ENGELHARDT, W.; OBERGRUBER, R. und REICHOLF, J.: Lebensbedingungen der europäischen Feldhasen (*Lepus europaeus*) in der Kulturlandschaft und ihre Wirkungen auf Physiologie und Verhalten. DM 28,-

- Organisation und Grundlagen des Forschungsauftrags · Forschungsziel · Forschungsmethoden · Forschungsgebiete · Projektergebnisse · Rückstandsanalysen · Magen-inhaltsanalysen · Freilandbeobachtungen · Auswertung bayrischer Jagdstrecken-Statistiken · Straßenverkehrsverluste · Populationsdynamik · Interpretation der Ergebnisse · Regionale und überregionale Bestandesentwicklung · Populationsökologisches Modell · Relative Wirkung der Einzelfaktoren · Prognosen und Vorschläge · Anhang: Tabellen, Karten, Literaturangaben · Autoren: Prof. Dr. Wolfgang Engelhardt, Roland Obergruber, Dr. Josef Reicholf.

Beiheft 6

MELZER, A., MICHLER, G. et al.: Ökologische Untersuchungen an südbayerischen Seen. 171 S., 68 Verbreitungskärtchen, 46 Graphiken, zahlr. Tab.. DM 20,-

- MELZER Arnulf, HARLACHER Raimund und VOGT Elise: Verbreitung und Ökologie makrophytischer Wasserpflanzen in 50 bayerischen Seen.
- MICHLER Günther: Temperatur- und Sauerstoffmessungen an 32 südbayerischen Seen zur Zeit der Homothermiephase im Frühjahr 1984 und zur Sommerstagnation im August 1984.
- Glossar (4 S.).

Laufener Seminarbeiträge (Tagungsberichte)

Zu ausgewählten Seminaren werden Tagungsberichte erstellt. In den jeweiligen Tagungsberichten sind die ungekürzten Vorträge eines Fach- bzw. wissenschaftlichen Seminars abgedruckt. Diese Tagungsberichte sind ab 1/82 in »Laufener Seminarbeiträge« umbenannt worden.

- 2/78 Begrünungsmaßnahmen im Gebirge. DM 6,-
- 3/79 Seenforschung in Bayern. DM 9,-
- 4/79 Chance für den Artenschutz in Freilichtmuseen. DM 4,-
- 5/79 Ist Pflege der Landschaft erforderlich? DM 10,-
- 6/79 Weinberg-Flurbereinigung und Naturschutz. DM 8,-
- 7/79 Wildtierhaltung in Gehegen. DM 6,-
- 1/80 Tierökologische Aspekte im Siedlungsbereich. DM 5,-
- 2/80 Landschaftsplanung in der Stadtentwicklung, in dt. und engl. Ausgabe. DM 9,- / 11,-
- 3/80 Die Region Untermain – Region 1 – Die Region Würzburg – Region 2 – DM 12,-
- 4/80 Naturschutz und Recht, vergriffen DM 8,-
- 5/80 Ausbringung von Wildpflanzen. DM 12,-
- 6/80 Baggern und Naturschutz. DM 21,-
- 7/80 Geoökologie und Landschaft. DM 13,-

## FORTSETZUNG: Tagungsberichte

8/80	Freileitungsbau und Belastung der Landschaft.	DM 9,-
9/80	Ökologie und Umwelthygiene.	DM 15,-
1/81	Stadtökologie.	DM 8,-
2/81	Theologie und Naturschutz.	DM 5,-
3/81	Greifvögel und Jagd.	DM 7,-
4/81	Fischerei und Naturschutz.	DM 11,-
5/81	Fließgewässer in Bayern.	DM 10,-
6/81	Aspekte der Moornutzung.	DM 11,-
7/81	Beurteilung des Landschaftsbildes.	DM 7,-
8/81	Naturschutz im Zeichen knapper Staatshaushalte.	DM 5,-
9/81	Zoologischer Artenschutz.	DM 10,-
10/81	Naturschutz und Landwirtschaft.	DM 13,-
11/81	Die Zukunft der Salzach.	DM 8,-
12/81	Wiedereinbürgerung gefährdeter Tierarten.	DM 12,-
13/81	Seminarergebnisse der Jahre 76-81.	DM 10,-
1/82	Der Mensch und seine städtische Umwelt – humanökologische Aspekte.	DM 9,-
2/82	Immissionsbelastungen ländlicher Ökosysteme.	DM 12,-
3/82	Bodennutzung und Naturschutz.	DM 8,-
4/82	Walderschließungsplanung.	DM 9,-
5/82	Feldhecken und Feldgehölze.	DM 25,-
6/82	Schutz von Trockenbiotopen – Buckelfluren.	DM 9,-
7/82	Geowissenschaftliche Beiträge zum Naturschutz.	DM 13,-
8/82	Forstwirtschaft unter Beachtung forstlicher Ziele und der Naturschutzgesetzgebung.	DM 7,-
9/82	Waldweide und Naturschutz.	DM 8,-
1/83	Dorfökologie – Das Dorf als Lebensraum/	
+ 1/84	Dorf und Landschaft. Sammelbd.	DM 15,-
2/83	Naturschutz und Gesellschaft.	DM 8,-
3/83	Kinder begreifen Natur.	DM 10,-
4/83	Erholung und Artenschutz.	DM 16,-
5/83	Marktwirtschaft und Ökologie.	DM 9,-
6/83	Schutz von Trockenbiotopen – Trockenrasen, Triften und Hutungen.	DM 9,-
7/83	Ausgewählte Referate zum Artenschutz.	DM 14,-
8/83	Naturschutz als Ware – Nachfrage durch Angebot und Werbung.	DM 14,-
9/83	Ausgleichbarkeit von Eingriffen in den Naturhaushalt.	DM 11,-
2/84	Ökologie alpiner Seen.	DM 14,-
3/84	Die Region 8 – Westmittelfranken.	DM 15,-
4/84	Landschaftspflegliche Almwirtschaft.	DM 12,-
5/84	Schutz von Trockenbiotopen – Trockenstandorte aus zweiter Hand.	DM 8,-
6/84	Naturnaher Ausbau von Grünanlagen.	DM 9,-
7/84	Inselökologie – Anwendung in der Planung des ländlichen Raumes.	DM 16,-
1/85	Rechts- und Verwaltungsaspekte der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung.	DM 11,-
2/85	Wasserbau – Entscheidung zwischen Natur und Korrektur.	DM 10,-
3/85	Die Zukunft der ostbayerischen Donaulandschaft.	DM 19,-

4/85	Naturschutz und Volksmusik.	DM 10,-
1/86	Seminarergebnisse der Jahre 81 – 85.	DM 7,-
2/86	Elemente der Steuerung und der Regulation in der Pelagialbiozönose.	DM 16,-
3/86	Die Rolle der Landschaftsschutzgebiete.	DM 12,-
4/86	Integrierter Pflanzenbau.	DM 13,-
5/86	Der Neuntöter – Vogel des Jahres 1985.	
	Die Saatkrähe – Vogel des Jahres 1986.	DM 10,-
6/86	Freileitungen und Naturschutz.	DM 17,-
7/86	Bodenökologie.	DM 17,-
8/86	Dorfökologie: Wasser und Gewässer.	DM 16,-
9/86	Leistungen und Engagement von Privatpersonen im Naturschutz.	DM 5,-
10/86	Biotopverbund in der Landschaft.	DM 20,-
1/87	Die Rechtspflicht zur Wiedergutmachung ökologischer Schäden.	DM 12,-
2/87	Strategien einer erfolgreichen Naturschutzpolitik.	DM 12,-
3/87	Naturschutzpolitik und Landwirtschaft.	DM 15,-
4/87	Naturschutz braucht Wertmaßstäbe.	DM 10,-
5/87	Die Region 7 – Industrieregion Mittelfranken.	DM 11,-
1/88	Landschaftspflege als Aufgabe der Landwirte und Landschaftsgärtner.	DM 10,-
2/88	Dorfökologie: Wege und Einfriedungen.	DM 15,-
3/88	Wirkungen von UV-B-Strahlung auf Pflanzen und Tiere.	DM 13,-
1/89	Greifvogelschutz.	DM 13,-
2/89	Ringvorlesung Naturschutz.	DM 15,-

## Vorschau

- Naturschutz schafft Arbeitsplätze.
- Ökologie-Symposium: Naturschutzorientierte Forschung.
- Hat die Natur ein Eigenrecht auf Existenz.
- Das Braunkehlchen – Vogel des Jahres 1987. Der Wendehals – Vogel des Jahres 1988.
- Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung im Naturschutz.
- Auenkonferenz.
- Dorfökologie: Bäume und Sträucher.
- Manipulierte Natur – Lebensraum des Menschen.
- Ökologie-Symposium: Zeit als ökologischer Faktor.
- Internationales Symposium: Artenschutz im Alpenraum.
- Auswirkungen der Gewässerversauerung.
- Naturschutz im Bewußtsein der Kirchen.
- Almökologie (RINGLER).
- Avicoenosen in Mitteleuropa (PASSARGE).

## Sonderdrucke aus den Berichten der ANL

- ›Die Stauseen am unteren Inn‹ aus Heft 6/82 DM 5,-
- ›Natur und Landschaft im Wandel‹ aus Heft 10/86 DM 12,-

## Informationen

Informationen 1 – Die Akademie stellt sich vor. Faltblatt, *kostenfrei*

Informationen 2 – Grundlagen des Naturschutzes. DM 2,-

Informationen 3 – Naturschutz im Garten – Tips und Anregungen zum Überdenken, Nachmachen und Weitergeben. DM 1,-

Informationen 4 – Begriffe aus Ökologie, Umweltschutz und Landnutzung. In Zusammenarbeit mit dem Dachverband wissenschaftlicher Gesellschaften der Agrar-, Forst-, Ernährungs-, Veterinär- und Umweltforschung e. V., München. DM 1,-

*Einzel Exemplare gegen Zusendung eines adressierten und mit DM 1,40 frankierten DIN A5 Umschlages kostenfrei. Ab 100 Stk. 10 % Nachlaß.*

## Diaserien

- Diaserie Nr. 1 ›Feuchtgebiete in Bayern. 50 Kleinbilddias mit Textheft. DM 150,-
- Diaserie Nr. 2 ›Trockengebiete in Bayern. 50 Kleinbilddias mit Textheft. DM 150,-
- Diaserie Nr. 3 ›Naturschutz im Garten. 60 Dias mit Textheft und Begleitkassette. DM 150,-

## Plakatserie ›Naturschutz‹

- 3 Stück im Vierfarbdruck DIN A2 DM 3,-
- + Verpackungskostenanteil bis 15 Serien. DM 5,-

## Bezugsbedingungen

### 1. BESTELLUNGEN

Die Veröffentlichungen der Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege können nur über die Akademie, Postanschrift: 8229 Laufen/Salzach, Postfach 12 61 bezogen werden. Die Bestellungen sollen eine exakte Bezeichnung des Titels enthalten. Bestellungen mit Rückgaberecht oder zur Ansicht können nicht erfüllt werden. Der Versand erfolgt auf Kosten und Gefahr des Bestellers. Beanstandungen wegen unrichtiger oder unvollständiger Lieferungen können nur innerhalb von 14 Tagen nach Empfang der Sendung berücksichtigt werden.

### 2. PREISE UND ZAHLUNGSBEDINGUNGEN

Bei Abnahme von 10 und mehr Exemplaren jeweils eines Titels wird aus Gründen der Verwaltungsvereinfachung ein Mengenrabatt von 10 % gewährt. Die Kosten für Verpackung und Porto werden in Rechnung gestellt. Die Rechnungsbeträge sind spätestens zu dem in der Rechnung genannten Termin fällig. Die Zahlung kann nur anerkannt werden, wenn sie auf das in der Rechnung genannte Konto der Staatsoberkasse München unter Nennung des mitgeteilten Buchungskennzeichens erfolgt. Es wird empfohlen, die der Lieferung beige-fügten und vorbereiteten Einzahlungsbelege zu verwenden. Bei Zahlungsverzug werden Mahnkosten erhoben und es können ggf. Verzugszinsen berechnet werden. Erfüllungsort und Gerichtsstand für beide Teile ist München. Bis zur endgültigen Vertragserfüllung behält sich die ANL das Eigentumsrecht an den gelieferten Veröffentlichungen vor.

### 3. SCHUTZBESTIMMUNGEN

Die Herstellung von Vervielfältigungen – auch auszugsweise – aus den Veröffentlichungen der Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege sowie die Benutzung zur Herstellung anderer Veröffentlichungen bedürfen der schriftlichen Genehmigung unseres Hauses.

